

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE PANADERÍA USANDO
OLEOGELES A BASE DE CERA DE CANDELILLA ORGÁNICA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTA:

ING. CASSANDRA LIZETH FLORES GARCÍA

GENERAL ESCOBEDO, N. L.

JULIO DE 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE PANADERÍA USANDO
OLEOGELES A BASE DE CERA DE CANDELILLA ORGÁNICA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTA:

ING. CASSANDRA LIZETH FLORES GARCÍA

GENERAL ESCOBEDO, N. L.

JULIO DE 2024

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO(A) EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

COMITÉ PARTICULAR



Dr. Guillermo Cristian Guadalupe Martínez Ávila

Director de Tesis



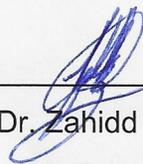
Dra. Nancy del Pilar Medina Herrera

Co-director



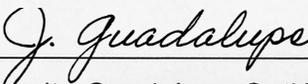
Dra. Beatriz Adriana Rodríguez

Asesor Auxiliar



Dr. Zahidd Meza Carranço

Asesor Auxiliar



Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

Subdirector de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

A Dios, creador y sustentador de todas las cosas, por permitirme concluir mis estudios profesionales.

A mis padres Ricardo y Teresa y mis hermanos Katia y Ricky por su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento la Universidad Autónoma de Nuevo León, por haberme abierto las puertas para continuar con mi formación profesional. Agradezco a los Doctores Guillermo Cristian Martínez Ávila, Beatriz Adriana Rodríguez, Nancy Medina Herrera y Zahidd Meza Carranco por formar parte del Comité de Tesis, así como por sus valiosas sugerencias de interés, en la revisión del presente trabajo.

Al Licenciado Martín Ochoa por su apoyo y flexibilidad para poder concluir este trabajo.

A mis amigos Fátima, Astrid, Sebastián y Emmanuel por su comprensión y apoyo durante mi posgrado.

A mis compañeros de posgrado Teresa, Brenda, Gustavo y Néstor por sus consejos y motivaciones durante la investigación.

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ABREVIATURAS	VI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
HIPÓTESIS.....	5
OBJETIVOS	6
1.1 Objetivo General	6
1.1.1 Objetivos Específicos	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1 Problemática Actual	7
2.2 Grasas Convencionales	7
2.3 Oleogelación	8
2.4 Cera de Candelilla	8
2.4.1 Método de Extracción	9
2.5 Gelator “Cera de Candelilla”	9
2.6 Aceites Vegetales “Aceite de Linaza”	10
2.7 Aplicaciones de oleogeles en productos de panificación con cera de candelilla.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Localización del Estudio	11
3.2 Preparación de Oleogeles	11
3.3 Caracterización de Oleogeles	13
3.3.1 Color	13
3.3.2 Textura.....	13
3.3.3 Punto de Fusión.....	14
3.3.4 Índice de Acidez	14
3.3.5 Espectro FT-IR de Mantecas y Oleogeles	14

3.4 Ingredientes de Galletas.....	15
3.5 Preparación de Galletas.....	15
3.6 Caracterización de Galletas	16
3.6.1 Características Dimensionales de Galletas	16
3.6.2 Contenido de Humedad.....	16
3.6.3 Porcentaje de Migración de Grasa	16
3.6.4 Textura.....	17
3.6.5 Color de Galletas	17
3.6.6 Evaluación Sensorial (Parte 1)	17
3.6.7 Evaluación Sensorial (Parte 2)	18
3.6.8 Espectros FT-IR de Galletas.....	18
3.7 Diseño Experimental	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Oleogeles	20
4.1.1 Apariencia Visual	20
4.1.2 Color	21
4.1.3 Textura.....	22
4.1.4 Punto de Fusión.....	22
4.1.5 Índice de Acidez	23
4.1.6 Espectro FT-IR	24
4.2 Galletas	29
4.2.1 Características Dimensionales	29
4.2.2 Color	31
4.2.3 Contenido de Humedad.....	33
4.2.4 Porcentaje de Migración de Grasa	34
4.2.5 Dureza	35
4.2.6 Evaluación Sensorial (Parte 1)	36
4.2.7 Evaluación Sensorial (Parte 2)	39
4.2.8 Espectro FT-IR de Galletas	45
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES.....	53

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Porcentaje de composición de oleogeles.....	11
Cuadro 2. Formulación en porcentaje de las galletas.....	16
Cuadro 3. Color (L^* , a^* y b^*) de manteca vegetal (MV), manteca de cerdo (MP), oleogeles (AC03, AC06 y AC09).....	21
Cuadro 4. Dureza, punto de fusión, índice de acidez de manteca vegetal (MV), manteca de cerdo (MP) y oleogeles (AC03, AC06 y AC09).....	22
Cuadro 5. Dimensiones de las galletas en peso, espesor (E), diámetro (D) y tasa de propagación (TP).....	31
Cuadro 6. Resultados de color en parte superior de las galletas.	32
Cuadro 7. Resultados de color en parte inferior de las galletas.	33
Cuadro 8. Resultados de porcentaje de humedad (%H), porcentaje de migración de grasa (%MG) y dureza de las galletas.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Diagrama de proceso general de elaboración de galletas con oleogeles y su caracterización.	12
Figura 2. Apariencia Visual de los oleogeles a base de cera de candelilla orgánica.	20
Figura 3. Espectro FT-IR de aceite de linaza extra virgen (AL) y cera de candelilla orgánica (CCO).	26
Figura 4. Espectro FT-IR de muestras: AC09 (9% de cera), AC06 (6% cera) y AC03 (3% de cera).	27
Figura 5. Espectro FT-IR de manteca vegetal (MV) y manteca de puerco (MP).	28
Figura 6. Tratamientos de galletas. Galleta control (GC), Galleta con 30% de oleogel (G30), Galleta con 50% de oleogel (G50), Galleta con 70% de oleogel (G70), Galleta con 100% de oleogel (G100).	30
Figura 7. Evaluación sensorial de galletas: apariencia, olor, textura y aceptabilidad global (Parte 1).	38
Figura 8. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Apariencia.	40
Figura 9. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Olor.	41
Figura 10. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Color.	42
Figura 11. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Sabor.	43
Figura 12. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Textura.	44
Figura 13. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Aceptabilidad general.	45
Figura 14. Espectro FT-IR de galleta control (GC).	48
Figura 15. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 30% (G30).	48
Figura 16. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 50% (G50).	49
Figura 17. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 70% (G70).	49
Figura 18. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 70% y ácido ascórbico (G70AC).	50
Figura 19. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 100% (G100).	50
Figura 20. Espectro FT-IR de galletas en la región de carbohidratos.	51

ABREVIATURAS

(AL)	Aceite de linaza
(AGS)	Ácidos grasos saturados
(CCO)	Cera de candelilla orgánica
(AC03)	Oleogel al 3% de cera de candelilla orgánica
(AC06)	Oleogel al 6% de cera de candelilla orgánica
(AC09)	Oleogel al 9% de cera de candelilla orgánica
(GC)	Galleta control con manteca vegetal y de puerco
(G30)	Galleta con la sustitución del 30% de oleogel
(G50)	Galleta con la sustitución del 50% de oleogel
(G70)	Galleta con la sustitución del 70% de oleogel
(G70AC)	Galleta con la sustitución del 70% de oleogel y ácido ascórbico
(G100)	Galleta con la sustitución del 100% de oleogel
(MV)	Manteca vegetal
(MP)	Manteca de puerco
(E)	Espesor
(D)	Diámetro
(TP)	Taza de propagación
(ΔE)	Diferencia de color
(H%)	Porcentaje de humedad
(%MG)	Porcentaje de migración de grasa

RESUMEN

Los parámetros de textura y calidad se vuelven críticos cuando se considera la sustitución de mantecas por oleogeles. Se elaboraron oleogeles añadiendo cera en concentraciones de 3%, 6% y 9%. Se formularon cinco tratamientos para promover el desarrollo de nuevas técnicas saludables en galletas. Se realizaron pruebas de color, textura, índice de acidez, punto de fusión, humedad, migración de grasa, espectroscopia FT-IR y sensorial. Se añadió un tratamiento de oleogel con ácido ascórbico (G70AC) para evaluación sensorial. La cera de candelilla orgánica otorgó mayores valores en color (L^* y b^*), textura, índice de acidez y puntos de fusión. Las características dimensionales fueron diferentes entre los tratamientos y mayores que la GC. En luminosidad los valores disminuyen cuando se incrementó el oleogel, en a^* se obtuvieron tendencias más rojizas en G70 y en b^* se obtuvieron más tendencias amarillas en G100 y GC fue el valor más bajo. El contenido de humedad se mantuvo dentro de los límites de calidad. El porcentaje de migración era menor en las galletas con mezcla de grasas y oleogeles. En la espectroscopia FT-IR se asociaron picos a la región de amida I y II ($1700-1600\text{ cm}^{-1}$) relacionadas a la estructura de proteínas (gluten), enlaces distinguibles de los lípidos en los intervalos de 2916 cm^{-1} relacionado al estiramiento de los CH de los ácidos grasos libres y el pico 1742 relacionado con el enlace C=O de los lípidos y los carbohidratos en las bandas 1011 cm^{-1} relacionado con el estiramiento C-O y C-C, cadenas de almidón ($1080-950\text{ cm}^{-1}$). En dureza la sustitución de oleogeles dio como resultado galletas más suaves y en la evaluación sensorial, la galleta más aceptada fue G70. El uso de ácido ascórbico mejora el color, aceptabilidad y textura en G70.

ABSTRACT

Texture and quality parameters become critical when considering the replacement of shortenings with oleogels. Oleogels were prepared by adding wax at concentrations of 3%, 6%, and 9%. Five treatments were formulated to promote the development of new healthy cookie techniques. Various tests were performed, including color, texture, acid value, melting point, moisture content, fat migration, FT-IR spectroscopy, and sensory evaluation. An oleogel treatment with ascorbic acid (G70AC) was included for sensory evaluation. The use of organic candelilla wax resulted in higher values for color (L^* and b^*), texture, acidity index, and melting points. Dimensional characteristics varied between treatments and were greater than those of the control (GC). Luminosity values decreased with increasing oleogel concentration. More reddish tendencies in a^* were observed in G70, and more yellow tendencies in b^* were found in G100, with GC having the lowest value. Moisture content remained within quality limits. Fat migration percentages were lower in cookies made with a mixture of fats and oleogels. FT-IR spectroscopy revealed peaks associated with the amide I and II regions ($1700\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$), related to protein (gluten) structure, and distinctive lipid bonds at 2916 cm^{-1} , associated with the CH stretching of free fatty acids. The peak at 1742 cm^{-1} was related to the C=O bond of lipids, and the bands at 1011 cm^{-1} were related to C-O and C-C stretching in starch chains ($1080\text{-}950\text{ cm}^{-1}$). The hardness test showed that cookies made with oleogels were softer. In the sensory evaluation, the most accepted cookie was G70. The addition of ascorbic acid improved the color, acceptability, and texture in G70.

INTRODUCCIÓN

Las ceras son una clase heterogénea de lípidos que contienen hidrocarburos y otras sustancias no polares. Las ceras de origen vegetal son una mezcla de ácidos grasos de cadena larga, ésteres de alcoholes alifáticos e hidrocarburos (Bucio *et al.*, 2021). La cera de candelilla se extrae de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc, que es una planta endémica de las regiones semidesérticas de México (Rojas Molina *et al.*, 2011). Esta cera ha sido reconocida por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) como una sustancia generalmente segura (GRAS, por sus siglas en inglés) para su aplicación en la industria alimentaria (Bucio *et al.*, 2021). Esta cera se ha utilizado en varios estudios para proporcionar propiedades gelificantes a los alimentos.

Los oleogeles son geles moleculares que están formados por estructuras supramoleculares autoensambladas que forman una red bicontinua a escala coloidal, en la que un aceite vegetal es atrapado por la red tridimensional de geladores y estabilizado por fuerzas débiles como las fuerzas de London o van der Waals (Pérez Meza, 2020). Es por lo anterior que los oleogeles a base de cera tienen una alta capacidad de unión al aceite y resistencia en la formación de geles con estructuras semisólidas estables en pequeñas concentraciones (Bucio *et al.*, 2021). Se sabe que otros componentes importantes de las formulaciones de oleogel son aceites ricos en ácidos grasos insaturados que contienen > 50% de ácidos linoleico (18: 2), oleico (18: 1) y linolénico (18: 3) (Trujillo-Ramírez *et al.*, 2022).

La gelificación del aceite ha tenido un gran impacto en la reducción de los problemas de salud causados por las grasas convencionales debido a sus propiedades funcionales (Pérez Meza, 2020). En todo el mundo, existe una necesidad inmediata de mejorar las propiedades nutricionales de los alimentos y reducir las concentraciones de componentes relacionados con problemas de salud, como las grasas *trans* y las grasas saturadas en los productos alimenticios (Contreras-Ramírez *et al.*, 2022). Dado que las grasas sólidas proporcionan una textura suave a los productos horneados, las mantecas convencionales son necesarias para la aceptación del consumidor (Mert &

Demirkesen, 2016a). Desafortunadamente, la grasa utilizada en la mayoría de estos productos es de bajo valor nutricional debido al alto contenido de ácidos grasos saturados y, por lo tanto, éstos muchas veces no cumplen con los límites legislativos establecidos. Según las recomendaciones de la OMS (Organización Mundial de la Salud), el consumo diario de ácidos grasos saturados no debe superar el 10% (Onacik-Gür & Żbikows, 2020), porque una mala alimentación puede causar enfermedades cardiovasculares, que tienen una tasa de mortalidad de 17.5 millones de muertes por año en todo el mundo. Para reducir o eliminar las formaciones con ingredientes ricos en grasas *trans* de la industria alimentaria como las galletas "hojarascas", se requiere el desarrollo de materiales seguros y saludables que proporcionen las mismas funciones que las grasas saturadas a un costo de producción asequible (Pérez Meza, 2020). Se ha vuelto común desarrollar oleogeles como parte de la formulación de productos alimenticios. Los oleogeles han mostrado buenos resultados cuando se utilizan para la sustitución parcial de grasas convencionales, por lo que se están investigando más aplicaciones para permitir el desarrollo de alimentos con un buen contenido nutricional, textura, color, punto de fusión y estructura. Es por lo anterior que en el presente trabajo se pretende evaluar la mejor formulación de oleogeles a base de cera de candelilla con aceite de linaza extra virgen como sustituto de grasa en galletas "hojarascas" altas en grasas saturadas con la finalidad de satisfacer la necesidad del consumidor en productos más saludables, evaluar su aceptabilidad y propiedades de calidad.

HIPÓTESIS

La incorporación de oleogeles a base de cera de candelilla orgánica en un producto de panadería permitirá mejorar sus parámetros de calidad.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Elaborar un producto de panificación empleando oleogeles a base de cera de candelilla orgánica como sustituto de grasas convencionales.

1.1.1 Objetivos Específicos

1. Diseñar y caracterizar fisicoquímicamente oleogeles a base de cera de candelilla orgánica.
2. Formular un producto de panificación (galleta tipo hojarasca) con oleogeles.
3. Evaluar los parámetros de calidad del producto formulado

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Problemática Actual

En la actualidad cada vez más países establecen límites legislativos con el fin de mejorar las propiedades nutricionales de los alimentos y reducir los componentes que están relacionados con los problemas de salud de las personas, como las grasas *trans* y grasas saturadas (Contreras-Ramírez *et al.*, 2022). La grasa utilizada en la mayoría de los productos de panificación tiene bajo valor nutricional debido su alto contenido de ácidos grasos saturados (AGS). Según las recomendaciones por la OMS, el consumo diario de AGS no debe exceder el 10 % (Onacik-Gür & Żbikows, 2020), debido a que una mala alimentación puede ocasionar enfermedades cardiovasculares, las cuales tienen un índice de mortalidad de 17.5 millones de defunciones por año a nivel mundial ((Pérez Meza, 2020).

2.2 Grasas Convencionales

La grasa tiene un papel crítico en la formación de estructuras tridimensionales del gluten en productos de panadería. La fuerza deseada de la red de gluten depende del tipo de producto formulado. Debido a que la galleta preparada en este estudio se clasifica como producto de masa corta, no se desea una fuerte red de gluten, por lo que se elaboran con una cantidad restringida de agua y una gran cantidad de manteca vegetal, el cual es un ingrediente crucial en la masa para galletas porque durante la mezcla, los cristales de grasa forman una película de barrera alrededor de las hebras de gluten y previenen la reticulación extensa en la red de gluten. En un sistema de masa para galletas, si la grasa está mal distribuida entre las partículas de harina, que permanecen accesibles al agua, lleva al desarrollo de proteínas de gluten (Mert & Demirkesen, 2016a).

2.3 Oleogelación

La oleogelación es una estrategia que ha generado un impacto significativo como alternativa para enfrentar y reducir los problemas de salud, además de tener un comportamiento reológico similar a las mantecas convencionales, se trata de geles moleculares formados por estructuras supramoleculares autoensambladas que crean una red bicontinua de escala coloidal, en los que un aceite vegetal es atrapado por una red tridimensional de gelador estabilizada por fuerzas débiles como son las fuerzas de London o fuerzas de Van der Waals (Pérez Meza, 2020).

