

Propiedades texturales en oleogeles: influencia sinérgica de aceites vegetales y el aceite esencial de menta

Textural properties in oleogels: synergistic influence of vegetable oils and peppermint essential oil

Andres F. Zapata Betancur¹  Freddy Forero Longas²   Adriana Pulido Diaz³ 

¹ Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. Medellín-Antioquia-Colombia.

² Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Ingeniería de Alimentos. Universidad de Antioquia. Medellín-Antioquia-Colombia.

³ Agrosavia. Centro Investigación. La Selva. Rionegro-Antioquia.

Resumen

Introducción: En los últimos años se ha observado un incremento de alternativas funcionales a las grasas convencionales, y los oleogeles han surgido como una opción viable para este propósito.

Objetivo: En este estudio se evaluaron las propiedades texturales de oleogeles formulados con aceites de soya (x1), oliva (x2) y canola (x3), aceite esencial de menta (x4) y cera de girasol (x5) y, con el fin de determinar el efecto sinérgico de los componentes sobre las características texturales.

Metodos: Se empleó un diseño experimental de mezcla I-óptimo para la evaluación de estos cinco ingredientes, utilizando la firmeza (mN) y la consistencia (mN*s) como variables de respuesta, determinadas mediante análisis instrumental de textura.

Resultados: El análisis reveló que la cera de girasol tuvo el mayor impacto en la textura del oleogel, estableciendo una concentración mínima de gelificación del 2% (p/p). Los resultados demostraron que la firmeza del oleogel presentó un amplio rango, oscilando entre 75.64 y 1754.05 mN. Además, los datos indicaron que este parámetro podía ajustarse a tres niveles principales: blando (2%), medio (3–5%) y duro (7%), dependiendo de la cantidad de cera de girasol utilizada. Se observó un cambio notable en la consistencia, evidenciado por una variación significativa de 1023 a 17934 mN*s al aumentar la concentración del agente gelificante del 2% al 5% (p/p).

Conclusiones: Estos hallazgos demuestran que las propiedades mecánicas de los oleogeles pueden ajustarse de forma precisa modificando el tipo de aceite vegetal y la concentración de cera de girasol, lo que ofrece una alternativa potencial a las grasas tradicionales en diversas industrias, incluyendo la alimentaria, cosmética y farmacéutica.

Palabras clave: TReemplazadores de grasa, Gelificantes, Ceras, Compuestos bioactivos.

Abstract

Introduction: In recent years, there has been an increase of functional alternatives to conventional fats and oleogels have emerged as a viable option for this purpose.

Objective: In this study, the textural properties of oleogels formulated with soybean (x1), olive (x2), and canola (x3) oils, peppermint essential oil (x4) and sunflower wax (x5), and were evaluated, to determine the synergistic effect of the components on the textural characteristics.

Methods: An I-optimal mixture experimental design was employed for the evaluation of these five ingredients, with firmness (mN) and consistency (mN*s) serving as the response variables that were determined by instrumental textural analysis.

Results: The analysis revealed that sunflower wax had the greatest impact on the oleogel texture, with a minimum gelling concentration of 2% (w/w). The results demonstrated that oleogel firmness exhibited a wide range, spanning from 75.64 to 1754.05 (mN). Furthermore, the data indicated that this parameter could be adjusted to three primary levels: soft (2%), medium (3–5%), and hard (7%), depending on the quantity of sunflower wax utilized. A notable shift in consistency was observed, exhibiting a significant change from 1023 to 17934 (mN*s), as the gelling agent concentration increased from 2% to 5% (w/w).

Conclusions: These findings demonstrate that the oleogels mechanical properties can be precisely adjusted by modifying the vegetable oil type and sunflower wax concentration, offering a potential alternative to traditional fats in various industries, including food, cosmetics, and pharmaceuticals.

Keywords: Fat replacer, Gelators, Waxes, Bioactive Compounds.

¿Cómo citar?

Zapata A F, Forero F, Pulido A. Propiedades texturales en oleogeles: influencia sinérgica de aceites vegetales y el aceite esencial de menta. Ingeniería y Competitividad. 2025, 27(1) e-21114740

<https://doi.org/10.25100/iyv.v27i1.14740>

Recibido: 2/11/25

Revisado: 3/3/25

Aceptado: 3/25/25

Online: 4/1/25

Correspondencia

freddy.forero@udea.edu.co



Contribución a la literatura

¿Por qué se realizó?

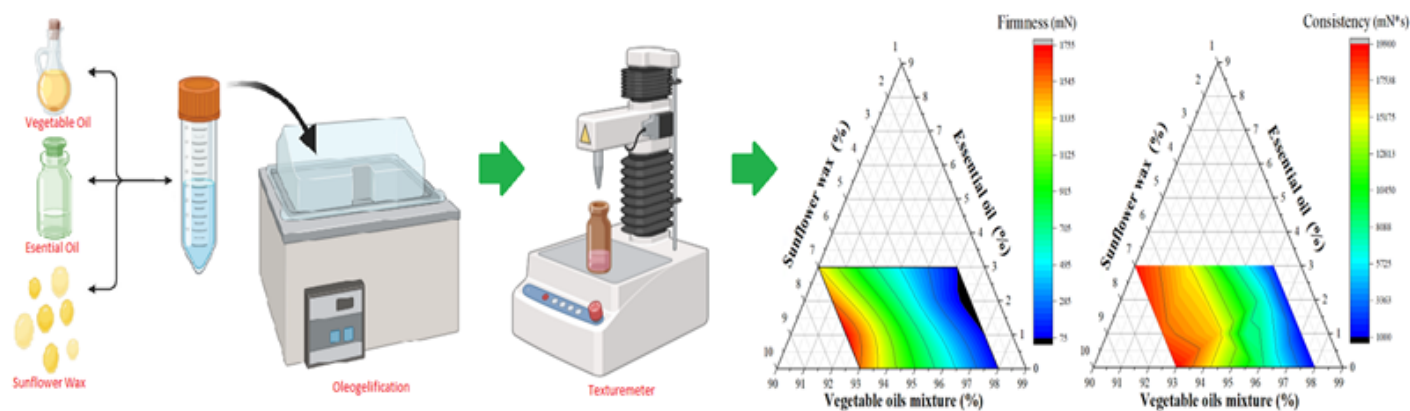
Este estudio se realizó para explorar alternativas funcionales a las grasas convencionales mediante el desarrollo y la caracterización de oleogeles con diferentes aceites vegetales y agentes estructurantes. La motivación surgió de la creciente demanda de sustitutos de grasas más saludables en diversas industrias, especialmente en la alimentaria, la cosmética y la farmacéutica. Al investigar los efectos sinérgicos de la cera de girasol y el aceite esencial de menta piperita en las propiedades texturales de los oleogeles, esta investigación buscó aportar información para optimizar sus características mecánicas para diferentes aplicaciones.

¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

La cera de girasol se identificó como el principal agente estructurante, con una concentración mínima de gelificación del 2 % (p/p). La firmeza del oleogel varió significativamente, oscilando entre 75,64 y 1754,05 mN, dependiendo de la concentración de cera. La firmeza se clasificó en tres niveles: blanda (2 %), media (3-5 %) y dura (7 %), según el porcentaje de cera de girasol. La consistencia aumentó notablemente de 1023 a 17934 mN·s cuando la concentración de cera aumentó del 2 % al 5 % (p/p). Se desarrollaron dos modelos matemáticos para predecir la firmeza y la consistencia, logrando altos coeficientes de correlación ($r^2 = 95,94\%$ y $95,36\%$).

¿Qué aportan estos resultados?

Estos hallazgos contribuyen a la literatura al demostrar que las propiedades del oleogel se pueden adaptar con precisión mediante ajustes en la formulación, en particular modificando la concentración de cera de girasol y el tipo de aceite. El estudio proporciona una base científica para el diseño de sistemas lipídicos estructurados con propiedades mecánicas controladas, ampliando su potencial como sustitutos de las grasas convencionales. Este trabajo respalda la investigación futura sobre alternativas de grasas funcionales y de etiqueta limpia, y fomenta la innovación en las industrias alimentaria y no alimentaria que buscan sustitutos de grasas más saludables y sostenibles.



Introducción

Los oleogeles se definen como compuestos orgánicos líquidos (aceites vegetales) dentro de una red tridimensional, obtenidos a través de un proceso que se produce mediante la dispersión de un agente gelificante en una fase oleosa continua para formar un semisólido. (1, 2). Las estructuras creadas durante el proceso de oleogelificación corresponden a estructuras que forman un ángulo dentro del cual el líquido se inmoviliza debido a la tensión superficial, entre otros tipos de interacciones, dando lugar a un gel de consistencia variable (3). Las sustancias gelificantes incluyen sales de ácidos grasos, esteroides, aminoácidos, carbohidratos y compuestos organometálicos. Estas moléculas exhiben un comportamiento anfifílico, lo que les permite ensamblarse en líquidos hidrofóbicos. Este ensamblaje logra un equilibrio entre la solubilidad y las fuerzas de agregación, principalmente a través de interacciones dipolares, complejos covalentes, enlaces de hidrógeno y coordinación de metales. (4, 5). Los agentes estructurantes son generalmente moléculas de bajo peso molecular (<3000 Da) que pueden unirse dentro de una red cristalina. Este proceso atrapa el aceite circundante y ocurre a medida que disminuye la temperatura del sistema. Las celulosas modificadas, como las etil, metilo e hidroxipropilcelulosas, son actualmente los agentes gelificantes dominantes. (2); sin embargo, otros compuestos, como ceras, ácido esteárico, alcohol estearílico, B-EI sitosterol, el orizanol, la lecitina, el triestearato de sorbitán y las ceramidas también son factibles para la fabricación de oleogel (6-8).

Los procesos de oleogelificación se ejecutan a través de varios mecanismos, que exhiben variaciones en la naturaleza y la aplicabilidad práctica. Estos mecanismos incluyen: (a) la dispersión directa del agente gelificante dentro de la fase aceitosa, (b) un método indirecto que utiliza emulsiones de agua continuas, (c) estructuración asistida por la sorción física del aceite líquido y (d) estructuración bifásica (3, 9). Los oleogeles exhiben una integridad estructural disminuida a temperaturas elevadas y pueden demostrar inestabilidad durante períodos prolongados. La interacción entre los grupos oleófilos y las moléculas de aceite gobierna su capacidad para formar estructuras. La capacidad de absorción de oleogel está influenciada por el peso molecular y la ramificación de las moléculas estructurantes, la cristalinidad del aceite y la diferencia de solubilidad entre oleogel y aceite (10, 11). La fase dispersa en los oleogeles da como resultado una variedad de estructuras coloidales. Estas estructuras abarcan redes cristalinas tridimensionales, redes fibrilares autoensambladas, emulsiones estructuradas y redes poliméricas (1, 12).