Los oleogeles se han utilizado también como sistemas de liberación controlada para compuestos bioactivos lipofílicos, pudiendo aumentar la biodisponibilidad de moléculas liposolubles en alimentos funcionales y nutraceuticos (Contreras-Ramírez *et al.*, 2022). Algunos investigadores han utilizado esta alternativa para crear “oleogeles” con ceras vegetales y de origen animal. Los informes muestran que alrededor de 3-6 % de cera de candelilla, 5-15 % de cera de carnauba y 5-10 % de cera de abeja son necesarios para producir estructuras estables semisólidas (Trujillo-Ramírez *et al.*, 2022).

2.4 Cera de Candelilla

Las ceras de origen vegetal son una mezcla de ácidos grasos de cadena larga, ésteres de alcoholes alifáticos e hidrocarburos (Bucio, Moreno-Tovar *et al.*, 2021), que hoy en día son empleadas en más de 20 industrias en todo el mundo (Molina & Aguilar, 2013), incluida la industria alimentaria.

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) conceptúa a la cera de candelilla como un ingrediente GRAS para la aplicación en la industria alimentaria (Bucio, Moreno-tovar, *et al.*, 2021). Esta cera es insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y ácidos orgánicos. Se caracteriza por un alto contenido de hidrocarburos (alrededor del 50 %) y un número relativamente bajo de ésteres volátiles (Bucio, Moreno-Tovar *et al.*, 2021).

2.4.1 Método de Extracción

El uso de la cera de candelilla *Euphorbia antisyphilitica* Zucc, se remonta al año 1914, a través de un método simple de extracción. El proceso comienza con la recolección de la planta, la cual se coloca en calderos llamados "pailas", con una solución de ácido sulfúrico a una concentración aproximada de 0.3 % (v/v). Para refinar, la cera se hierva con ácido sulfúrico y con agua para eliminar compuestos indeseables. Esta práctica es contraproducente para la salud de las personas debido a la generación de humos tóxicos y a las condiciones básicas de extracción (inseguras).

En consecuencia, existe otro método más adecuado la extracción de cera de candelilla con ventajas técnicas, ambientales y sanitarias, el cual usa de ácidos orgánicos que generan vapores menos tóxicos, como se ha reportado en la extracción de la cera utilizando una solución de ebullición de ácido cítrico acuoso (Aranda Ledesma, *et al.*, 2021).

El término orgánico hace referencia a aquellos alimentos naturales y saludables, resultado de procesos agrícolas comprometidos con la salud de los consumidores y la conservación del medio ambiente (López Salazar, 2019), es por esto que la cera de candelilla es considerada como orgánica, la cual será utilizada como ingrediente para este trabajo.

2.5 Gelator “Cera de Candelilla”

La cera candelilla ha sido utilizada por varios autores para otorgar propiedades gelificantes a los alimentos, ha demostrado tener buenas propiedades termomecánicas en formulaciones de oleogel, ya que está compuesta principalmente por hidrocarburos, lo que posibilita el desarrollo de geles orgánicos mediante la modificación física del aceite (Alvarado *et al.*, 2012). Mayor cantidad de ácidos grasos insaturados en aceites es sinónimo de geles más fuertes con mayores beneficios para la salud. Tal es el caso de los aceites de canola, linaza y soya, que como sostiene

Trujillo-Ramírez *et al.* (2022), estos “contienen > 50 % de ácidos linoleicos (18:2), oleico (18:1) y linolénico (18:3)”.

2.6 Aceites Vegetales “Aceite de Linaza”

La composición de ácidos grasos de un aceite o grasa es un factor muy importante en la determinación de la estabilidad y la definición de la aplicación principal. También, la composición está asociada al impacto perjudicial en la salud humana. Se sabe que el consumo excesivo de ácidos grasos saturados está relacionado con el aumento del colesterol plasmático y la obesidad. Por otro lado, el consumo de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados se ha recomendado para mejorar el perfil lipídico en relación a los ácidos grasos saturados (Zambiasi *et al.*, 2007). El consumo de semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) es benéfico para la salud del humano debido a su contenido de aceite va del 36-40 % aproximadamente, por lo que ha crecido el interés por sus propiedades probióticas y sus efectos beneficiosos a personas que padecen algunos tipos de cáncer, trastornos neurológicos y hormonales. De acuerdo con Gruia *et al.* (2012) el aceite de linaza tiene más ácidos grasos no saturados (88.9 %) que ácidos saturados (11.01 %) es por eso considera como una fuente de ácidos grasos insaturados.

2.7 Aplicaciones de oleogeles en productos de panificación con cera de candelilla

En investigaciones de alimentos funcionales han reformulado productos alimenticios aceptables con propiedades tecnológicas y reológicas similares a los productos de referencia o incluso productos con tecno funcionalidad mejorada; sin embargo, todavía existe una gran necesidad de mejorar los métodos de oleogelación, ya que al introducir oleogeles como ingredientes de pasteles horneados, los niveles de ácidos grasos saturados se redujeron del 58 % a niveles tan bajos como 14 – 17 % (Puscas *et al.*, 2020). Si queremos reducir o eliminar las formulaciones con ingredientes altos en grasas *trans* en la industria alimentaria, se requiere el desarrollo de materiales seguros y saludables, cuya función sea la misma que las grasas *trans* y saturadas, a un costo de producción accesible (Pérez Meza, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Bioquímica, Laboratorio de Ingeniería y Laboratorio de Evaluación Sensorial de Alimentos de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México (2021-2023).

La Figura 1 muestra el diagrama general que se siguió en este estudio.

3.2 Preparación de Oleogeles

Para la preparación de las muestras de oleogeles, la cera de candelilla orgánica fue obtenida de la comunidad de Lucio Blanco, Cuatrociénegas, Coahuila, México; coordenadas: latitud, 26.165556; longitud, -102.188333. Antes de la preparación de los oleogeles, se limpió la cera de candelilla de acuerdo a la metodología de Bernal *et al.*, (2005) y después fue pulverizada. Se utilizó el aceite de linaza extra virgen (Enature[®], Jalisco, México) debido a su alta composición en grasas insaturadas. Las cantidades de cera de candelilla orgánica (CCO) se mezclaron al 3% (AC03), 6% (AC06) y 9% (AC09) (Cuadro 1) en el aceite de linaza (AL). Se prepararon 100 gramos de cada muestra.

Cuadro 1. Porcentaje de composición de oleogeles.

Muestra	CCO (%)	AL (%)
AC03	3	97
AC06	6	94
AC09	9	91

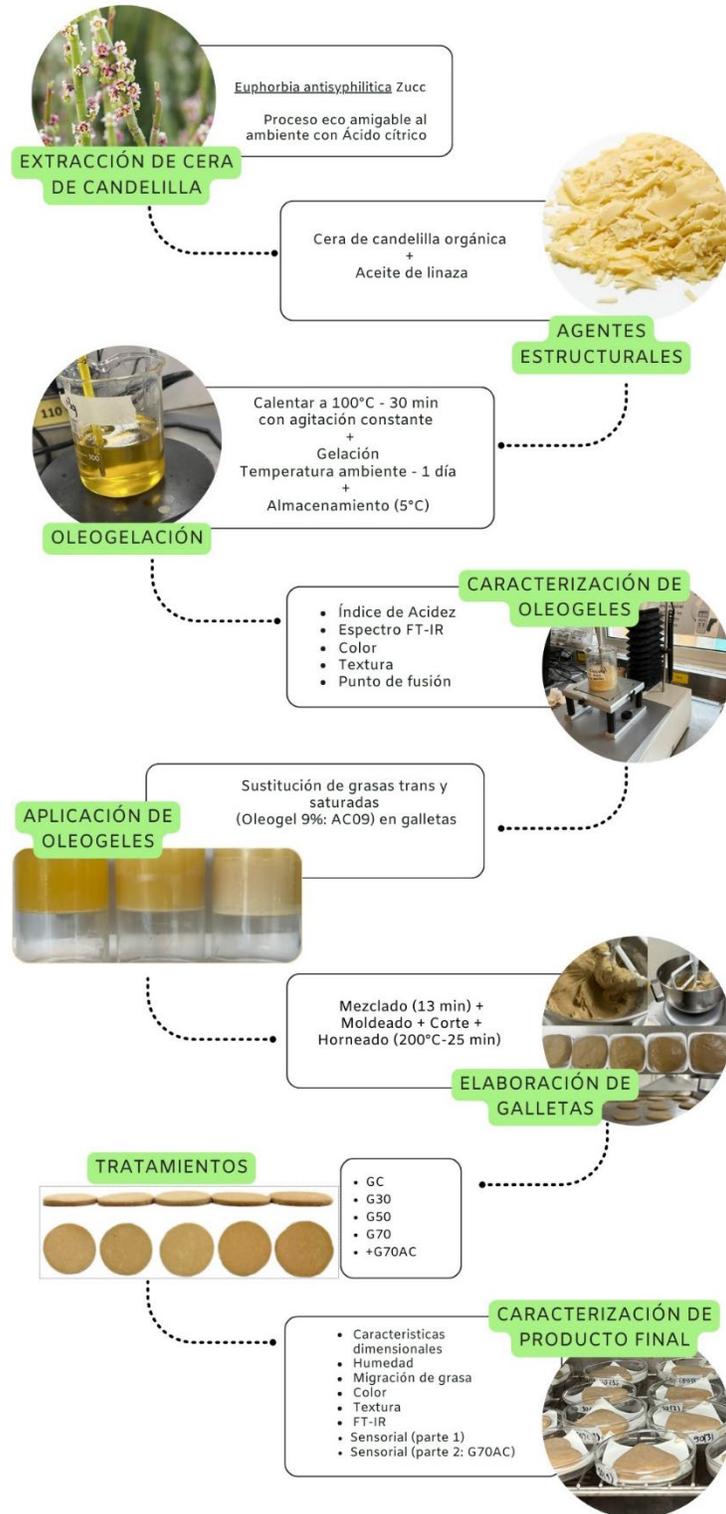


Figura 1. Diagrama general del proceso seguido en este estudio.

Los ingredientes fueron mezclados hasta que la cera de candelilla orgánica se fundió totalmente (75 – 80 °C) y se incrementó la temperatura hasta 100 ± 1 °C con agitación suave durante 15 minutos. Los oleogeles fueron cubiertos y se dejaron reposar toda una noche a temperatura ambiente para la etapa de gelificación. Finalmente, las muestras se almacenaron a una temperatura de refrigeración de 5 °C en bolsas transparentes con cierre. Las pruebas de las muestras fueron realizadas por triplicado y a la temperatura de almacenamiento.

Adicionalmente, se preparó un tratamiento de oleogel al 9% de cera de candelilla a una temperatura de 100 ± 1 °C con agitación suave durante 15 minutos, después se agregó 2.7% de ácido ascórbico (Diquitra, China) a 56 °C y se agitó hasta homogenizar completamente. El oleogel fue cubierto y se dejó reposar toda una noche a temperatura ambiente para la etapa de gelificación, al día siguiente la muestra se guardó en refrigeración. Esta muestra (G70AC) se utilizó para la segunda parte de evaluación sensorial de las galletas y espectro FT-IR como una mejora de la primera parte de la evaluación sensorial en la galleta más aceptada.

3.3 Caracterización de Oleogeles

3.3.1 Color

Se determinó el color de la superficie de los oleogeles con un colorímetro Konica-Minolta (CHROMA METER CR-410, Osaka, Japón) los parámetros de color fueron: L^* , a^* y b^* . Las mediciones se realizaron en vasos de precipitados con un grosor aproximado de 10 cm. El parámetro L^* describe el valor de la luminosidad, donde 0 es negro y 100 es blanco. Los valores negativos del parámetros a^* representan el verde y los valores positivos representan los colores rojos. Los valores negativos de b^* representan el color azul y los valores positivos indican colores amarillos (Onacik-Gür & Žbikows, 2020).

3.3.2 Textura

La dureza en oleogeles se determinó con una prueba de punción (N) de acuerdo

al método de Jang *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se utilizó un texturómetro (TA.XT Plus, Stable Micro Systems, Reino Unido) con un accesorio de 5 mm con una penetración de 10 mm con una velocidad de 1 m/s. La fuerza máxima fue la medida de la dureza registrada a partir del gráfico de fuerza frente a la distancia de penetración.

3.3.3 Punto de Fusión

Las muestras de oleogeles se fundieron en una caja Petri y se le colocaron aproximadamente 1 cm de largo en el tubo capilar, los tubos con los oleogeles se dejaron reposar a temperatura ambiente por un día y se utilizó un termómetro para su medición (Bernal *et al.*, 2005).

3.3.4 Índice de Acidez

El índice de acidez se determinó acorde a NMX-F-101-1987. Se disolvió 5 g de muestra con 37.5 mL de éter de petróleo y 37.5 mL de alcohol etílico al 95%, las muestras fueron calentadas a baño maría para disolver. Se utilizó una solución alcohólica de KOH al 0.1N usando cuatro gotas de fenolftaleína al 1% (Guerrero, 2019).

Se hizo el cálculo del índice de acidez a partir de la siguiente Ecuación (1):

$$IA = (56.1 * N * V) / M \quad (1)$$

donde 56.1 = equivalente químico de la potasa, N = Normalidad de la solución de KOH, V = mililitros de la solución valorada de KOH gastados en la titulación de la muestra, M = masa de la muestra en gramos. Cada determinación se realizó con una réplica.

3.3.5 Espectro FT-IR de Mantecas y Oleogeles

Los espectros FT-IR de la cera de candelilla orgánica, aceite de linaza, manteca de puerco, manteca vegetal y oleogeles se obtuvieron a una temperatura de 5°C. Se utilizó un FT-IR Agilent (Cary 630 ZnSe Engine, Agilentm California, EE.UU.) acoplado con el accesorio ATR con cristal de seleniuro de zinc (ZnSe) para medir los cambios estructurales en cada material puro. Las muestras fueron analizadas en un rango espectral de 4000 a 650 cm^{-1} , con un ciclo de 32 escaneos y una resolución de 2 cm^{-1} .

¹. La construcción del gráfico fue por medio del programa *OriginPro* (Versión 2021).

3.4 Ingredientes de Galletas

Se utilizó harina de trigo (Selecta, Nuevo León, México), manteca vegetal (Inca, Ciudad de México, México), manteca de puerco (Alanis, Coahuila, México), azúcar morena (HEB, Nuevo León, México), agua, polvo para hornear (Rexal ,Querétaro, México) y oleogel al 9%.

El oleogel utilizado para las galletas fue el de mayor porcentaje de cera de candelilla orgánica (9%) debido a que el incremento de la cera de candelilla influye significativamente en apariencia visual, color (L^* y b^*), dureza, índice de acidez y punto de fusión, por lo tanto, se consideró el oleogel más fuerte y estable para la sustitución de oleogeles en las galletas.

3.5 Preparación de Galletas

La formulación de los tratamientos para elaborar galletas es de acuerdo a la información del Cuadro 2. Las masas se realizaron en lotes separados para cada uno de los cinco tipos de galletas: Galleta control con manteca vegetal y de puerco (GC), Galleta con la sustitución del 30% de oleogel (G30), Galleta con la sustitución del 50% de oleogel (G50), Galleta con la sustitución del 70% de oleogel (G70), Galleta con la sustitución del 100% de oleogel (G100). Para la segunda parte de la evaluación sensorial se realizó un tratamiento extra G70AC (sustitución al 70% con ácido ascórbico).

El proceso de elaboración para la masa de las galletas consta en la incorporación y mezclado de los ingredientes durante 13 minutos en una batidora en velocidad 4 (Kitchen Aid, Michigan, USA). La masa fue extendida de manera uniforme y cortada con molde circular de 6 cm de diámetro. El proceso de horneado fue a 200°C durante 25 min. Por último, las galletas se enfriaron a temperatura ambiente y son almacenadas en bolsas de plástico.

Cuadro 2. Porcentaje de los ingredientes para cada formulación de galletas.

Ingredientes	%	%	%	%	%	%
	GC	G30	G50	G70	G70AC	G100
<i>Harina de trigo</i>	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6
<i>Manteca vegetal</i>	18.7	13.1	9.4	5.6	5.6	0.0
<i>Manteca de puerco</i>	6.6	4.6	3.3	2.0	2.0	0.0
<i>Azúcar</i>	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
<i>Agua</i>	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
<i>Polvo para hornear</i>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
<i>Aceite de linaza</i>	0.0	6.9	11.5	16.1	16.1	23.0
<i>Cera de candelilla</i>	0.0	0.7	1.1	1.6	1.6	2.3
<i>Ácido ascórbico</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.51	0.0

3.6 Caracterización de Galletas

3.6.1 Características Dimensionales de Galletas

Se determinó peso (g), espesor (E), diámetro (D) y la tasa de propagación (TP) en galletas frías seleccionadas al azar utilizando una balanza analítica (Edeardda, BMS220.4, Washington, EE.UU.). Las mediciones de diámetro (mm) y espesor (mm) se tomaron en tres puntos diferentes de la galleta en cuatro galletas utilizando un calibrador vernier digital (2ZA61, Westward, China) y se reportaron sus promedios. La tasa de propagación ($TP=D/E$) se calculó dividiendo el diámetro entre espesor (Mert & Demirkesen, 2016b).

3.6.2 Contenido de Humedad

El porcentaje de humedad en las galletas se determinó gravimétricamente en la misma balanza analítica de acuerdo a Mert & Demirkesen (2016b). Se elaboraron cuatro mediciones para cada galleta y se reportaron sus promedios.

3.6.3 Porcentaje de Migración de Grasa

Las galletas se colocaron en un estufa (ON-12G, Jeio Tech, Séul, Corea) precalentado a 30°C, sobre una placa de Petri, sobre cinco capas de papel (120 g/m²). Después de 24 h, se registró el peso del papel sobre el plato. La migración de grasa se calculó sobre la base de la diferencia de masa (g). El ensayo se realizó por cuadruplicado. (Onacik-Gür & Żbikows, 2020).

3.6.4 Textura

Se determinó usando un texturómetro (TA.XT Plus, Stable Micro Systems, Reino Unido), según el método de Yilmaz & Öğütçü (2015), con algunas modificaciones en las condiciones, considerando la fuerza de rotura utilizando un accesorio de compresión de 1 punto de 2 mm en una base perforada. El método de prueba de compresión se seleccionó con una velocidad de 3.00 mm/s con una distancia de 7.00 mm, después se extrajo la sonda a una velocidad de 0.5 mm/s con una fuerza de disparo de 0.04930N. La fuerza pico máxima requerida para romper las galletas se registró como dureza de galletas (Onacik-Gür & Żbikows , 2020). Se realizaron cuatro mediciones en un punto de cada muestra y se reportaron sus promedios.

3.6.5 Color de Galletas

Se determinó de acuerdo a Onacik-Gür & Żbikows (2020), utilizando un colorímetro (Chin ,SPEC China) para medir los parámetros L^* , a^* , b^* , que corresponden a luminosidad (negro: $L^*=0$ y blanco: $L^*=100$), coordenadas de verde ($-a^*$) y rojo ($+a^*$) y coordenadas de azul ($-b^*$) y amarillo ($+b^*$). La prueba fue realizada en tres puntos de la parte superior y en la parte inferior del producto. Se analizaron cuatro galletas de cada variante. La diferencia de color (ΔE) total entre las galletas con oleogel y la muestra de control, se calcularon con la siguiente Ecuación (2), donde: “c” es control y “m” es muestra.

$$\Delta E = \sqrt{(L_c^* - L_m^*)^2 + (a_c^* - a_m^*)^2 + (b_c^* - b_m^*)^2} \quad (2)$$

3.6.6 Evaluación Sensorial (Parte 1)

El análisis fue realizado en dos sesiones, la primera con 35 consumidores (24 mujeres, 11 hombres, de 17 a 67 años) y la segunda con otros 35 consumidores (21 mujeres, 14 hombres, de 17 a 35 años) diferentes. En ambas sesiones se siguió el código del control en orden aleatorio. A cada panelista se le proporcionó agua para limpiar su cavidad bucal entre degustaciones. Los atributos sensoriales que se evaluaron fueron aspecto, textura, sabor, olor y aceptabilidad con una escala hedónica de 5 puntos (1= me disgusta mucho y 5 = me gusta mucho) en los tratamientos GC,

G30, G50, G70 y G100 (Li *et al.*, 2021).

3.6.7 Evaluación Sensorial (Parte 2)

La evaluación sensorial fue realizada en dos sesiones, la primera con 30 consumidores con 3 dígitos al azar en orden aleatorio y la segunda con otros 30 consumidores diferentes. A cada panelista se les proporcionó agua para limpiar su cavidad bucal entre degustaciones y una encuesta. Los atributos sensoriales que se evaluaron fueron apariencia, olor, color, sabor, textura y aceptabilidad general. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos (1= me disgusta mucho y 5 = me gusta mucho) para realizar la evaluación sensorial de 6 tratamientos (GC, G30, G50, G70, G70AC, G100) de los consumidores durante los días 1, 3 y 5 (Li *et al.*, 2021).

3.6.8 Espectros FT-IR de Galletas

Los espectros FT-IR de las galletas se obtuvieron utilizando un FT-IR Agilent modelo Cary 630 acoplado con el accesorio ATR con cristal de seleniuro de zinc (ZnSe). Las muestras fueron analizadas en un rango espectral de 4000 a 650 cm^{-1} , con un ciclo de 32 escaneos y una resolución de 2 cm^{-1} . La construcción del gráfico fue por medio del programa OriginPro 2021.

3.7 Diseño Experimental

Se realizó un diseño completamente al azar para evaluar diferentes concentraciones de oleogel al 3%, 6% y 9%.

Se realizó un diseño de bloques completamente al azar con los cinco tratamientos en diferentes concentraciones en la formulación de galleta; CONTROL (GC), Tratamiento control (combinación de manteca animal y manteca vegetal); G30, oleogel 30% y combinación de mantecas al 70%; G50, oleogel al 50% y combinación de mantecas al 50%; G70, oleogel al 70% y combinación de mantecas al 30%; G70AC, oleogel al 70% con ácido ascórbico y combinación de mantecas al 30%; G100, oleogel

al 100% y combinación de mantecas al 0%. Se realizó un análisis de varianza con el software Minitab (Versión 2019) para encontrar diferencia estadística entre tratamientos a un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$). La comparación de medias fue realizada con la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Oleogeles

4.1.1 Apariencia Visual

Se realizaron una serie de concentraciones a partir de cera de candelilla orgánica en el aceite de linaza extra virgen, con el fin de identificar los comportamientos de los oleogeles. Todos los oleogeles formulados presentaron un color amarillento con una textura solida que no mostró fugas visibles de aceite en su estructura al tacto. Después de un almacenamiento a una temperatura de 5°C, las muestras con concentración al 3% (AC03) de cera de candelilla orgánica se podían apreciar como un gel suave que fluye con el tiempo debido la gravedad al invertir el vaso, pero sin mostrar separación de fases mayores. Las muestras al 6% de cera (AC06), no fluyeron al invertir el vaso, por lo tanto, se identificaron como geles estables. Además, visualmente encontramos que, en comparación con las otras concentraciones, las muestras con cera de candelilla al 9% (AC09) formaron geles más fuertes y estables sin alteraciones al invertir el vaso de precipitados, lo que indica que, cuando aumenta la concentración de cera de candelilla orgánica, se obtienen oleogeles más estables (Figura 1).

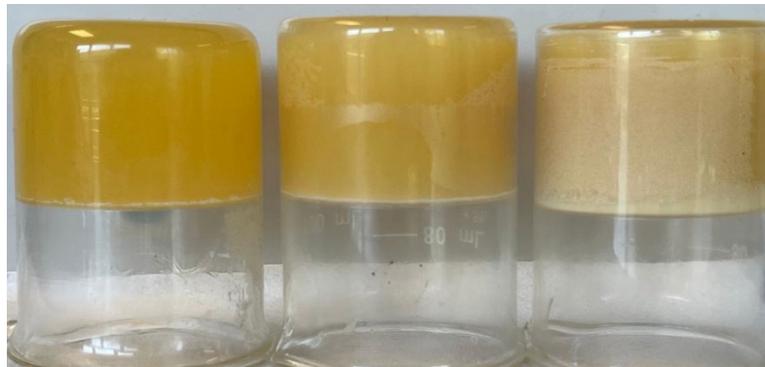


Figura 2. Apariencia Visual de los oleogeles a base de cera de candelilla orgánica.

4.1.2 Color

La influencia del color del oleogel es importante para determinar la calidad y aceptabilidad del consumidor como sustituto de mantecas convencionales en el producto final (Alvarez-Ramirez et al. 2020a). Los valores de L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul) fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 3) en todas las muestras de analizadas ($p < 0.05$). Solo la muestra AC03 fue estadísticamente similar a la manteca vegetal en el parámetro b^* , indicando tendencias al color amarillo. Asimismo, el aumento de los valores de L^* y b^* se debió a una concentración mayor de cera de candelilla orgánica en los oleogeles utilizados. En los valores del parámetro a^* hubo diferencias entre los oleogeles y mantecas (MV y MP), las muestras de oleogeles presentaron tendencias más rojizas ($+a^*$).

En otro estudio la concentración de cera tuvo un efecto significativo sobre los valores de L^* (luminosidad) de los oleogeles, donde L^* fue mayor a medida que aumenta con la concentración de cera de candelilla (Merchán Sandoval et al., 2020). Estos hallazgos también fueron similares a los del informe de Zhao et al. (2020), quienes también observaron un incremento en el valor del parámetro L^* cuando aumentaba la concentración de cera de candelilla, independientemente del aceite utilizado en la formulación de oleogeles, con un pequeño impacto en el parámetro de a^* y b^* , los cambios en a^* y b^* también se debieron a componentes menores en aceites como luteína, zeaxantina (amarillo), carotenoides (rojo) y fosfolípidos (oscuro) (Zhao et al., 2020).

Cuadro 3. Color (L^* , a^* y b^*) de manteca vegetal (MV), manteca de cerdo (MP), oleogeles (AC03, AC06 y AC09).

Muestra	L^*	a^*	b^*
MV	72.02 ±1.65 ^b	2.54 ±0.12 ^a	13.75±0.44 ^c
MP	88.32 ±0.22 ^a	0.67 ±0.13 ^b	7.65 ±0.20 ^d
AC03	42.53±1.72 ^e	-1.64±0.60 ^{cd}	16.19±1.93 ^c
AC06	55.60±1.26 ^d	-1.72±0.13 ^d	23.26±0.53 ^b
AC09	63.08±1.14 ^c	-0.89±0.11 ^c	28.37±1.29 ^a

Letras diferentes muestran diferencias significativas según la comparación de medias de Tukey ($n=4$, $p = 0.05$).

4.1.3 Textura

La prueba de punción (N) entre las mantecas y los oleogeles, fueron diferentes ($p < 0.05$) estadísticamente entre los tratamientos (Cuadro 4). La muestra donde la concentración de cera de candelilla orgánica fue al 9% (AC09) en los oleogeles, presentó el mayor valor en dureza de oleogeles, seguido del AC06 y en menor valor el AC03. Con un aumento en la concentración de la cera de candelilla orgánica, la fuerza requerida para la prueba de punción aumentó a lo largo del intervalo de velocidad. En cuanto a la comparación con las mantecas, el oleogel AC03 fue estadísticamente igual a la manteca de puerco, debido a que la manteca vegetal fue el promedio más alto (78.40 N) mostrando una comparación muy alta contra los oleogeles en este parámetro. Esto demuestra que la firmeza (N) del oleogel también depende de la cantidad de cera en el oleogel, esto debido a que la firmeza del oleogel aumentó con una mayor cantidad de cera de candelilla.

Un resultado similar fue informado por Hwang *et al.* (2016) donde observaron un aumento más pronunciado en la firmeza del oleogel (6.3 N) usando 2-10% de cera de candelilla que en los que usaban aceite de linaza y otros tipos de aceites.

Cuadro 4. Dureza, punto de fusión, índice de acidez de manteca vegetal (MV), manteca de cerdo (MP) y oleogeles (AC03, AC06 y AC09).

Muestra	Dureza (N)	Punto de fusión (°C)	Índice de acidez (KOH/g)
MV	78.40±4.01 ^a	47.16±0.41 ^c	0.18±0.02 ^c
MP	1.46±0.18 ^c	37.06±1.28 ^d	1.93±0.05 ^b
AC03	0.38±0.09 ^c	46.23±0.68 ^c	1.57±0.48 ^b
AC06	3.63±0.06 ^{bc}	52.76±1.66 ^b	2.08±0.05 ^b
AC09	6.43±0.27 ^b	61.86±2.50 ^a	4.12±1.02 ^a

Letras diferentes muestran diferencias significativas según la comparación de medias de Tukey ($n=4$, $p = 0.05$).

4.1.4 Punto de Fusión

Los puntos de fusión de los tres tipos de oleogeles y los dos tipos de mantecas fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Los puntos de fusión oscilaron entre 37.06°C y 61.86°C. Las muestras control que contenían manteca de cerdo (MP)

presentaron el punto de fusión más bajo ($37.06 \pm 1.28^{\circ}\text{C}$), mientras que las muestras con manteca vegetal (MV) presentaron un punto de fusión estadísticamente igual al de las muestras OC03 ($47.16 \pm 0.41^{\circ}\text{C}$ y $46.23 \pm 0.68^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Además, se obtuvieron puntos de fusión más altos para las formulaciones de oleogel cuando se incrementó la cera de candelilla, siendo el AC09 el de mayor punto de fusión ($61.86 \pm 2.50^{\circ}\text{C}$). Esto se puede explicar por el punto de fusión de la cera de candelilla que es de $67-79^{\circ}\text{C}$ (Alvarado *et al.*, 2012).

El efecto de la concentración de cera en el comportamiento de fusión de oleogeles con aceite ha sido bien estudiado que el inicio y las temperaturas máximas y la entalpía de fusión del oleogel aumentan con el aumento de la cantidad de cera (Hwang *et al.*, 2012). Los valores obtenidos son similares a los informados por Hwang *et al.* (2012), quienes evaluaron oleogeles formulados con cera de candelilla (8%) y diferentes aceites vegetales (incluido el aceite de linaza), que afectaron significativamente el proceso de cristalización de la cera, su resultado fue un punto de fusión de 52°C . Estas propiedades de fusión de las ceras están directamente relacionadas con sus componentes químicos. Además, las características fisicoquímicas de las ceras vegetales dependen de varios factores como la especie vegetal, factores ambientales (es decir, déficit hídrico, sequía y zona geográfica de crecimiento), así como la edad de la planta (Aranda Ledesma *et al.*, 2021).

El uso de otras ceras como la cera de girasol y cera de salvado de arroz compuestas principalmente de ésteres de cera (C38 a C54 y C44 a C64, respectivamente) mostraron puntos de fusión altos debido a los puntos de fusión altos de los ésteres de cera. En contraste, la cera de candelilla contiene n-alcános de bajo punto de fusión (C29 a C33) y muchos otros compuestos de bajo peso molecular, que proporcionan la baja temperatura de fusión y un pico de fusión amplio (Hwang *et al.*, 2016).

4.1.5 Índice de Acidez

Se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) en los valores de índice de acidez en los tres tipos de oleogeles y los dos tipos de mantecas (Cuadro 4). El índice de acidez de la manteca vegetal (0.18 ± 0.02 mg KOH/g.) fue menor a los oleogeles, por

otro lado el resultado de la manteca de puerco (1.93 ± 0.05 mg KOH/g) fue estadísticamente similar al índice de acidez de los oleogeles AC03 ($1.57 \text{ mg} \pm 0.48$ KOH/g) y AC06 (2.08 ± 0.05 mg KOH/g), además el oleogel que presentó el mayor valor en índice de acidez fue el AC09 (4.12 ± 1.02 mg KOH/g). El valor característico de la cera de candelilla es su índice de acidez de 12- 22 (mg KOH/g) (Alvarado *et al.*, 2012), el cual puede explicar los incrementos de índice de acidez en los oleogeles con mayor cantidad la cera de candelilla orgánica. Sin embargo, estos valores se encuentran dentro de los límites de norma CODEX STAN 210- 1999 para los aceites vegetales que establece que el contenido máximo de ácidos grasos libres para aceites refinados (0.6 mg de KOH/g), aceites prensados en frío y vírgenes (4.0 mg de KOH/g) y aceites vírgenes (10.0 mg de KOH/g) (FAO-OMS 95/17 1993).

4.1.6 Análisis de FT-IR

Se identificaron los principales grupos funcionales por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) en cada uno de los oleogeles y las mantecas.

Los grupos funcionales relevantes que se han encontraron son los enlaces de hidrógeno entre los grupos sulfonamida y amida son los factores principales en la formación y conservación de estructuras de red similares a gel. También se encontró una mayor resistencia mecánica al aumentar el sitio de enlace de hidrógeno (Contreras Ramírez *et al.*, 2022).

El espectro del aceite de linaza extra virgen se muestra en la Figura 2. La banda de 3007 cm^{-1} es asignada a la extensión simétrica =C-H de los alquenos (enlace olefínico), mientras 2953 y 2914 cm^{-1} son asignadas a extensión asimétrica CH_3 y CH_2 . Las bandas centradas 2872 cm^{-1} y 2847 cm^{-1} del aceite de linaza que se puede atribuir a las vibraciones de estiramiento CH_3 y CH_2 (Castorena, 2011). En otros informes, este triplete se dió en los picos 2955 cm^{-1} , 2915 cm^{-1} y 2845 cm^{-1} a números de onda más pequeños en relación con la posición del triplete del aceite de semilla de chía, y se puede atribuir a las vibraciones de estiramiento (C-H) de las columnas vertebrales de metil - CH_3 y metileno - CH_2 de n-alcanos (Trujillo-Ramírez *et al.*, 2022).