Definidos como productos originados a partir de material vegetal y obtenidos a través de diversos mecanismos físicos o químicos, los aceites esenciales (OE) exhiben fracciones líquidas volátiles. Estas fracciones generalmente están compuestas de hidrocarburos de polimetileno del tipo terpeno (C₅H₈), junto con una variedad de compuestos oxigenados, incluidos monoterpenos, sesquiterpenos, alcoholes, éteres, aldehídos, ésteres y cetonas (13-15). Como productos de metabolitos secundarios dentro de las plantas, los aceites esenciales realizan funciones críticas, incluida la defensa química contra insectos y depredadores, y facilitan la supervivencia de las plantas. El almacenamiento de estos aceites se produce en diversas estructuras celulares. Estas estructuras incluyen células superficiales, como pelos glandulares ubicados en la superficie de la planta, comúnmente observados en hierbas como el orégano, la menta y la lavanda; células

incrustadas dentro de los tejidos, como las que se encuentran en las hojas de cítricos y eucalipto; y capas de células que rodean los espacios intercelulares, como las presentes en los canales de resina de pino, los canales secretores, las glándulas y los tricomas (16, 17).

La menta, clasificada científicamente como *Mentha piperita*, pertenece a la familia Lamiaceae. El aceite esencial derivado de esta planta generalmente se obtiene a través de la destilación al vapor, un proceso que extrae compuestos volátiles de varias partes de la planta, y las hojas producen una concentración notablemente mayor. Este aceite presenta un color amarillo pálido o amarillo verdoso pálido, acompañado de un olor herbal distintivo y una sensación fresca y refrescante. Estas características surgen de su compleja composición química, que incluye ésteres, alcoholes, cetonas, terpenos y otros compuestos volátiles. En particular, en Bélgica, las regulaciones legales estipulan que solo las hojas están permitidas como fuente de este aceite esencial (18). La menta, una planta medicinal con una importancia económica sustancial, es reconocida por su amplio espectro de propiedades farmacéuticas y valor nutricional. Las investigaciones científicas han examinado a fondo sus aplicaciones medicinales tradicionales, que abarcan el tratamiento de la fiebre, los resfriados, los problemas digestivos y la inflamación. Además, los estudios han demostrado sus diversas actividades biológicas, incluidos los efectos antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios y anticancerígenos (19).

Las aplicaciones de aceites esenciales están limitadas por su sensibilidad térmica inherente, alta volatilidad y propensión a la degradación oxidativa. Por lo tanto, el desarrollo de sistemas adecuados de transporte y dispensación es esencial para proteger los AE de factores externos que comprometan su calidad y composición. Lograr la incorporación exitosa de las OE en aplicaciones industriales que abarcan medicina, alimentos, artículos para el hogar, cuidado personal, biotecnología, productos farmacéuticos, textiles y cosméticos. (20-23), es imperativo adaptar y modificar las propiedades específicas de EO. Esta intervención, que con frecuencia se logra a través de técnicas de matriz polimérica como encapsulación, microencapsulación y gelificación, sirve para mitigar la volatilidad, mejorar la vida útil, mejorar los efectos biológicos y facilitar la liberación controlada (16, 24, 25).

Las aplicaciones de AE tienen algunas limitaciones debido a su sensibilidad térmica, alta volatilidad y fácil degradación oxidativa, por lo que es necesario buscar sistemas de transporte y dispensación adecuados que protejan los AE de factores externos que alteren su calidad y composición. Por lo tanto, para la incorporación exitosa de los aceites esenciales (AE) en productos con aplicaciones industriales en campos como la medicina, la alimentación, los artículos para el hogar, el cuidado personal, la biotecnología, la industria farmacéutica, la industria textil y la cosmética, es necesario adaptar e intervenir en ciertas propiedades para favorecer su rendimiento, ya que este es el principio más utilizado para reducir la volatilidad de estos compuestos, mejorando así la vida útil, los efectos biológicos y la liberación controlada de AE. Esta mejora se puede lograr a través de diferentes mecanismos, siendo el uso de una matriz polimérica aplicada a través de técnicas como la encapsulación, la microencapsulación y la gelificación las metodologías más utilizadas e investigadas.

Con el fin de aprovechar los amplios beneficios tecnológicos y funcionales de los oleogeles y aceites esenciales, esta investigación tuvo como objetivo evaluar sistemáticamente el efecto combinado de múltiples aceites vegetales junto con el aceite esencial de menta sobre las características de textura de los oleogeles formados. Este enfoque sirve como estrategia para promover una aplicación más amplia de esta tecnología (oleogelación) y de estos compuestos bioactivos en el desarrollo de nuevos productos alimentarios, farmacéuticos o cosméticos.

Materiales y métodos

Aceites vegetales

El aceite de oliva virgen extra, la soja y los aceites de canola se compraron a minoristas locales. Para verificar la autenticidad y calidad inicial de los aceites vegetales, se sometieron a análisis de cromatografía de gases para determinar la composición en términos de ácidos grasos, siguiendo una metodología y condiciones estandarizadas por el Laboratorio de Alimentos y Nutrición Humana de la Universidad de Antioquia (cromatógrafo Agilent 6890 N con detector FID, columna TR-CN100, relación inyector split/splitless 100:1, volumen de inyección 1,0 μ L, temperatura del inyector 260 °C, programa de temperatura: 90 °C \times 7 min, aumento de 5 °C a 240 °C y mantenimiento durante 15 min, temperatura del detector 300 °C, gas portador: helio, caudal 1,1 mL/min) (26).

Aceites esenciales

El aceite esencial de menta (*Mentha piperita*) fue proporcionado por Health & Beauty Natural Oils Company (HBNO, EE. UU.) y tiene un certificado de análisis físico (índice de refracción (RI), gravedad específica (SG), rotación óptica (OR), (RI: 1.4592, SG: 0.902, OR: -26.68 °), que garantiza la autenticidad botánica y la no adulteración. Para determinar la composición se utilizó el siguiente protocolo de análisis cromatográfico de gases (GC-FID): cromatógrafo Agilent Technologies 7890, detector FID: 250 °C, inyección: 250 °C, split 1:30, volumen 1 μ L, inyector automático Agilent 7683B, columna capilar: DB-5MS, 60 m \times 0,25 mm \times 0,25 μ m, fase estacionaria: 5% difenil-95% dimetilpolisiloxano, gas portador: helio 1 mL/min. Las temperaturas del horno fueron de 45 °C a 150 °C (3 °C/min), 220 °C (4 °C/min) y 275 °C (10 °C/min). Muestras: 3 μ L de aceite esencial disuelto en éter dietílico (1000 ppm). La composición porcentual de cada componente en el aceite esencial se determinó mediante la integración automática del área de cada pico generado por la señal GC-FID, que se comparó con las curvas de calibración (Chem-Station, Agilent Technologies, EE. UU.).

Gelificante

Cera de girasol (*Helianthus annuus*) con punto de fusión: 70 °C, acidez: \leq 8 mg KOH/g, valor de saponificación: 75 - 95 mg KOH/g y valor de yodo \leq 12 g 100/g (Praan Naturals, EE. UU.).

Diseño experimental

Se estableció un plan experimental de tipo de mezcla óptimo a través del software Design Expert 10® (Stat-Ease, EE. UU.). Este diseño se creó con el criterio de D-optimalidad (varianza integrada), con el que se pretendía tener la varianza predicha más baja en toda la región experimental. Dentro

del diseño experimental, el criterio de D-optimalidad tiene como objetivo minimizar la varianza generalizada de las estimaciones de los parámetros. Esto equivale a minimizar el volumen del elipsoide de confianza y se logra maximizando el determinante de la matriz de información de Fisher. El estudio examinó los efectos de cinco ingredientes de la formulación: aceite de oliva (0-90%), aceite de soja (0-90%), aceite de canola (0-90%), aceite esencial (0-3%) y gelificante (2-7%). A partir de estos parámetros, se generaron 25 mezclas, incluidos 15 puntos del modelo base, 5 réplicas, 4 puntos de verificación y 1 mezcla para el análisis de falta de ajuste. Se utilizó el algoritmo de intercambio de puntos para ajustar un modelo de Scheffe. Todos los porcentajes (%) se refieren al porcentaje peso/peso (% p/p) y se midieron en gramos (g). La unidad experimental fue de 10 g por mezcla, y las variables de respuesta Firmeza (Fr) y Consistencia (Cn) se determinaron mediante análisis textural instrumental.

Fabricación de oleogeles

Todos los ingredientes se midieron en términos de peso para evitar errores debidos al volumen y la variación de densidad. Se utilizaron viales de vidrio (15 ml) con tapones de rosca, en los que se dosificó cada uno de los componentes de la formulación dados por el diseño experimental. A continuación, las mezclas se sometieron a calentamiento hidrotermal a 70 ± 1 °C y agitación ultrasónica continua (Precision GP02, Thermo Scientific, EE. UU.) para evitar la formación de zonas de temperaturas no uniformes que producen una solubilización incompleta de la cera de girasol. Los viales permanecieron siempre con la tapa cerrada para evitar pérdidas por evaporación. El tiempo de calentamiento fue de 15 minutos, después de lo cual cada mezcla se dejó reposar durante un período de 24 horas a temperatura ambiente (24 ± 2 °C) antes de realizar el análisis de textura. La temperatura y el tiempo utilizados garantizaban la disolución completa del agente gelificante. Estos parámetros se seleccionaron en función de las características fisicoquímicas del gelificador y de un diseño experimental previo realizado para estandarizar el procedimiento (datos no mostrados).

Análisis de texturas

Para cada vial, se aplicó una fuerza descendente en el centro de oleogel con un analizador de textura (TA-XTplus, Stable Micro Systems, EE. UU.) equipado con una celda de carga de 5 kg y un accesorio de medición terminado en una punta esférica con un diámetro de 5 mm (P / 5S). En el método se utilizó la siguiente configuración: medición de la fuerza de compresión; opción: volver al inicio; Velocidad de prueba previa: 2,0 mm/s; Velocidad de prueba: 1,0 mm/s; Velocidad posttest: 1,0 mm/s; distancia de penetración: 20 mm; tipo de gatillo: Automático-5 g; modo de prueba: Automático; Velocidad de adquisición de datos: 200 pps. Los datos se capturaron con el software Exponent® Version. 6.1.15 (Stable Micro Systems, EE. UU.), donde se programó una macro para calcular la firmeza (mN, fuerza positiva máxima) y la consistencia (mN*s, área bajo la curva de fuerza positiva).