En el aceite de linaza se observa un pico 1740 cm^{-1} , el cual se asocia con la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo éster carbonilo de los triglicéridos

o fosfolípidos que es una banda que caracteriza a los aceites (Castorena, 2011) y un pico en 1735 cm^{-1} , el cual según Bureau *et al.*, (2019), las regiones $1732\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$ en alimentos también se debe al estiramiento C=O. En la región de 1653 cm^{-1} , el pico se asoció con la vibración de estiramiento del enlace C=C (pico muy pequeño) de los aceites vegetales (Mondragón Cortez, 2017), correspondiente a los grados de insaturación de los ácidos grasos. También se observan picos en 1472 cm^{-1} y 1462 cm^{-1} que refleja la flexión del grupo metileno CH_2 (C-H), mientras que el pico 1163 cm^{-1} del aceite de linaza extravirgen es comparable con otro resultado en el pico 1165 cm^{-1} que es relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento-extensión) del grupo éster presente en la molécula de los triglicéridos (Castorena, 2011) y balanceo de C-H (Mondragón Cortez, 2017). Los picos 729 cm^{-1} y 719 cm^{-1} del aceite de linaza pueden asociarse con el pico de 715 cm^{-1} que representa la flexión (CH_2)_n de la cadena de alquilo en el aceite de soya (Meng *et al.*, 2018).

El espectro de la cera de candelilla orgánica se muestra en la Figura 2, presentando flexiones en los picos 2913 cm^{-1} y 2846 cm^{-1} , 1472 cm^{-1} y 1462 cm^{-1} , 729 cm^{-1} y 718 cm^{-1} . Esto es debido a las vibraciones de estiramiento C-H de un carbono saturado que mostraban la existencia de una cadena de un compuesto alifático con un grupo funcional de alcanos de cadenas largas mayores a cuatro carbonos en un rango de $2910\text{-}2916\text{ cm}^{-1}$ y en los picos $2848\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ se observa un estiramiento C-O correspondiente al grupo funcional carbonilo de un éster.

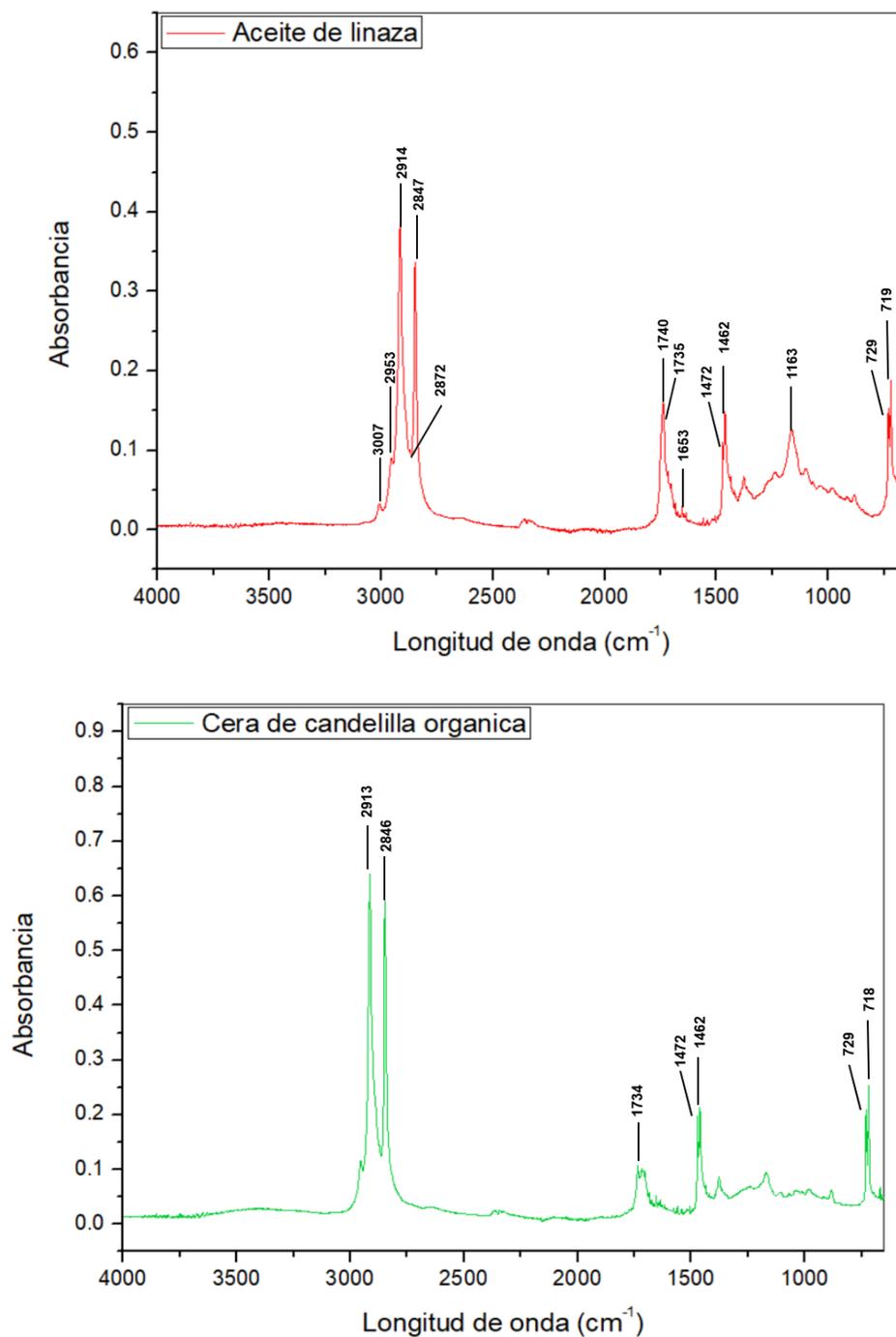


Figura 3. Espectro FT-IR de aceite de linaza extra virgen (AL) y cera de candelilla orgánica (CCO).

En la región $1730-1690\text{ cm}^{-1}$ es debido al enlace $\text{C}=\text{O}$ indicando presencia de un grupo carbonilo, exponiendo la presencia de un compuesto éster conjugado alifático (Aranda-Ledesma, 2022). En la banda 1465 cm^{-1} se observa la flexión $\text{C}-\text{H}$ de los n-

alcanos de la cera de candelilla (Trujillo-Ramírez *et al.*, 2022). Finalmente en la flexión entre 740 y 720 cm^{-1} asociada con la vibración C-H indicando una interacción de un compuesto alifático (Aranda-Ledesma, 2022).

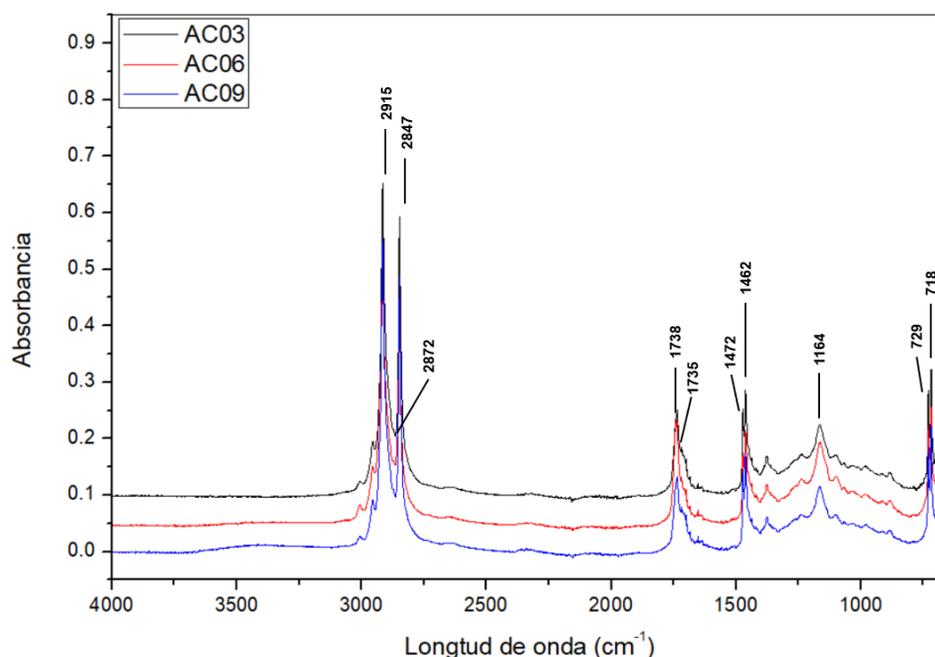


Figura 4. Espectro FT-IR de muestras: AC09 (9% de cera), AC06 (6% cera) y AC03 (3% de cera).

En el espectro de los oleogeles con cera de candelilla orgánica y aceite de linaza se muestran unos picos similares en las diferentes concentraciones (Figura 3 - AC09 , AC06 y AC03). Se puede inferir que los picos 1738 y 1735 cm^{-1} en los oleogeles, pueden ser el resultado de la combinación de aceite y cera, tales como en los reportes el pico 1743 cm^{-1} de oleogeles elaborados con aceite de chia y cera de candelilla, este pico se debe a la alta contribución de ésteres de alto peso molecular del aceite y cera de candelilla usados por otros autores (Trujillo-Ramírez *et al.*, 2022). La disminución de la absorbancia en esta región en las muestras de oleogel podría deberse al proceso de interesterificación (Puscas *et al.*, 2022).

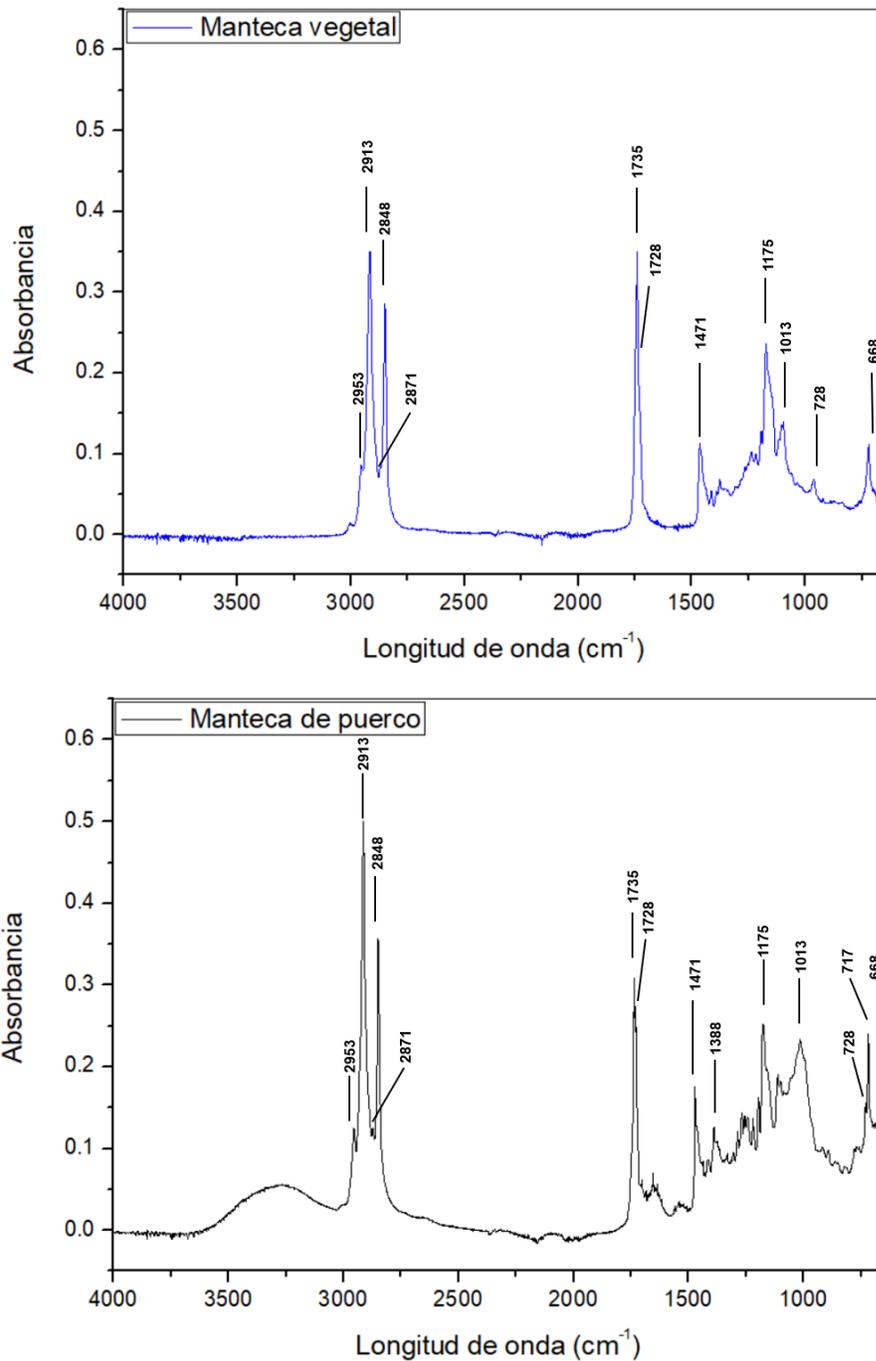


Figura 5. Espectro FT-IR de manteca vegetal (MV) y manteca de puerco (MP).

De acuerdo a Mondragón Cortez (2017), los picos encontrados en la banda 2925 cm^{-1} fueron relacionados con la vibración del estiramiento asimétrico del enlace C-H de los lípidos, en el caso de las mantecas analizadas (Figura 4) para las galletas este

pico se encontró en la banda 2913 cm^{-1} de la manteca de puerco y en el pico 2915 cm^{-1} de la manteca vegetal. Asimismo, los picos cercanos a 2855 cm^{-1} se asociaron con la vibración de estiramiento simétrico del enlace C-H que, en el caso de la manteca de puerco, fue ubicado en el pico 2848 cm^{-1} y en la manteca vegetal en el pico 2849 cm^{-1} . El pico 1750 cm^{-1} lo relacionaron con el estiramiento del enlace C=O que se compara con el pico de la manteca vegetal ubicado en la banda 1739 cm^{-1} y en la banda 1735 cm^{-1} de la manteca de puerco. El pico 1455 cm^{-1} lo relacionan con la vibración tipo tijera del enlace C-H, que se encuentran ubicados en la manteca vegetal en el pico 1463 cm^{-1} y la manteca de puerco en el pico 1471 cm^{-1} . El pico 1165 cm^{-1} es relacionada con la combinación de vibraciones de estiramiento del enlace C-O y balanceo de CH, en el caso de la manteca vegetal fue encontrado en el pico 1172 cm^{-1} y en la manteca de puerco el pico 1175 cm^{-1} , por último, el pico 710 cm^{-1} asociada con la vibración de balanceo del enlace C-H de los lípidos, este se relaciona en el pico 719 cm^{-1} en la manteca vegetal y en el pico 717 cm^{-1} en la manteca de puerco.

4.2 Galletas

4.2.1 Características Dimensionales

Los resultados en las características dimensionales en peso, espesor, diámetro y tasa de propagación de las galletas fueron estadísticamente diferentes entre los cinco tratamientos de galletas ($p \leq 0.05$). En la Figura 5 se muestran imágenes con las diferentes variaciones de las galletas.

Según la geometría, las galletas con mayor peso fueron las G50 y G100 y los de valor más bajo GC y G70, el peso también puede atribuirse al espesor (menor cantidad y diferencias en el corte y preparación durante el amasado de la masa para las galletas).

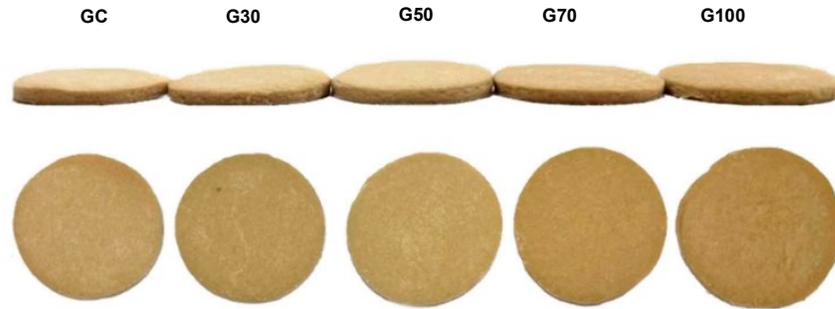


Figura 6. Tratamientos de galletas. Galleta control (GC), Galleta con 30% de oleogel (G30), Galleta con 50% de oleogel (G50), Galleta con 70% de oleogel (G70), Galleta con 100% de oleogel (G100).