Análisis estadístico

Los resultados se estudiaron mediante análisis de varianza (ANOVA) aplicando un nivel de significancia ($p \leq 0,05$) para estimar los efectos significativos de los factores (ingredientes) sobre las variables de respuesta Firmeza y Consistencia (Design Expert 10®, Stat-Ease, EE. UU.). Los términos no significativos se eliminaron de los modelos matemáticos predictivos finales para simplificar las ecuaciones en términos de valores reales.

Resultados y discusión

Composición de los aceites vegetales

El aceite de soja (*Glicina máx.*) exhibió las siguientes proporciones de ácidos grasos 1:1.51:3.82 (saturado : monoinsaturado : poliinsaturado), normalizado a grasas saturadas. La fracción saturada (15,5%) estuvo compuesta principalmente por ácido palmítico (10,4%) y esteárico (4,13%). Los ácidos grasos monoinsaturados constituyeron el 23,5% del total, siendo el ácido oleico (23,4%) el componente predominante dentro de esta porción. Por el contrario, los ácidos grasos poliinsaturados representaron el 59,4% del total, siendo el ácido linoleico (51,6%) el más abundante (Figura 1 – Pico 20). Cabe destacar que el aceite de soja contiene la mayor proporción de este tipo de ácido graso en comparación con los aceites de oliva y canola. La composición encontrada es consistente con la reportada en estudios previos de aceite de soya, que han identificado componentes mayores y menores (27), en comparación, el aceite de soja con alto contenido de ácido oleico (H-OSBO) contiene más del 70% de ácido oleico, lo que mejora la estabilidad y la vida útil, esta composición reduce el requerimiento de hidrogenación y la producción de ácidos grasos trans (28).

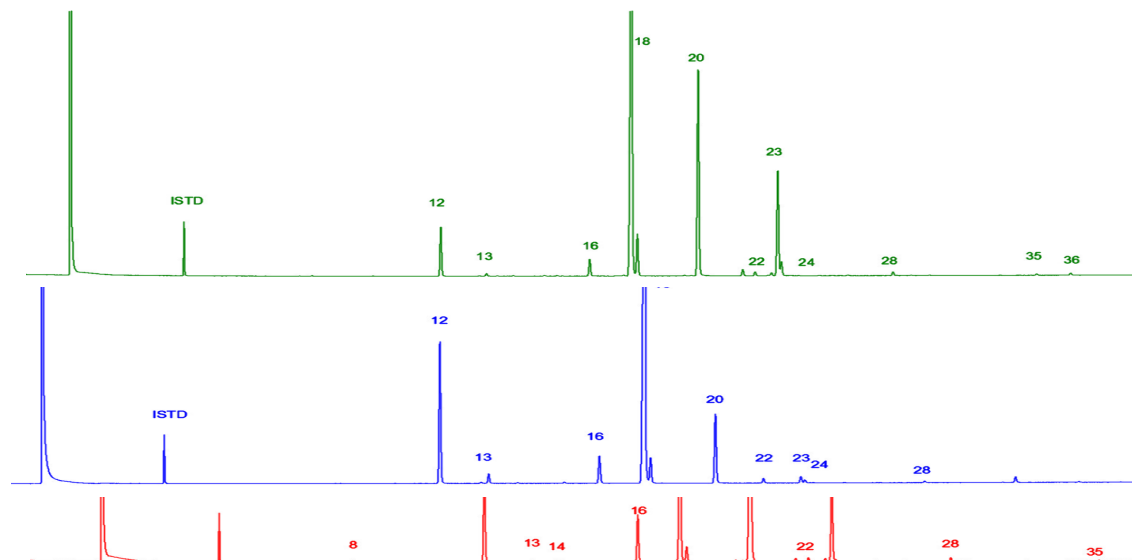


Figura 1. Perfiles cromatográficos de ácidos grasos presentes en los aceites vegetales de soja (rojo), oliva (azul) y canola (verde) utilizados en la fabricación de oleogel. ISTD: Estándar interno. Consulte la Tabla 1 para la asignación de picos de ácidos grasos.

Los análisis indican que para el aceite de oliva (*Olea europaea*), la proporción de grasa fue de 1 : 4,64 : 0,48 y los ácidos grasos saturados representaron el 16,1%, siendo el ácido palmítico (12,8%) y el ácido esteárico (2,6%) los más representativos. El contenido de ácido palmítico es un factor importante en la cinética de oxidación, los niveles elevados de ácido palmítico confieren una mayor resistencia a la oxidación en comparación con los ácidos grasos insaturados, lo que lleva a una tasa de oxidación disminuida y más consistente, los aceites que contienen menos del 10% de ácido palmítico demuestran una mayor susceptibilidad a la oxidación (29). El componente de ácidos grasos monoinsaturados constituyó el 74,7% del aceite, mientras que el ácido oleico representó el componente predominante con un 73,4%. La fracción de ácidos grasos poliinsaturados comprendió el 9%, con ácido linoleico representando aproximadamente el 7,1% y el aceite de oliva exhibió la concentración más baja de ácidos grasos poliinsaturados en relación con los aceites de soja y canola. Los datos de la literatura sobre la composición de ácidos grasos del aceite de oliva revelaron niveles de ácido oleico que oscilan entre el 70,3% y el 87,4% y niveles de ácido linoleico que oscilan entre el 4,4% y el 12,6%, los resultados de nuestro trabajo están en línea con estos informes (30, 31). El perfil nutricional favorable y los beneficios para la salud establecidos del aceite de oliva lo convierten en un candidato principal para el reemplazo de grasas saturadas. Sin embargo, el aumento del precio de esta materia prima impide su aplicación a escala industrial en formulaciones de oleogel (32).