La galleta con mayor espesor reportado fue la G50 seguido de G30 con apariencia aceptable en términos de geometría. Las galletas con menores valores en el espesor fueron las de GC. En otros estudios informaron que el incremento del espesor en los productos de panificación incluso con la adición de oleogeles al 100% fue debido al aumento de la tasa de burbujas en la masa durante el proceso de horneado (Álvarez-Ramírez *et al.*, 2020). Sin embargo, en nuestro caso la adición del oleogel al 100% en la galleta, no fue el mayor valor de espesor o altura, posiblemente por las variaciones en el moldeado de la masa y peso de masa horneada. Las galletas con mayores valores en diámetro fueron G100 y G50, la galleta con menor diámetro fue la GC. Estos resultados fueron similares a otros estudios que reemplazaron ingredientes convencionales (mantecas) por oleogeles al 3% de cera de candelilla, donde se menciona que este tratamiento también es el de mayor valor en diámetro (62.9 mm), esta comparación entre galletas elaboradas con mantecas (grasas sólidas) puede ser a que su alto contenido de fase sólida favorece la retención de gases en la estructura de la masa y por eso las galletas con grasas insaturadas obtienen diámetros con valores más altos que las galletas con mantecas (Onacik-Gür & Żbikows, 2020). Se ha señalado que la altura de la galleta se correlaciona con el aumento del contenido de humedad (Yilmaz & Öğütçü, 2015). Otros estudios reportaron que las galletas con oleogeles al 3 – 6% de cera de candelilla también fueron los de mayor valor en su diámetro comparado con muestras elaboradas por mantecas convencionales (Jang *et al.*, 2015).

Cuadro 5. Dimensiones de las galletas en peso, espesor (E), diámetro (D) y tasa de propagación (TP).

Muestra	Peso (g)	E (mm)	D (mm)	TP(D/E)
GC	14.47±0.55 ^c	7.75±0.51 ^b	58.90±0.44 ^b	7.61±0.19 ^{ab}
G30	17.60±1.74 ^{bc}	8.90±0.95 ^{ab}	60.59±0.78 ^{ab}	6.87±0.61 ^{bc}
G50	22.54±2.37 ^a	10.40±0.80 ^a	62.68±1.64 ^a	6.04±0.19 ^c
G70	14.82±0.85 ^c	7.02±0.57 ^b	61.14±0.65 ^{ab}	8.75±0.68 ^a
G100	20.09±1.92 ^{ab}	8.47±0.44 ^b	63.33±1.58 ^a	7.48±0.15 ^{abc}

Letras diferentes muestran diferencias significativas según la comparación de medias de Tukey (n=4, $p = 0.05$).

Por lo tanto, el índice de propagación más alto fue el de G70 seguido del G100; para este último, el valor no fue significativamente diferente al de CC. La muestra C50 obtuvo un índice de propagación menor que CC, mientras que C30 no fue significativamente diferente. Esto puede deberse a que las galletas con un mayor contenido de fase sólida tienen un índice de propagación más bajo (Onacik-Gür & Żbikows, 2020).

La aplicación de oleogel en productos puede aumentar los resultados de viscosidad si los oleogel se usan en mayor cantidad, esto puede causar un requerimiento mayor de fuerza para la deformación de la masa, esta extensión biaxial (viscosidad) está relacionada con los parámetros de tasa de propagación de las galletas y atribuida a la desigualdad del contenido de aceite utilizado para la fórmula del oleogel. Por lo tanto, el porcentaje de este ingrediente en el oleogel puede provocar espesores relativamente menores y diámetros más amplios. En otro estudio las galletas que contenían oleogel tenían una tasa de propagación más alta que las galletas que contenían manteca comercial la cual depende de las mediciones geométricas en espesor, altura de la galleta como se menciona anteriormente y aireación de la masa de galletas (Mert & Demirkesen, 2016a).

4.2.2 Color

El color es un parámetro muy importante para la aceptación del producto por parte del consumidor (Pehlivanoglu *et al.*, 2018).

Los resultados de los parámetros de color L^* , a^* y b^* de la parte superior de las galletas se muestran en el Cuadro 7, mostrando diferencias estadísticamente entre los cinco tratamientos ($p \leq 0.05$). Para L^* (luminosidad), el tratamiento GC de las

mantecas comerciales fue el valor más alto (62.24), sin diferencias estadísticas a G30 (61.58). Se puede observar que con el incremento del porcentaje de oleogel en la masa se obtuvieron galletas con menor luminosidad esto se es por eso que la G100 (56.36) fue el valor más bajo. En parámetros a^* tendencias rojizas (+) y verdosas (-) y b^* , tendencias amarillosas (+) y azules (-), ocurrió lo contrario. Los valores más altos de a^* fueron las galletas con oleogeles (G70) teniendo medias estadísticamente similares y el valor más bajo fue la GC (7.26) teniendo similitud en la media con G30 (7.47) y G50 (7.88). En valor b^* , la GC fue la galleta que presentó el valor más bajo (22.65). Otros estudios informaron que en las galletas con oleogeles mostraron valores de L^* más bajos (79.38) que las galletas con manteca (84.13) (Yilmaz & Öğütçü, 2015).

Los parámetros de color L^* de la parte inferior de las galletas (Cuadro 6) fueron estadísticamente diferente entre los cinco tratamientos ($p \leq 0.05$), mientras que los parámetros a^* y b^* fueron estadísticamente iguales. En un análisis de color en oleogeles de cera de salvado de arroz se observaron diferencias con los resultados obtenidos en este estudio en el sentido de que todas las galletas no tenían diferencia en luminosidad (L^*). Sin embargo, se apoyó la observación de números similares en tonos amarilleamientos ($+b^* \sim 32$) y tonos rojizos ($+a^* \sim 10$) para todas las galletas con oleogel, es decir que también surgieron similitudes en el color en las galletas de otros autores (Zhao *et al.*, 2020).

Cuadro 6. Resultados de color en parte superior de las galletas.

Muestra	Parte superior			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
GC	62.24±1.08 ^a	7.26±0.58 ^b	22.65±0.58 ^b	0.00±0.00 ^d
G30	61.58±1.10 ^a	7.47±0.42 ^{ab}	23.65±0.46 ^{ab}	1.83±0.28 ^{cd}
G50	59.20±0.77 ^b	7.88±0.23 ^{ab}	23.32±0.31 ^{ab}	3.21±1.25 ^{bc}
G70	58.02±0.75 ^{bc}	8.25±0.30 ^a	23.90±0.22 ^a	4.60±1.67 ^b
G100	56.36±0.88 ^c	8.00±0.36 ^{ab}	24.07±0.75 ^a	6.28±1.15 ^a

Letras diferentes muestran diferencias significativas según la comparación de medias de Tukey (n=4, $p = 0.05$).

Cuadro 7. Resultados de color en parte inferior de las galletas.

<i>Muestra</i>	<i>Parte inferior</i>			
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>ΔE</i>
GC	60.58±2.08 ^a	9.44±1.01 ^a	24.71±1.17 ^a	0.00±0.00 ^b
G30	58.28±0.87 ^{ab}	10.33±0.75 ^a	26.49±0.92 ^a	3.05±2.28 ^b
G50	55.15±0.60 ^{ab}	10.90±0.58 ^a	27.80±0.92 ^a	6.43±1.92 ^a
G70	55.27±0.92 ^{ab}	10.88±0.77 ^a	27.44±1.14 ^a	6.75±2.13 ^a
G100	54.25±3.80 ^b	9.71±2.63 ^a	24.37±2.97 ^a	7.22±4.87 ^a

Letras diferentes muestran diferencias significativas según la comparación de medias de Tukey (n=4, $p = 0.05$).

El color más oscuro está relacionado con el dorado no enzimático que se forma durante el horneado: la reacción de Maillard y la caramelización del azúcar. Un mayor valor del parámetro L^* (brillo) indica que las grasas con mayor contenido de grasas saturadas se pegan y bloquean sustratos de pardeamiento no enzimático, por lo que no se produce esta reacción (Onacik-Gür & Żbikows, 2020).

Debido a la adición de oleogel en la masas de las galletas, los tratamientos fueron estadísticamente diferente en la parte superior e inferior de la galleta ($p \leq 0.05$). Además, si $\Delta E > 3$, la diferencia de color se puede observar por el ojo humano (Onacik-Gür & Żbikows, 2020). Por lo tanto, para diferencia de detección por el ojo humano se pudo observar en la superficie de la galleta.

4.2.3 Contenido de Humedad

El porcentaje de humedad (Cuadro 8) entre los cinco tratamientos es diferente ($p \leq 0.05$). La GC fue una de las galletas con menor humedad y la media de G30 fue significativamente igual a este tratamiento. Las galletas G50, G70 y G100 fueron los tratamientos más altos de este parámetro, pero a pesar de ser los valores más altos en humedad, las galletas cumplen con los límites permisibles máximos (15%) de normas oficiales mexicanas (NOM-247-SSA1-2008) para asegurar la calidad de las mismas. Siendo una opción por su cumplimiento del parámetro sustituir los oleogeles por mantecas incluso si es al 100% en el producto. Por lo tanto, la diferencia en el contenido de humedad puede atribuirse a la capacidad de retención de agua de los oleogeles y mantecas (Yilmaz & Öğütçü, 2015).

Estos resultados fueron similares a otras galletas (6.1 – 6.2%) con un oleogel con porcentajes más bajos en cera de candelilla (2.5 – 5 g/100 de aceite) (Mert & Demirkesen, 2016a). Sin embargo, con otros tipos de ceras (cera de abeja y cera de girasol) los resultados de humedad en las galletas fueron más bajos que los de la manteca (Yilmaz & Öğütçü, 2015).

Cuadro 8. Resultados de porcentaje de humedad (%H), porcentaje de migración de grasa (%MG) y dureza de las galletas.

Muestra	%H	% MG	Dureza
GC	2.55±0.65 ^b	0.66±0.21 ^a	7.73±2.90 ^a
G30	2.93±0.13 ^b	0.28±0.17 ^b	4.83±0.59 ^{ab}
G50	4.45±0.29 ^a	0.29±0.09 ^b	4.82±0.92 ^{ab}
G70	4.27±0.80 ^a	0.18±0.09 ^b	5.03±1.28 ^{ab}
G100	4.29±0.20 ^a	0.73±0.15 ^a	4.48±0.99 ^b

Letras diferentes muestran diferencias significativas según la comparación de medias de Tukey (n=4, $p = 0.05$).

4.2.4 Porcentaje de Migración de Grasa

El porcentaje de migración de grasa es estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los cinco tratamientos. La comparación de medias se puede observar en el Cuadro 8, las galletas significativamente iguales y con el mayor valor fueron la G100 (0.73%) y GC (0.66%), mientras que las medias de G50 (0.29%), G30(0.28%) y G70 (0.18%) fueron significativamente similares siendo galletas con menor migración de grasa a comparación de la GC. En otros estudios la migración de grasa en galletas con mantecas fue estadísticamente menor y diferente (23.61%), mientras que las galletas con oleogeles otorgaban valores mayores en la migración de grasas (26.88 – 28.12%). Se menciona que esto puede atribuirse a la composición de las grasas utilizadas, las grasas convencionales tienen alrededor de 79% de aceite vegetal y otros ingredientes, por el contrario, el oleogel contiene arriba del 90% de aceite vegetal, por lo tanto el contenido de grasas debe atribuirse a esta diferencia (Yilmaz & Öğütçü, 2015).

Martins *et al.* (2020) sugirieron que una formulación de oleogel con aceites vegetales y algunos ácidos grasos de cadena larga o ceras puede generar un alimento

nutricionalmente equilibrado que es capaz de desarrollar importantes funciones biológicas, así como ayudar al buen funcionamiento del cerebro. Por tanto, la incorporación de sistemas oleosos con ácidos grasos mono y poliinsaturados como el aceite de linaza puede ser una opción. Además, Anastasiu *et al.* (2016) analizaron siete variedades de linaza en un período de 8 años y reportaron cantidades que van desde 15,85% a 23,95%, 15,10% a 17,26% y 53,06% a 60,52% de C18:1, C18:2 y C18:3, respectivamente. En este sentido, los ácidos grasos mono y poliinsaturados referenciados tienen un efecto beneficioso asociado a su consumo; por ejemplo, C18:1 está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares, y C18:3 y C18:3 constituyen la membrana de la pared celular y son esenciales para el funcionamiento normal del cerebro (Martins *et al.*, 2020). Por lo tanto, los oleogel formulados con aceite de linaza no solo son atractivos debido a la composición de ácidos grasos presentes en la linaza, sino que también pueden servir como portadores de compuestos liposolubles, como β -caroteno, cúrcuma, capsaicina y compuestos fenólicos (Pinto *et al.*, 2021).

4.2.5 Dureza

Los resultados de dureza (N) fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre los cinco tratamientos de las galletas (Cuadro 9). Por lo tanto, la sustitución de los oleogel en las galletas otorgará galletas ligeramente más suaves que la GC debido a que ese tratamiento obtuvo la media más alta seguido de G30, G50 y G70, que fueron significativamente iguales a la del control (GC) y la muestra G100 fue el valor más bajo. Este parámetro podría decirse que es el más importante en analizar, los valores de textura (N) en los productos pueden influir en la aceptación y la compra del consumidor (Álvarez-Ramírez *et al.*, 2020). Una galleta muy dura puede considerarse defecto de calidad y disgusto al consumidor, esto podría deberse a una fórmula con menor porcentaje de grasa sólida total (Yilmaz & Öğütçü, 2015).

También se obtuvo un comportamiento similar en la sustitución por oleogel, los valores de dureza fueron disminuyendo al incremento del oleogel en la masa, la sustitución al 100% fue el valor más bajo (13.37 N) (Álvarez-Ramírez *et al.*, 2020). Los parámetros de dureza (N) fueron menores en galletas preparadas con oleogel de

cera de abeja y cera de girasol (31.85 – 36.89N) en comparación con las mantecas comerciales (47.13N) (Yilmaz & Öğütçü, 2015). También se informaron comportamientos similares al introducir oleogeles en galletas elaborados con el 2.5 – 5% de cera de candelilla (39-49N) comparados con las galletas elaboradas con manteca (58N) (Mert & Demirkesen, 2016a). Esta situación también se puede atribuir a los cristales muy finos y al polimorfo β' de los oleogeles, que no resisten la aireación en la masa para galletas (Li *et al.*, 2021).

Por lo tanto, la distribución de grasa y agua en el sistema afecta significativamente las propiedades físicas y químicas de la masa para galletas, una mala formulación de este ingrediente pudiera cambiar su calidad en los productos resultantes. Cuando se usa aceite líquido en un sistema de masa, pequeñas gotas de aceite se dispersan fácilmente por toda la masa durante el mezclado. Desafortunadamente, las diminutas gotas de aceite líquido son mucho menos efectivas en la manteca porque previenen la formación de enlaces cruzados dentro de la red de gluten, estos resultados son diferentes en la textura de los productos (menor dureza). Además, durante la mezcla, las mantecas pueden atrapar burbujas de aire, que son importantes para la densidad de la masa y la textura y dimensión del producto final (Mert & Demirkesen, 2016a).

4.2.6 Evaluación Sensorial (Parte 1)

La evaluación sensorial de las galletas fue necesaria para determinar la aceptabilidad del consumidor al quinto día para las aplicaciones de los oleogeles en los alimentos. La apariencia, olor, sabor, textura y aceptabilidad general (Figura 6) durante la evaluación sensorial es estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los cinco tratamientos. En comparación a la media de GC (3.78) los tratamientos significativamente iguales en apariencia fueron G30 (3.54), G50 (3.8) y G100 (3.57). El tratamiento con valores más bajos y diferente al GC fue el G70 (3.4). Todos los tratamientos fueron evaluados arriba del 3.4 considerando que el resultado en apariencia es bueno. En comparación a la media, la más alta en olor (4.01), sabor (4.10) y textura (4.18) que fue la de GC y todas las medias son significativamente diferentes en todos los tratamientos.

En el parámetro de olor, el tratamiento más alto con oleogel fue GC30 (3.23) y el de valor más bajo fue el G100 (2.71), por que el aumento de porcentaje en oleogel pudo afectar en los resultados, con respecto a estos valores, en otros estudios el parámetro de olor fue un mejor puntaje (puntaje arriba de 3.5) en su reemplazo al 100% de la grasa en galletas con oleogeles al 5% elaborados con ceras de abeja y aceite de avellana y oleogeles al 5% con cera de girasol y aceite de avellana (Yilmaz & Öğütçü, 2015).

En el parámetro de sabor, el tratamiento más alto fue GC30 (3.09), además su media fue significativamente igual con los otros tratamientos, el de valor más bajo fue el G50 (2.6); otros productos con remplazo al 40% con oleogeles elaborados con ceras de abeja y cera de salvado de arroz obtuvieron valores más altos en este parámetro de sabor (3.5, 3.1), pero también fueron estadísticamente diferentes a los que elaboraban con mantecas convencionales (3.9) (Li *et al.*, 2021).

En el parámetro de textura, el tratamiento más alto con oleogel fue GC70 (3.80), además su media fue significativamente igual con los otros tratamientos con oleogel y la galleta elaborada con mantecas, el de valor más bajo fue de los tratamientos con oleogel fue el G30 (3.6), aunque todos los resultados de en este parámetro fueron mayores del 3.6 en su puntaje, los resultados fueron similares a galletas con remplazo al 40% con oleogeles elaborados con ceras de abeja y cera de salvado de arroz (3.5, 3.6) y sus medias también fueron estadísticamente iguales a los que elaboraban con mantecas convencionales (3.9) (Li *et al.*, 2021). La dureza de la galleta en los análisis de TPA, las galletas fueron más blandas cuando se incorporaba más oleogel (Mert & Demirkesen, 2016a).

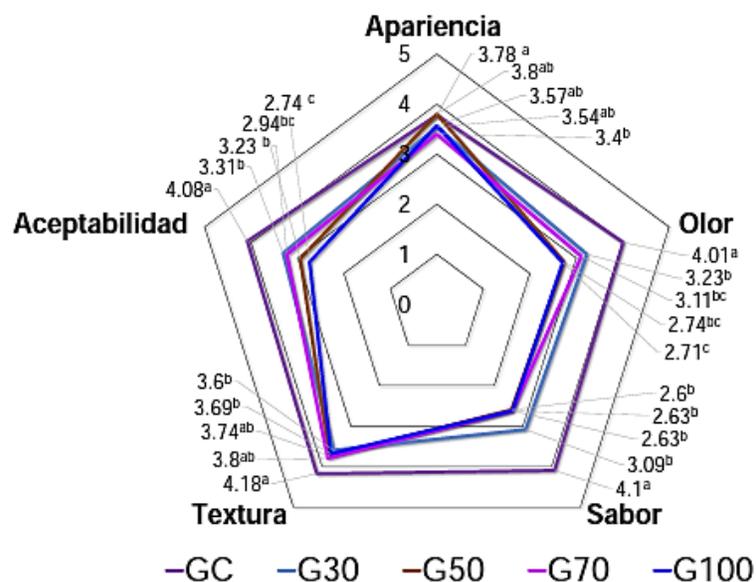


Figura 7. Evaluación sensorial de galletas: apariencia, olor, textura y aceptabilidad global (Parte 1).

Respecto a los puntajes de aceptabilidad general, G30 y G70 estuvieron por encima de 3.23, indicando que es un buen nivel de preferencia del consumidor, la media de la muestra G50 se considera significativamente igual a los otros tratamientos a pesar de ser menor porcentaje de oleogel que el G70. El tratamiento G100 fue el puntaje más bajo y menos aceptable en las puntuaciones (2.74) durante la evaluación sensorial. En otros estudios se menciona que la aceptabilidad de las muestras fue mayor a 3.8 y sin diferencias estadísticas, además de ser de alto interés hacia los consumidores por su nivel más bajo en grasas trans y bajo en grasas saturadas (Yilmaz & Ögütçü, 2015).

Esta influencia pudo elevar una mayor aceptación del consumidor. La estabilidad oxidativa de la manteca o aceite usado en la producción de galletas también es importante para la vida útil de los productos finales. En otros estudios no se observa ningún problema asociado con la oxidación del oleogel en las galletas (Yilmaz & Ögütçü, 2015). En el caso de los resultados obtenidos en este estudio se obtuvieron valores más bajos que en otras investigaciones a los 5 días de la evaluación sensorial, pero aceptables en la mayoría de los parámetros, teniendo como mejora el conservar o aumentar el valor más bajo que fue el sabor, caracterizado por los consumidores

como sabor “rancio/amargo”, “vegetal” y varios detectaron un sabor ligero a aceite (Omega 3). Algunos mencionaron que si les gustaba porque lo relacionaban con un buen aroma a hierbas recordando que esta prueba es por preferencia del consumidor y podría mejorar agregando más dulzor a la fórmula, ya que se comentó la falta de dulzor esto debido a que no fueron las típicas hojarascas con azúcar y/o canela molida en su exterior. El sabor “rancio-amargo” pudo deberse por los resultados de la migración de grasa que es uno de los aspectos más importantes porque se asociada a la formación de una capa de aceite en la superficie del producto y en el interior del envase. Dicha grasa puede sufrir un proceso de degradación más rápido, en comparación con el interior de la matriz. Su acelerado enranciamiento afecta negativamente las propiedades sensoriales y de almacenamiento de los alimentos (Onacik-Gür & Żbikows, 2020).

4.2.7 Evaluación Sensorial (Parte 2)

La evaluación sensorial de las galletas fue necesaria para determinar la aceptabilidad del consumidor durante el primer, tercer y quinto día para las aplicaciones de los oleogeles en el tratamiento más aceptado durante el quinto día (G70). La apariencia durante el primer y tercer día de la evaluación sensorial fue estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos, en el quinto día los tratamientos son estadísticamente diferentes (Figura 7). Por lo tanto, en la comparación de medias del quinto día el valor más alto lo tuvo el tratamiento G70AC (3.96), siendo estadísticamente igual con los tratamientos GC(3.46), G30 (3.6), G50 (3.5) y G70 (3.46). El tratamiento más bajo en la comparación fue el tratamiento G100 (3.26).

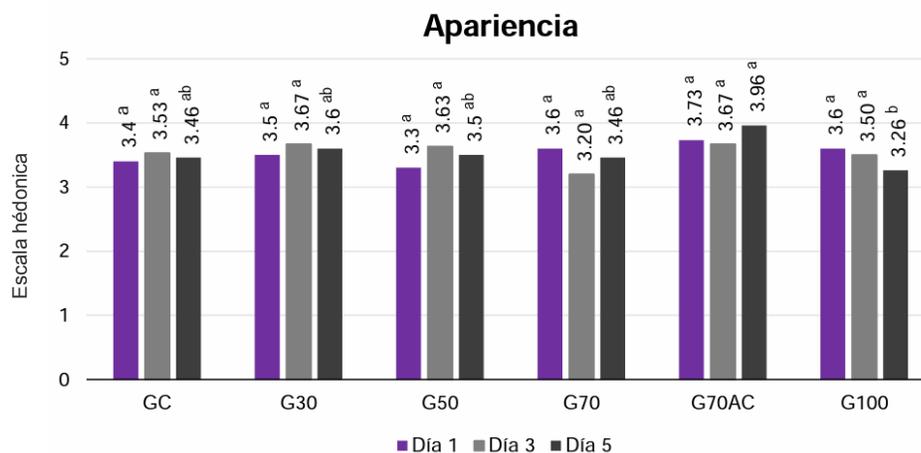


Figura 8. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Apariencia.

La evaluación sensorial del olor durante el primer, tercer y quinto día fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos (Figura 8). En la comparación de medias del primer día el valor más alto lo tuvo el tratamiento G70AC (3.63) siendo estadísticamente igual a los tratamientos GC (3.6), G30 (3.43), G70 (3.56) y G100 (3.5) y, en el tercer día el tratamiento GC (3.87) fue el mayor valor siendo estadísticamente igual a los tratamientos G30 (3.67) y G70 (3.37).

En el quinto día el tratamiento G70AC (4.0) se considera el mayor valor “me gusta” y es estadísticamente igual a los tratamientos GC (3.63), G30 (3.66), G50 (3.4), G70 (3.46).

El tratamiento más bajo en la comparación fue el tratamiento G50 en el primer día y el G100 en el tercer y quinto día. El aumento de porcentaje en oleogel al 100% pudo disminuir los resultados al tercer y quinto día, con respecto a estos valores (3.2), en otros estudios el olor fue similar (puntaje arriba de 3.5) en su reemplazo al 100% de la grasa en galletas con oleogeles al 5% elaborados con ceras de abeja y aceite de avellana y oleogeles al 5% con cera de girasol y aceite de avellana (Yilmaz & Öğütçüa, 2015). De acuerdo a la escala hedónica el nivel de la evaluación sensorial de la sustitución al 100% en el quinto día se considera “ni me gusta ni me disgusta”.

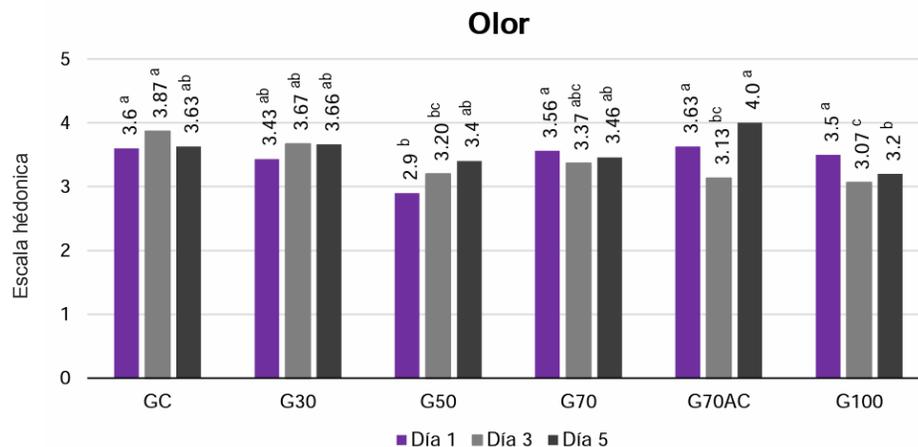


Figura 9. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Olor.

La evaluación sensorial del color durante el primer día y el tercero fue estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos, por lo tanto, en la comparación de medias los tratamientos comparten la misma letra de significancia.

Sin embargo, al quinto día el color ya muestra estadísticas diferentes ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos (Figura 9). En este apartado la comparación de las medias en la G70AC (3.8) es estadísticamente igual a la GC (3.8), G30 (3.8) y G50 (3.23).

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y más bajas que la GC tales como la G70 (3.1) y G100 (2.96), las cuales se clasifican en la escala hedónica como “ni me gusta ni me disgusta”.

Durante el análisis de colorimetría reportamos que el incremento del oleogel otorgan galletas más oscuras, en cuanto a los valores de a^* se obtuvieron tendencias más rojizas en G70 y en valores b^* se obtuvieron más tendencias amarillas si incrementamos con oleogel.

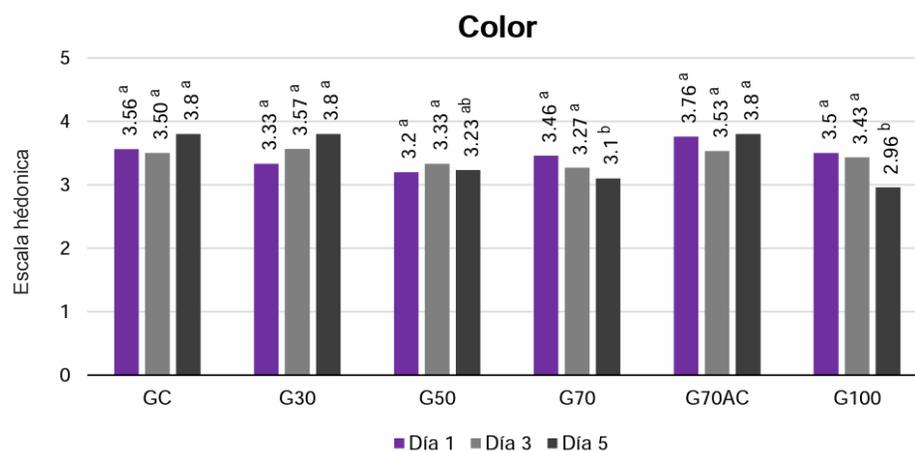


Figura 10. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Color.

La evaluación sensorial del sabor durante el primer, tercer y quinto día fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos (Figura 10).

En la comparación de medias del día 1, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales a excepción de G50 (2.7) que obtuvo valores menores clasificándose en la escala hedónica como “ni me gusta ni me disgusta el sabor”.

En el tercer día, las galletas con oleogel fueron estadísticamente menor que la GC (4.27) “me gusta mucho”. En el quinto día, las galletas con oleogel (G30, G50, G70 y G70AC) fueron estadísticamente iguales a la GC (3.83) “Me gusta”. La G100 (2.6) “ni me gusta ni me disgusta” fue la de menor puntaje en el sabor al quinto día.

Otros productos con remplazo al 40% con oleogel elaborados con ceras de abeja y cera de salvado de arroz obtuvieron valores de sabor buenos (3.5, 3.1) pero eran estadísticamente diferentes a las galletas que elaboraban con mantecas convencionales (3.9) (Li *et al.*, 2021).

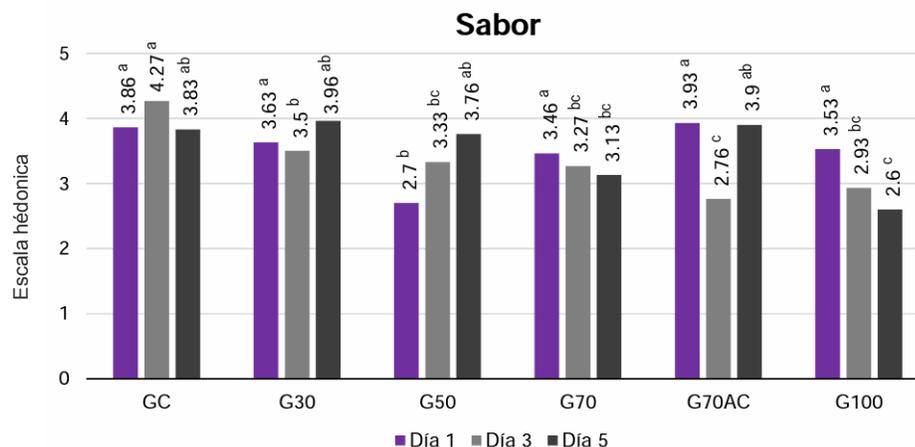


Figura 11. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Sabor.

La evaluación sensorial de la textura durante el primer y tercer día fue estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos (Figura 11). La comparación de medias entre los tratamientos en el primer día comparte una letra, por lo tanto los tratamientos son significativamente iguales, mientras que en la comparación de medias en el tercer día no se comparten letras entre la GC (3.93) “me gusta mucho” y G100 (3.67) “me gusta”.

La evaluación sensorial de la textura durante el quinto día fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos. En la comparación de medias, la G70AC (4.4) “me gusta” fue el mayor valor, pero es estadísticamente igual a la GC (4.13) y que los oleogeles G30 (4.13) y G50 (3.83), y se mejoró la G70 (3.63) estadísticamente en comparación con la G70AC. La G100 fue la galleta con menor valor en la escala con 3.4 “ni me gusta ni me disgusta” en el quinto día.

Los resultados fueron un poco más altos a comparación del porcentaje de sustitución a las galletas con remplazo al 40% con oleogeles elaborados con ceras de abeja y cera de salvado de arroz (3.5, 3.6) y la comparación de medias en esta sustitución al 40%, era estadísticamente iguales a los que elaboraban con mantecas convencionales (3.9) (Li *et al.*, 2021).

La dureza de la galleta en los análisis de TPA, las galletas eran más blandas cuando se incorporaba más cera (Mert & Demirkesen, 2016a). Lo cual puede explicar la disminución en la escala en la G100.

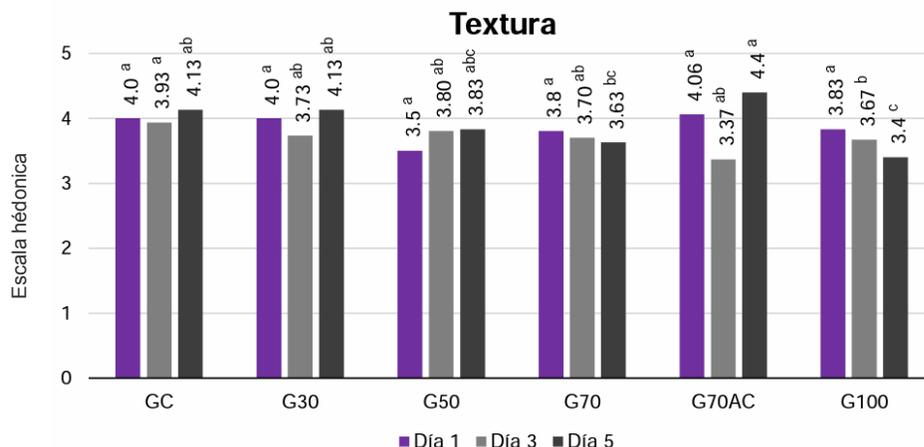


Figura 12. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Textura.

La evaluación sensorial de la aceptabilidad general durante el primer, tercer y quinto día fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos (Figura 12).

En el primer día la GC y G70AC obtuvieron los mayores valores (3.93) “me gusta” y fueron estadísticamente iguales en su comparación de medias a G30 (3.73), G70 (3.5) y G100 (3.43).

En el tercer día la GC (4.03) “me gusta” solo fue estadísticamente igual a la G30 (3.57), las demás galletas con oleogel “ni me gusta ni me disgusta” se agrupaban estadísticamente solo a la G30 y no al control.

En el quinto día la G70AC (4.23) “me gusta” fue la de mayor valor y estadísticamente igual a la GC (3.76), G30 (3.93) y G50 (3.74) con excepción de la G100 (3.03) “ni me gusta ni me disgusta” la cual también es estadísticamente igual a la G70 (3.4).

En otros estudios se menciona que la aceptabilidad de las muestras fue mayor a 3.8 y sin diferencias estadísticas entre tratamientos, además de ser de alto interés hacia los consumidores por su nivel más bajo en grasas trans y bajo en grasas saturadas. Esta influencia pudo elevar una mayor aceptación del consumidor (Yilmaz & Ögütçü, 2015).