Aceite de canola (*Brassica napus*) presenta una proporción de ácidos grasos saturados : monoinsaturados y poliinsaturados de 1:8,78:4,57. Los ácidos grasos saturados constituyen el 6,5%, con los ácidos palmítico (4,0%) y esteárico (1,5%) como componentes principales; el aceite de canola exhibe el contenido más bajo de grasas saturadas. Los ácidos grasos monoinsaturados representan el 57,4%, predominantemente el ácido oleico y los ácidos grasos poliinsaturados comprenden el 29,9%, que consisten en ácidos linolénico (10,2%) y linoleico (19,7%). El aceite de canola demuestra un perfil intermedio de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en relación con los aceites de soja y oliva, al tiempo que mantiene el contenido más bajo de grasas saturadas, de acuerdo con la literatura establecida (33). La disponibilidad constante, el costo moderado y las propiedades nutricionales favorables del aceite de canola contribuyen a su aplicación generalizada en la industria alimentaria para producir margarina, pastas para untar, mayonesa, aderezos para ensaladas y diversos alimentos procesados. Los aceites vegetales examinados se adherieron a los estándares de calidad y composición establecidos, confirmando la ausencia de adulteración o alteración química que pudiera comprometer la formación de oleogel (34, 35).

Tabla 1. Perfiles de ácidos grasos (g/100 g) presentes en los aceites de soja, oliva y canola utilizados en la fabricación de oleogels.

Pico	Ácido graso	Soja		Aceituna		Canola	
		(g/100 g)	±	(g/100 g)	±	(g/100 g)	±
8	C14:0 (ácido mirístico)	0.07	0.005	-	-	-	-
12	C16:0 (Palmítico ácido)	10.48	0.004	12.82	0.028	4.02	0.016
14	C17:0 (ácido heptadecanoico)	0.11	0.006	-	-	-	-
16	C18:0 (Ácido esteárico)	4.13	0.001	2.69	0.009	1.52	0.008
22	C20:0 (ácido araquídico)	0.33	0.004	0.45	0.007	0.55	0.001
28	C22:0 (ácido behénico)	0.33	0.006	0.14	0.005	0.31	0.001
35	C24:0 (Ácido lignocérico)	0.12	0.008	-	-	0.1372	0.14
	Grasa Saturada Total	15.56	0.005	16.10	0.048	6.54	0.020
13	C16:1 (Ácido palmitoleico)	0.13	0.001	0.94	0.002	0.23	0.001
18	C18:1n9c (Ácido oleico)	23.42	0.005	73.48	0.136	55.66	0.169
24	C20:1n9 (ácido cis-11-eicosenoico)	-	-	0.29	0.29	1.3189	1.32
36	C24:1n9 (Ácido nervioso)	-	-	-	-	0.1963	0.002
	Grasa Monoinsaturada Total	23.55	0.004	74.71	0.143	57.40	0.176
20	C18:2n6c (ácido linoleico)	51.65	0.040	7.13	0.006	19.73	0.052
23	C18:3n3 (ácido a-linolénico)	7.75	0.220	0.68	0.000	10.20	0.042
	Grasas Poliinsaturadas Totales	59.40	0.261	7.81	0.209	29.93	0.302
	Grasa Total	98.51	0.259	98.62	0.196	93.87	0.289

Composición del aceite esencial

El análisis químico del aceite de menta reveló que los 10 componentes principales representaban el 94,50% del total, que eran *Mentol*, *Mentona*, *1,8-Cineol*, *Acetato de Mentilo*, *Mentofurano + Isomentona*, *Neo-Mentol*, *Limoneno*, *Sabineno + B-Pineno B-Cariofileno*, y *Un-Pineno*, identificando un total de 54 moléculas en el aceite utilizado (Tabla 2). El aceite esencial se caracterizó por el mentol (45,98%, C10H20O, 156,3 g/mol) y la mentona (21,96%, C10H18O, 154,25 g/mol) como los dos componentes principales, con sus respectivas proporciones dentro de los rangos estándar de calidad establecidos para este aceite esencial. Se calculó que la relación entre 1,8-cineol y limoneno era de 2,74, satisfaciendo el umbral mínimo de 2. De acuerdo con las directrices de la Farmacopea de los Estados Unidos (USP), los estándares de calidad del aceite de *Mentha Piperita* exigen una presencia mínima de 5% de ésteres totales, expresados en acetato de metilo, y el aceite utilizado en este estudio exhibió un contenido de 5,36%, cumpliendo así con las especificaciones requeridas (36).

El mentol, el principal componente identificado en el aceite, se clasifica como un monoterpeno cíclico, una clase de compuestos naturales con amplias aplicaciones industriales y actividad biológica documentada tanto en estudios in vitro como in vivo (37). El mentol ejerce una influencia significativa en la integridad estructural de las membranas celulares fúngicas, induciendo la despolarización y las posteriores alteraciones químicas o físicas que interrumpen las actividades metabólicas. Además, los componentes menores, como el limoneno, B-pineno B-cariofileno, y Un-pineno, contribuyen a las propiedades antimicrobianas del aceite esencial de *Mentha*, potencialmente a través de interacciones sinérgicas que amplifican sus efectos individuales (38).