La estabilidad oxidativa de la manteca o aceite usado en la producción de galletas también es importante para la vida útil de los productos finales. En otros estudios no

se observa ningún problema asociado con la oxidación del oleogel en las galletas (Yilmaz & Ögütçü, 2015). En el caso de nuestros resultados presentamos valores similares a los 5 días y un poco más bajos para los tratamientos de G70 y G100 pero aceptables en la mayoría de los parámetros.

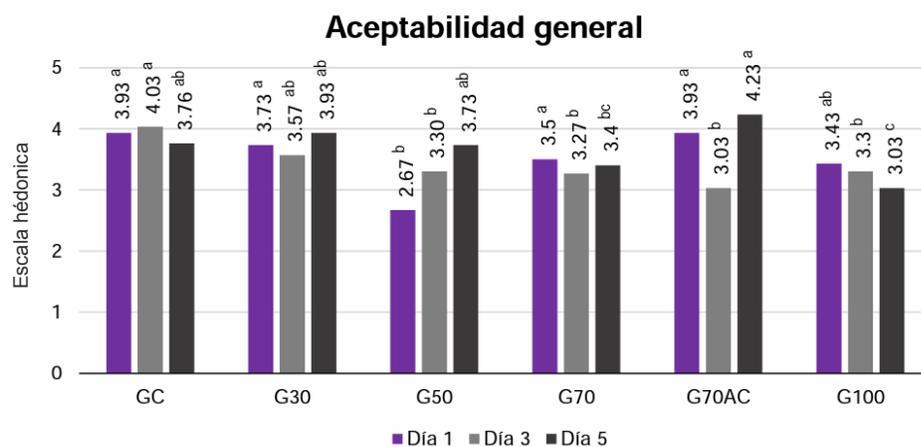


Figura 13. Evaluación sensorial (día 1, día 3 y día 5): Aceptabilidad general.

4.2.8 Espectro FT-IR de Galletas

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) proporciona información sobre las interacciones potenciales de los grupos funcionales de los diferentes compuestos, involucra la estructura del oleogel en la aplicación de dos alimentos (Trujillo-Ramírez *et al.*, 2022).

En los espectros de los seis tratamientos (Figura 13 a Figura 17), el pico ancho aproximadamente en 3282 cm^{-1} es asignada a las vibraciones de flexión de N–H de las proteínas de gluten, que pueden asociarse con otros espectros de tortas con oleogel de cera de candelilla al 5% con aceite de canola, este pico ancho también fue encontrado aproximadamente en 3290 cm^{-1} (Álvarez Ramírez *et al.*, 2020) y en una tortilla de maíz nixtamalizada con oleogel de cera de candelilla al 5% con aceite de canola en donde el pico ancho también se ubicó en la región $3000\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$ atribuido al efecto combinado (es decir, superposición) del estiramiento –OH (aproximadamente 3500 cm^{-1}) relacionado con los efectos de hidratación, y el estiramiento N–H

(aproximadamente 3300 cm^{-1}) atribuido a los grupos amida A de las proteínas (Vernon Carter *et al.*, 2020).

En el espectro de los seis tratamientos, el pico fue aproximadamente 2916 cm^{-1} , el cual es asignado al espectro de los lípidos, se observó que la intensidad del pico fue disminuyendo a medida que se incrementaba el porcentaje del oleogel, estos espectros presentan características muy distinguibles. Por ejemplo, alrededor del intervalo entre 2950 y 2800 cm^{-1} aparecen picos asociados con el estiramiento de enlaces C–H o un pico intenso ubicado aproximadamente a 1740 cm^{-1} , el cual está relacionado con el enlace C=O del grupo carbonilo de los lípidos (Mondragón Cortez, 2017). En este caso, las seis galletas presentaron el mismo pico en 1742 cm^{-1} , el cual tuvo variaciones en la intensidad leves en cuando al incremento del oleogel. Estos picos pueden asociarse a los espectros de tortas con oleogel en donde el pico de 2930 cm^{-1} también es atribuido a los lípidos y a la formación de complejos de inclusión de lípidos (ácidos grasos) y almidón (amilosa) (Álvarez Ramírez *et al.*, 2020).

También puede asociarse a otro tipo de producto como las tortillas en donde el pico se mostró en aproximadamente 2915 cm^{-1} se ha relacionado con el estiramiento de C–H, ácidos grasos libres y complejos de inclusión, esto se debe a que la harina de maíz nixtamalizado contiene aproximadamente 4% de lípidos, lo que lleva a la formación de complejos de inclusión de amilosa-lípidos durante la cocción de la tortilla. La adición de oleogel aumentó la disponibilidad de ácidos grasos, lo que promueve la formación adicional de complejos de almidón y lípidos en la masa de la tortilla (Vernon Carter *et al.*, 2020).

El espectro de los seis tratamientos no tuvo mucha variabilidad con la intensidad del pico ancho de aproximadamente 1653 cm^{-1} , el cual es asignada a los grupo amida I. En un espectro FTIR los grupos amida se ubican alrededor de 1653 cm^{-1} , y es de importancia para la caracterización de una proteína. Este grupo se encuentra asociado al enlace C=O de la amida y contribuye con cerca del 80% en la configuración del pico, y representa una vibración de tipo estiramiento. Frecuentemente, el pico de la amida I es más intenso que el pico de la amida II (Mondragón Cortez, 2017).

Los rangos de la identificación de los picos de la amida I es $1700\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ y amida II es $1600\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$. Dentro de las asignaciones de la estructura secundaria a

las curvas gaussianas obtenidas del pico de la amida I, el tipo de estructura en el número de onda (1648-1657 cm^{-1}) sería de hélice α (Mondragón Cortez, 2017) esto puede asociarse al pico que se representa en las figuras de los tratamientos 1653 cm^{-1} . En otros productos como la torta el pico de intensidad de los grupos amina I se ubica aproximadamente en 1637 cm^{-1} que resultan de las vibraciones de estiramiento C=O del enlace peptídico. El pico de pequeña intensidad a 1550 cm^{-1} generalmente está relacionado con los grupos de proteínas amida I (Álvarez Ramírez *et al.*, 2020).

La región amida I proporciona información importante de la digestibilidad de las proteínas y la estructura de la red del gluten, cuando se ven afectadas por la estructura secundaria de las proteínas (*i.e.* gluten). Con la fluctuación de la relación hoja β /bobinas con el aumento de la cantidad de oleogel en tortas, se observaron ligeras variaciones, esto sugirió que la adición de oleogel no afectó la estructura secundaria de las proteínas relacionadas con el gluten. Este resultado implicaría que las variaciones de volumen específico y propiedades texturales están más ligadas a la movilidad de las burbujas (Álvarez-Ramírez *et al.*, 2020).

Por otro lado, en los tratamientos de las galletas se puede asociar el pico 1457 cm^{-1} como el pico cercano a los 1400 cm^{-1} que resultó de la cadena lateral de la proteína COO⁻ que se encontraron en las tortas de oleogel, y el pico 1011 cm^{-1} de las galletas relacionado con el estiramiento C–O y C–C, y la flexión C–O–H asociada a los carbohidratos asociados con la banda ancha centrada en el 1015 cm^{-1} de las tortas (Álvarez-Ramírez *et al.*, 2020).

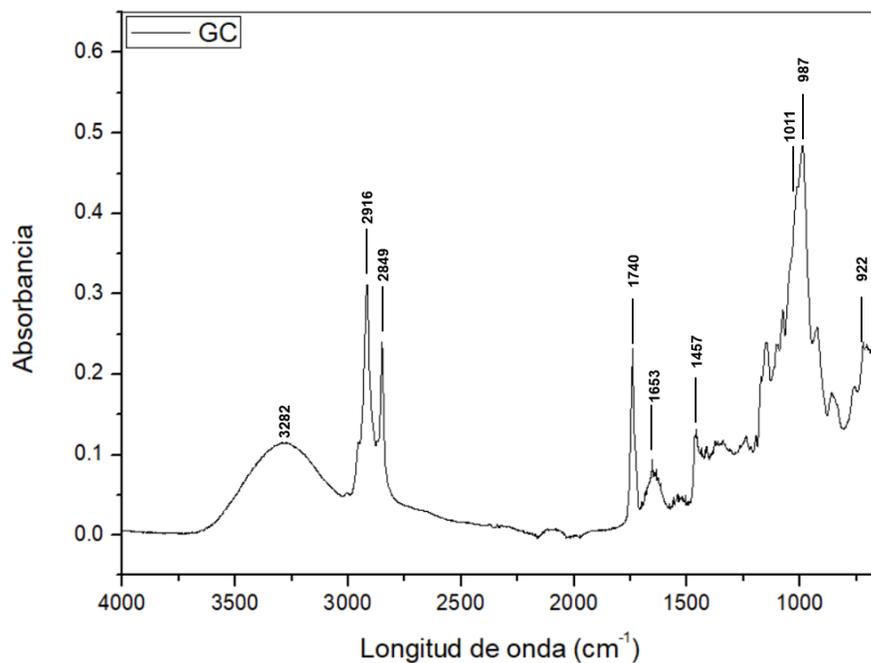


Figura 14. Espectro FT-IR de galleta control (GC).

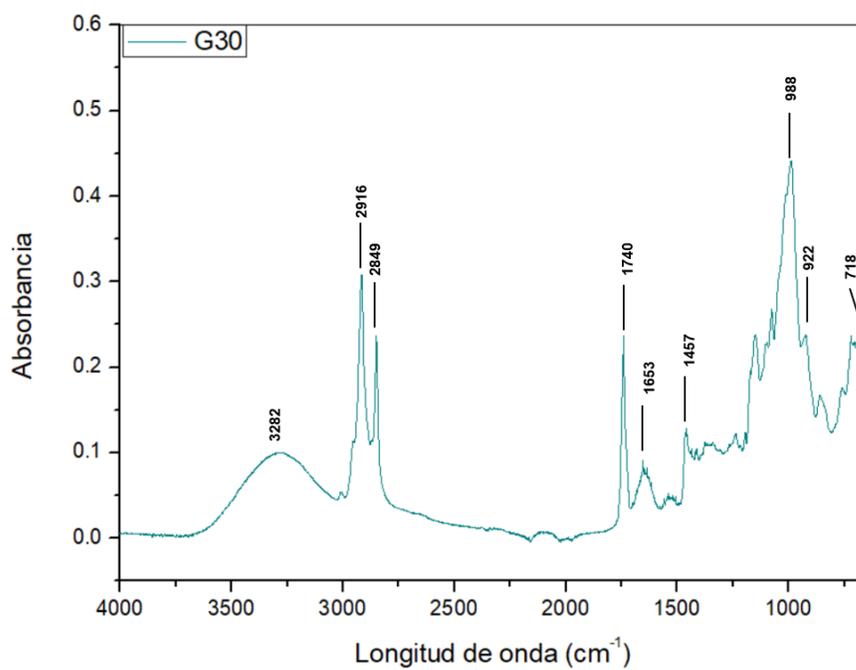


Figura 15. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 30% (G30).

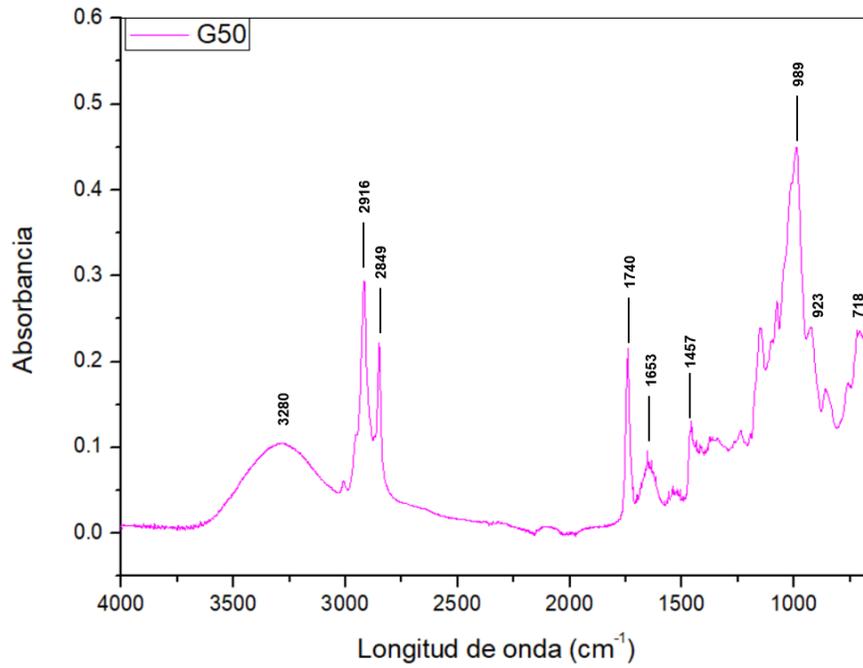


Figura 16. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 50% (G50).

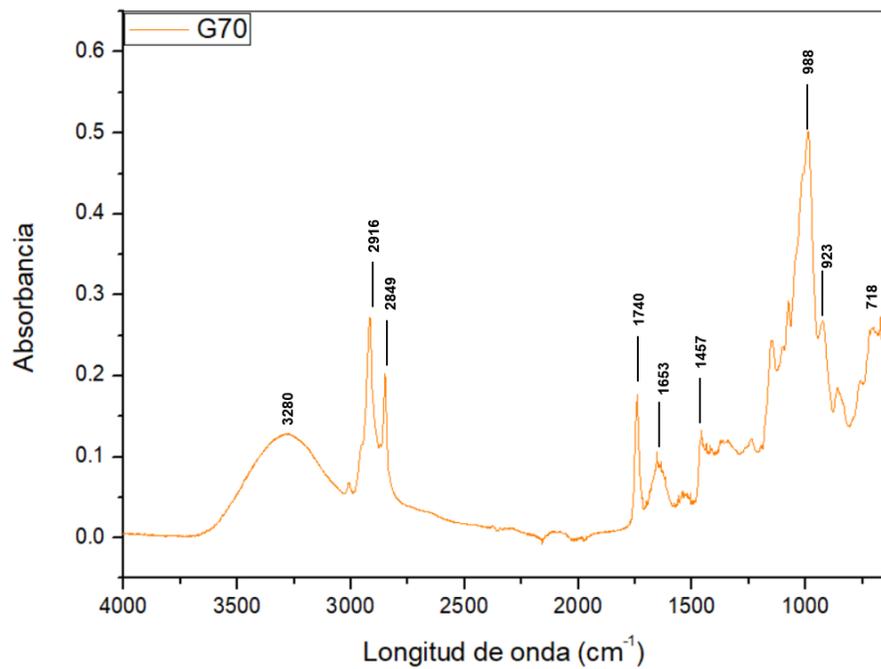


Figura 17. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 70% (G70).

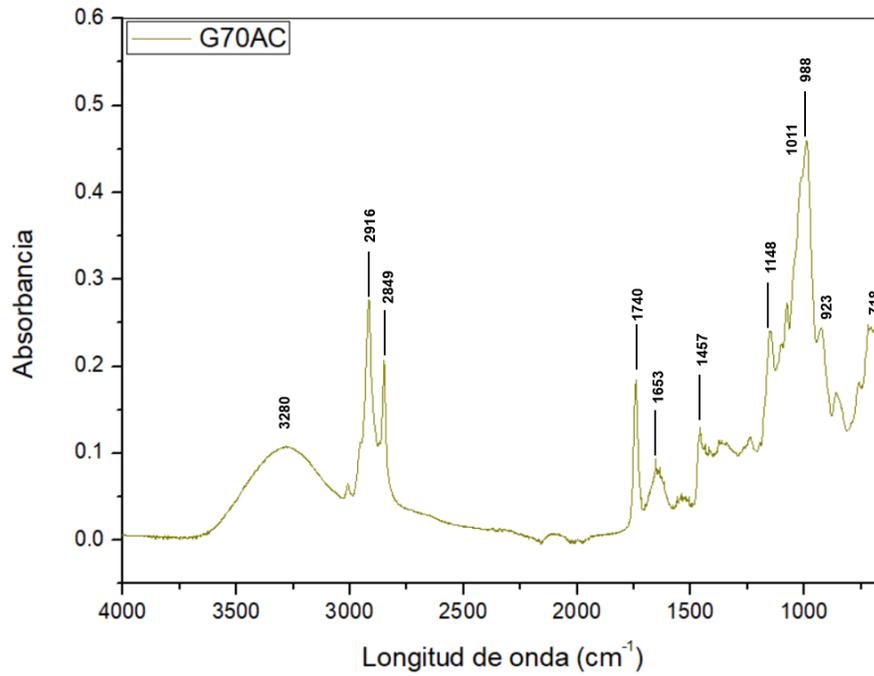


Figura 18. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 70% y ácido ascórbico (G70AC).