Tabla 2. Composición química del aceite esencial de *Mentha piperita* incorporado a Oleogels

Pico	Compuesto	RT (min)	(%)	Pico	Compuesto	RT (min)	(%)
1	cis-2-hexenol	7.60	0.04	29	Neo-Mentol	25.64	3.78
2	α -Thujene	8.97	0.03	30	Mentol	26.86	45.98
3	α -Pineno	9.23	0.91	31	Isomentol	27.17	0.28
4	Metilciclohexanol	9.76	0.07	32	Neoisomentol	27.70	0.05
5	Análogo de canfeno	9.96	0.02	33	α -terpineol	27.79	0.24
6	Metilciclohexanona	10.09	0.13	34	Pulegone	31.60	0.68
7	Sabineno + β -pineno	11.54	1.73	35	Carvona	32.04	0.08
8	1-Octen-3-ol	12.10	0.05	36	Piperitenona	32.80	0.25
9	1-Octen-3-ol	12.53	0.03	37	acetato de neo-mentilo	34.92	0.10
10	β -Mirceno	12.74	0.30	38	Dihidroedulan I	35.48	0.06
11	3-octanol	13.10	0.29	39	Dihidroedulan II	35.90	0.02
12	α -Felandreno	0.01	0.04	40	Acetato de mentilo	36.61	5.36
13	α -Terpineno	14.19	0.20	41	Acetato de isomentilo	37.48	0.06
14	p-Cimeno	14.75	0.12	42	Bicicloelemeneno	39.62	0.04
15	Limoneno	15.04	2.13	43	α -Copaene	42.57	0.06
16	1,8-cineol	15.16	5.84	44	β -Bourbonene	43.19	0.09
17	(Z)- β -Ocimeno	15.98	0.10	45	β -Elementos	44.07	0.05
18	(E)- β -Ocimeno	16.69	0.03	46	β -cariofileno	45.85	1.63
19	γ -Terpineno	17.24	0.35	47	β -Copaene	46.68	0.06
20	Hidrato de sabineno	0.02	0.23	48	α -Humuleno	48.48	0.07
21	Octanol	18.63	0.03	49	(E)- β -Faseno	49.72	0.11
22	α -terpinoleno	0.02	0.06	50	Germacreno D	50.70	0.54
23	Hidrato de sabineno	20.21	0.03	51	Biciclogermacreno	51.91	0.08
24	Linalool	20.66	0.10	52	δ -Cadineno	54.25	0.04
25	Isovalerato de amilo	21.07	0.03	53	Óxido de cariofileno	58.14	0.02
26	Isopulegol	23.90	0.14	54	Viridiflorol	58.82	0.06
27	Mentón	24.82	21.96				
28	Menthofurano + Isomentona	25.46	5.18		Total		99.96

La pulegona es un compuesto clave para evaluar la calidad del aceite de menta, que se encuentra en concentraciones más altas en las hojas jóvenes, se convierte metabólicamente en mentol durante la maduración de las hojas, una presencia significativa de pulegona significa aceites derivados de plantas en etapas tempranas de desarrollo, correlacionándose con una menor calidad, por el contrario, los aceites de alta calidad exhiben concentraciones de pulegona por debajo del 1% (39). En este estudio, la pulegona fue de 0,68% y la concentración de mentofurano de 5,18%, valores ambos conformes a la norma ISO 856, que delinea los parámetros de calidad para los aceites de menta de Estados Unidos (mentofurano: 1,5 - 6,0%; pulegona: 0,5 - 2,5%) y de otros orígenes (mentofurano: 1,0 - 8,0%; pulegona: 0,5 - 3,0%). Además, el Panel de Expertos en Revisión de Ingredientes Cosméticos (CIR) ha concluido que el aceite de menta es seguro para su uso en formulaciones cosméticas cuando el contenido de pulegona se mantiene por debajo del 1,0%, estableciendo una ingesta diaria total (IDT) = 0,1 mg / kg de peso corporal, para la ingesta combinada de mentofurano + pulegona (40).

Análisis de texturas

La tabla 3 proporciona los datos derivados del análisis de textura realizado en las formulaciones de oleogel. Los resultados indican que todas las mezclas formaron oleogeles con éxito, estableciendo así una concentración crítica de cera de girasol del 2% (p/p) para el sistema estudiado. Se ha demostrado que las ceras son agentes gelificantes altamente eficientes, capaces de formar redes bien definidas y estructuradas (fibras largas) que inmovilizan el aceite vegetal a través de la tensión superficial, logrando este efecto incluso a concentraciones muy bajas de 0,5% (p / p) (41).

Tabla 3. Diseño experimental de la mezcla aplicado para analizar los oleogeles incorporados con aceite esencial de menta (todos los ingredientes: % p/p).

Mezcla	Aceite vegetal			x4	x5	Firmeza (mN)	Consistencia (mN*s)
	x1	x2	x3	Esencial aceite	Girasol cera		
	Aceituna	Soja	Canola				
1	32	32	32	0	4	624.63	7792.3
2	48	47	0	3	2	84.63	1751.0
3	0	47	47	1	5	986.69	17934.6
4	4	4	90	0	2	77.89	1082.6
5	32	32	31	1	4	607.40	8424.8
6	0	3	90	0	7	1507.37	19580.8
7	0	90	3	0	7	1585.23	19681.1
8	61	18	16	2	3	199.97	7549.1
9	32	32	32	0	4	625.36	7636.3
10	45	0	45	3	7	1355.31	19870.2
11	0	2	90	3	5	567.71	14702.2
12	47	0	47	1	5	808.87	13628.4
13	47	47	0	1	5	989.76	14674.3
14	90	6	0	0	4	781.91	10948.0
15	47	0	47	1	5	1017.08	15285.0
16	47	47	0	1	5	919.66	16233.4
17	0	47	47	1	5	967.65	17227.9
18	90	0	2	1	7	1754.05	18017.7
19	47	47	0	1	5	981.88	16473.1
20	90	0	2	3	5	1021.57	15000.4
21	0	45	45	3	7	1348.87	19058.0
22	0	90	8	0	2	75.64	1023.5
23	90	0	7	1	2	77.14	1284.7
24	0	48	47	3	2	84.67	1770.6
25	2	90	0	3	5	561.72	15681.7