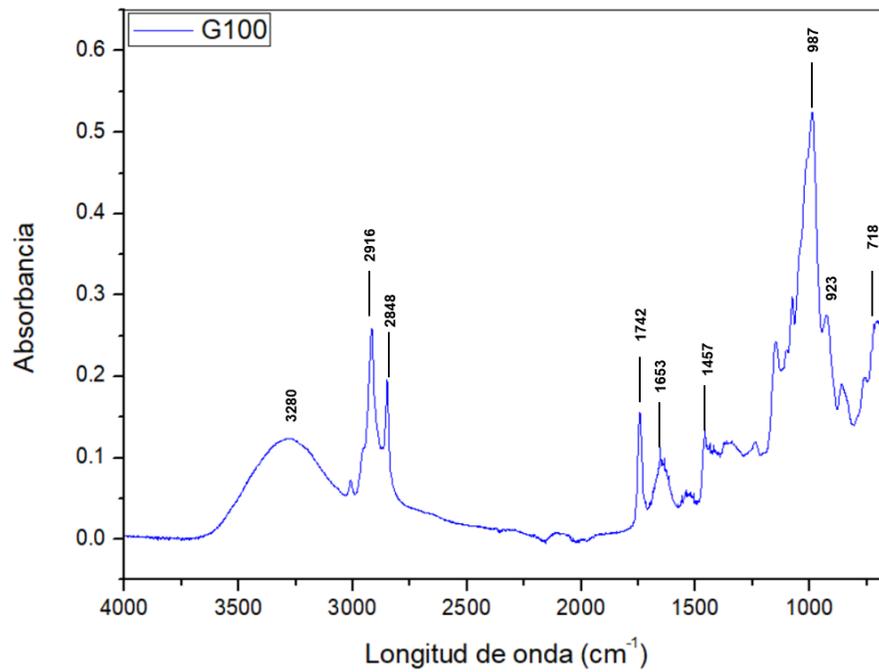


Figura 19. Espectro FT-IR de galleta con sustitución al 100% (G100).

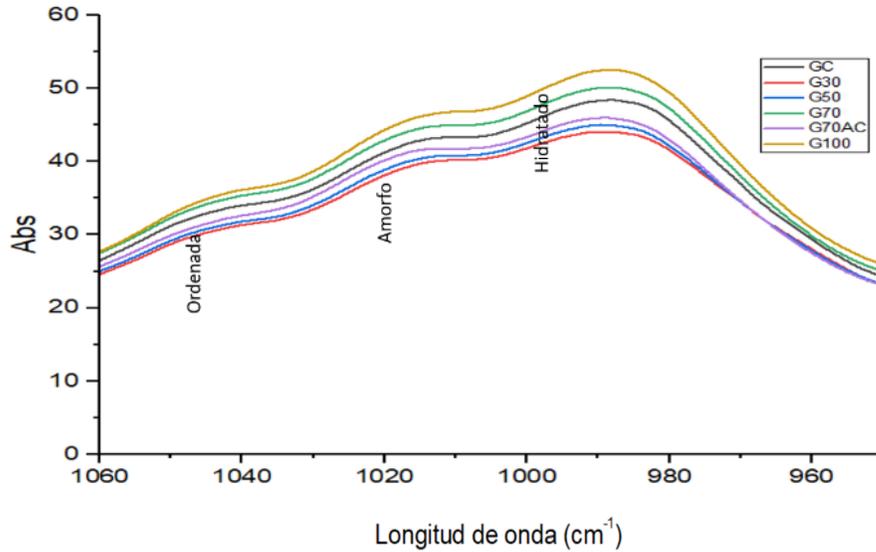


Figura 20. Espectro FT-IR de galletas en la región de carbohidratos.

En los espectros de los seis tratamientos la región vinculada a la organización molecular de las cadenas de almidón se puede reafirmar en la rango de 1080-950 cm^{-1} . Este rango se atribuye comúnmente a vibraciones de estiramiento C–O, C–C y C–H y de flexión C–O–H, y surgen como consecuencia de los carbohidratos, que son principalmente cadenas de almidón en el caso de las tortillas de maíz con oleogel (Vernon Carter *et al.*, 2020).

En la Figura 19 se muestran las bandas en 1048–1045, 1022–1016 y 995 cm^{-1} que reflejan el ordenamiento, la amorfía (es decir, cadenas de almidón dispersas al azar) y la hidratación del almidón (Vernon Carter *et al.*, 2020). De particular interés son las proporciones 995/1022 y 1047/1022, que están relacionadas con el contenido de dominios cristalinos hidratados y de rango corto en relación con los dominios amorfos en las cadenas de almidón con oleogel. Estas proporciones aumentaron en un pan a medida que se incrementó el contenido de oleogel, lo que sugiere que el oleogel promovió la formación de estructuras de almidón hidratadas y cristalizadas de corto alcance a expensas de una reducción de los dominios amorfos (Álvarez Ramírez *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La sustitución de las mantecas por oleogeles al 9% de cera de candelilla orgánica fueron estadísticamente diferentes entre los tratamientos. En luminosidad, se reportaron menores valores de L^* al incrementar la sustitución del oleogel y mayores valores en a^* , en la evaluación sensorial tuvo una mejora significativa con ácido ascórbico en el tratamiento G70, ya que el ácido ascórbico refuerza la red de gluten y esto mejoró la corteza del color de las galletas, es decir, colores más claros y luminosos. La acción antioxidante favoreció la unión de las cadenas de proteínas durante el amasado formando red de gluten más fuerte. El almidón es una parte importante para la estructura y al incrementar el contenido de oleogeles se obtuvo más hidratación de los gránulos (mayor gelatinización), es por esto que se generaron mayores valores de contenido de humedad y estiramientos -OH y flexión de N-H en picos 3282 cm^{-1} en las galletas con oleogel. Lo que también puede explicar que con el incremento de los oleogeles se otorgaron menores valores dureza, es decir, galletas “más suaves” sin embargo este sistema de oleogelación afectó positivamente durante la evaluación sensorial ya que fueron calificadas como “buenas”. En este análisis las galletas con mayor aceptabilidad se encuentran en el rango de G30 hasta la G70, además la aplicación de ácido ascórbico “G70AC” tuvo una diferencia significativa en aceptabilidad general por el consumidor “Me gusta- BUENO”.

RECOMENDACIONES

Se recomienda este porcentaje (9% de cera de candelilla y 91% de aceite) debido a que una gran cantidad de aceite en la formulación puede generar galletas aún más suaves esto dependerá si es deseable un tipo de galleta con textura más “crujiente”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Rodriguez, K.I. (2019). *Desarrollo de organogeles comestibles a base de cera de nopal y aceite vegetal*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. Consultada en Diciembre 2022, disponible en: <https://salinas.uaslp.mx/Paginas/Egresados/4207#gsc.tab=0>
- Anastasiu, A.E.; Chira, N.A.; Banu, I.; Ionescu, N.; Stana, R.; Rosca, S.I. (2016). *Oil productivity of seven Romanian linseed varieties as affected by weather conditions*. *Ind. Crops Prod.* 86, 219–2340.
- Consultada en
- Alvarez-Ramirez, J.; Vernon-Carter, E.J.; Carrera-Tarela, Y.; Garcia, A.; Roldan-Cruz, C. (2020). *Effects of candelilla wax/canola oil oleogel on the rheology, texture, thermal properties and in vitro starch digestibility of wheat sponge cake bread*. *LWT.* 130, 109701.
- Aranda Ledesma, N.E. (2022). *Caracterización avanzada de candelilla y otras plantas del semi-desierto mexicano*. Maestría Thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. Consultada en Junio 2022, disponible en: <http://eprints.uanl.mx/22907/>
- Aranda-Ledesma, N.E.; Bautista-Hernández, I.; Rojas, R.; Aguilar-Zárata, P.; Medina-Herrera, N.D.P.; Castro-López, C.; Martínez-Ávila, G.C.G. (2022). *Candelilla wax: Prospective suitable applications within the food field*. *LWT.* 159, 113170.
- Bernal, J.L.; Jiménez, J.J.; Del Nozal, M.J.; Toribio, L.; Martín, M.T. (2005). *Physico-chemical parameters for the characterization of pure beeswax and detection of adulterations*. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 107, 158–166.
- Bucio, A.; Moreno-tovar, R.; Bucio, L.; Espinosa-dávila, J.; Anguebes-franceschi, F. (2021). *Characterization of Beeswax, Candelilla Wax and Paraffin Wax for Coating Cheeses*. *Coatings.* 11, 261.
- Bureau, S.; Cozzolino, D.; Clark, C.J. *Contributions of Fourier-transform mid infrared (FT-MIR) spectroscopy to the study of fruit and vegetables: A Review*. (2019). *Postharvest Biol. Technol.* 148, 1–14.
- Cabello Alvarado, C.J.; Sáenz Galindo, A.; Barajas Bermúdez, L.; Pérez Berumen, C.;

- Ávila Orta, C.; Valdés Garza, J.A. (2013). *Cera de Candelilla y sus aplicaciones. Avances en Química*. 105-110.
- Castorena-García, I.J.; Rojas-López, M.; Delgado-Macuil, R.; Robles de la Torre, R.R. (2011). *Análisis de Pulpa y Aceite de Aguacate Con Espectroscopia Infrarroja*. *Conciencia Tecnol.* 42, 5–10.
- Contreras-Ramírez, J.I.; Patel, A.R.; Gallegos-Infante, J.A.; Toro-Vázquez, J.F.; Pérez-Martínez, J.D.; Rosas-Flores, W.; González-Laredo, R.F. (2022). *Organogel-Based Emulsified Systems, Food Applications, Microstructural and Rheological Features—A Review*. *Biointerface Res. Appl. Chem.* 12, 1601–1627.
- Demirkesen, I.; Mert, B. (2019). *Utilization of Beeswax Oleogel-Shortening Mixtures in Gluten-Free Bakery Products*. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*. 96(5): 545–54.
- FAO/OMS. (1993). *Informe de la 14ª reunión del comité del CODEX sobre grasas y aceites*. Com. Del CODEX . 1, 1–123.
- Gruia, A.; Mirela Popa, V.; Nicoleta Raba, D.; Dumbrava, D.; Moldovan, C.; Bordean, D.; & Mateescu, C. (2012). *Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (Linum Usitatissimum L.) from Romania*. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 18(2), 136-140.
- Gutiérrez-Guerrero, M.D.C. (2019). *Estructuración de Aceite Vegetal Mediante Interesterificación y Organogelación*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Aguas Calientes, Aguascalientes, México. Consultada en Diciembre 2022, disponible en: <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/1799>.
- Hwang, H.S.; Kim, S.; Singh, M.; Wikler Moser, J.K.; Liu, S.X. (2012). *Organogel Formation of Soybean Oil with Waxes*. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89(4): 639–47.
- Hwang, H.S.; Singh, M.; Lee, S. (2016). *Properties of Cookies Made with Natural Wax–Vegetable Oil Organogels*. *J. Food Sci.* 81, C1045–C1053.
- Jang, A.; Bae, W.; Hwang, H.S.; Lee, H.G.; Lee, S. (2015). *Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods*. *Food Chem.* 187, 525–529.
- Toro-Vazquez, J.F.; Charó-Alonso, M.A.; Pérez-Martínez, J.D.; Morales-Rueda, J.A.

- (2011). *Candelilla Wax as an Organogelator for Vegetable Oils—An Alternative to Develop Trans-Free Products for the Food Industry*. In *Edible Oleogels: Structure and Health Implications*, 1st ed.; Marangoni, A.G., Garti, N., Eds.; Academic Press: San Diego, CA, USA; AOCS Press: Urbana, IL, USA, pp. 119–148.
- Li, S.; Wu, G.; Li, X.; Jin, Q.; Wang, X.; Zhang, H. (2021) *Roles of gelator type and gelation technology on texture and sensory properties of cookies prepared with oleogels*. *Food Chem.* 356, 129667.
- Lopez-Salazar, G.L. (2019). *Factors Influencing the Purchase of Organic Food in Mexico*. A Mixed Analysis. *Small Bus. Int. Rev.* 3, 69–85.
- Martins, A.J.; Vicente, A.A.; Pastrana, L.M.; Cerqueira, M.A. (2020). *Oleogels for development of health-promoting food products*. *Food Sci. Hum. Wellness* , 9, 31–39.
- Meng, Z.; Qi, K.; Guo, Y.; Wang, Y.; Liu, Y. (2018). *Effects of thickening agents on the formation and properties of edible oleogels based on hydroxypropyl methyl cellulose*. *Food Chem.* 246, 137–149.
- Merchán-Sandoval, J.; Carelli, A.; Palla, C.; Bäuml, E. (2020). *Preparation and characterization of oleogel emulsions: A comparative study between the use of recovered and commercial sunflower waxes as structuring agent*. *J. Food Sci.* 85, 2866–2878.
- Mert, B.; Demirkesen I. (2016a). *Evaluation of Highly Unsaturated Oleogels as Shortening Replacer in a Short Dough Product*. *LWT - Food Science and Technology.* 68: 477–84.
- Mert, B.; Demirkesen I. (2016b). *Reducing Saturated Fat with Oleogel/Shortening Blends in a Baked Product*. *Food Chemistry.* 199: 809–16.
- Pérez Meza, L. V. (2020). *Estudio de La Estructura Cristalina y Reología de Oleogeles Moleculares de Mezclas de N -Hentriacontano y Ácidos Graso*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Consultada en Junio 2022, disponible en: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/7135>
- Rojas Molina, R.; De León Zapata, M.A.; Saucedo Pompa, S.; Aguilar Gozalez, M.A.; Aguilar, C.N. (2013). *Chemical and Structural Characterization of Candelilla (Euphorbia Antisyphilitica Zucc.)*. *Journal of Medicinal Plants Research.* 7(12):

702–5.

- Mondragón Cortez, P. (2017). *Espectroscopía de Infrarrojo para Todos y 51 Espectros de Alimentos Consumidos en México*, 1st ed.; CIATEJ: Zapopan, México, pp. 1–199.
- Onacik-Gür, S.; Żbikowska, A. (2020). *Effect of high-oleic rapeseed oil oleogels on the quality of short-dough biscuits and fat migration*. *J. Food Sci. Technol.* 57, 1609–1618.
- Patel, A.R.; Babaahmadi, M.; Lesaffer, A.; Dewettinck, K. (2015). *Rheological Profiling of Organogels Prepared at Critical Gelling Concentrations of Natural Waxes in a Triacylglycerol Solvent*. *J. Agric. Food Chem.* 63, 4862–4869.
- Pehlivanoglu, H.; Ozulku, G.; Yildirim, R.M.; Demirci, M.; Toker, O.S.; Sagdic, O. (2018). *Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as a shortening mimetics in cake*. *J. Food Process. Preserv.* 42, e13621.
- Pinto, T.C.; Martins, A.J.; Pastrana, L.; Pereira, M.C.; Cerqueira, M.A. (2021). *Oleogel-Based Systems for the Delivery of Bioactive Compounds in Foods*. *Gels*. 7, 86.
- Puscas, A.; Tanislav, A.E.; Muresan, A.E.; Fărcas, A.C.; Muresan, V. (2022). *Walnut Oil Oleogels as Milk Fat Replacing System for Commercially Available Chocolate Butter*. *Gels*. 8, 613.
- Puscas, A.; Muresan, V.; Socaciu, C.; Muste, S. (2020). *Oleogels in Food: A Review of Current and Potential Applications*. *Foods*. 9, 70.
- Rojas Molina, R.; Saucedo Pompa, S.; De León Zapata, M.A.; Jasso Cantú, D.; Aguilar, C.N. (2011). *Pasado, Presente Y Futuro De La Candelilla*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(6): 7–18.
- Trujillo-Ramírez, D.; Reyes, I.; Lobato-Calleros, C.; Vernon-Carter, E.J.; Alvarez-Ramirez, J. (2022). *Chia seed oil-candelilla wax oleogels structural features and viscoelasticity are enhanced by annealing*. *LWT*. 153, 112433.
- Vernon-Carter, E.J.; Alvarez-Ramirez, J.; Meraz, M.; Bello-Perez, L.A.; Garcia-Diaz, S. (2020). *Canola Oil/Candelilla Wax Oleogel Improves Texture, Retards Staling and Reduces in Vitro Starch Digestibility of Maize Tortillas*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(3): 1238–45.
- Winkler-Moser, J.K.; Anderson, J.; Felker, F.C.; Hwang, H.S. (2019). *Physical*

Properties of Beeswax, Sunflower Wax, and Candelilla Wax Mixtures and Oleogels. JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society. 96(10): 1125–42.

Öğütcü, M. & Yılmaz, E. (2015). *The Texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels.* Food Funct. 6, 1194–1204.

Zambiasi, R.C.; Przybylski, R.; Zambiasi, M.W.; Mendonça, C.B. (2007). *Fatty acid composition of vegetable oils and fats.* Bol. Cent. Pesqui. Process. Aliment. 25, 111–120.

Zhao, M.; Lan, Y.; Cui, L.; Monono, E.; Rao, J.; Chen, B. (2020). *Formation, characterization, and potential food application of rice bran wax oleogels: Expeller-pressed corn germ oil versus refined corn oil.* Food Chem. 309, 125704.