La firmeza se refiere a la resistencia estructural del producto e indica cuánto puede soportar una fuerza externa, exceder la fuerza máxima da como resultado la ruptura de la estructura interna del oleogel. Es una prueba imitativa que simula la facilidad con la que un dedo humano deformaría el oleogel durante la aplicación, por ejemplo, en la piel, a medida que aumenta la fuerza de rotura, el gel se vuelve más resistente y más frágil a medida que disminuye la firmeza. Las mezclas con las que se prepararon los oleogeles presentaron valores que oscilaron entre 75.64-1754.05 (mN) y se pueden agrupar en tres categorías de firmeza: blanda (menos de 495 mN - azul), intermedia (495-1150 mN - verde) y dura (> 1150 mN - Rojo), estas tres categorías empíricas propuestas se basaron en el análisis de datos y diagramas de contorno en la Figura 2 (diagrama ternario), lo que también muestra que la cantidad de gelator fue el factor más influyente (traza). Estas categorías de firmeza corresponden a niveles de cera de girasol de 2, 3-5 y 7% (p/p), respectivamente, el análisis de varianza no reveló interacción significativa entre los ingredientes (tabla 4).

El principal efecto del gelificante sobre la firmeza se puede observar en el gráfico de trazas (Figura 2); Así, se puede evaluar la importancia de los diferentes componentes presentes en el oleogel. Este gráfico comienza con una mezcla de referencia o centroide de la región experimental (0.0), observando la forma en que cambia la respuesta (Firmeza) a medida que aumenta o disminuye la cera de girasol, cuando cambia uno de los ingredientes, los componentes restantes se ajustan proporcionalmente. Los oleogeles a base de cera, como en esta investigación, pueden considerarse geles supramoleculares que contienen una mezcla de diferentes moléculas gelificantes, que producen diferentes tipos de enlaces autoorganizados, lo que da como resultado diversas morfologías dentro del oleogel. Estos sistemas coensamblados ofrecen una alta capacidad de adaptación en la red cristalina (32). Por lo tanto, las propiedades macroscópicas de los oleogeles resultantes se pueden manipular ampliamente cambiando el tipo y la concentración de cera, la polaridad del solvente y las condiciones de trabajo, incluida la velocidad de enfriamiento, la velocidad de mezcla o la temperatura de gelificación.

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) que examina la influencia de los ingredientes en la firmeza de los oleogeles con aceite esencial de menta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Df	Significar Cuadrado	Valor F	Valor p
Modelo	6.01E+06	14	4.29E+05	40.2	< 0,0001
Mezcla lineal	5.82E+06	4	1.45E+06	136.13	< 0,0001
x1*x2	295.05	1	295.05	0.0276	0.8713
x1*x3	17755.85	1	17755.85	1.66	0.2263
x1*x4	6906.33	1	6906.33	0.6467	0.4412
x1*x5	23237.75	1	23237.75	2.18	0.1709
x2*x3	35250.58	1	35250.58	3.3	0.0993
x2*x4	6418.55	1	6418.55	0.6011	0.4561
x2*x5	25496.22	1	25496.22	2.39	0.1533
x3*x4	6438.06	1	6438.06	0.6029	0.4554
x3*x5	25837.75	1	25837.75	2.42	0.1509
x4*x5	920.24	1	920.24	0.0862	0.7751
Falta de ajuste	67653.49	5	13530.7	1.73	0.2813
Total	6.12E+06	24			

La firmeza analizada está directamente relacionada con el fenómeno de gelificación de las partículas monocristalinas presentes en la cera de girasol, como los n-alcanos, los ácidos y los alcoholes grasos. Cuando se calientan, estas partículas se disuelven y, a medida que disminuye la temperatura, forman núcleos sólidos. Este proceso de crecimiento da como resultado fuertes interacciones intercristalinas, que conducen a la formación de estructuras supramoleculares. Estas estructuras actúan como un marco, capturando efectivamente el aceite vegetal líquido y creando una red tridimensional. Las conexiones primarias sinterizadas se caracterizan por su fuerza, que, junto con las interacciones secundarias (más débiles) de Van der Waals, actúan como las principales fuerzas impulsoras responsables de la formación de esta estructura de red en los oleogels.

La cera de girasol y el gelificador utilizado en este trabajo, tiene baja polaridad, cadenas largas y un alto punto de fusión, lo que contribuye a las excelentes propiedades de cristalización de los aceites vegetales. Los componentes predominantes de las ceras también influyen en su morfología y estructura cristalina. Generalmente, las ceras presentan tres morfologías en su estado natural: una estructura ortorrómbica, común en compuestos alifáticos; otra fase tricíclica, presente en alcoholes secundarios; y una estructura hexagonal, que existe en beta-dicetonas. La proporción de estas diferentes estructuras es lo que más contribuye a la consistencia del oleogel formado (42).

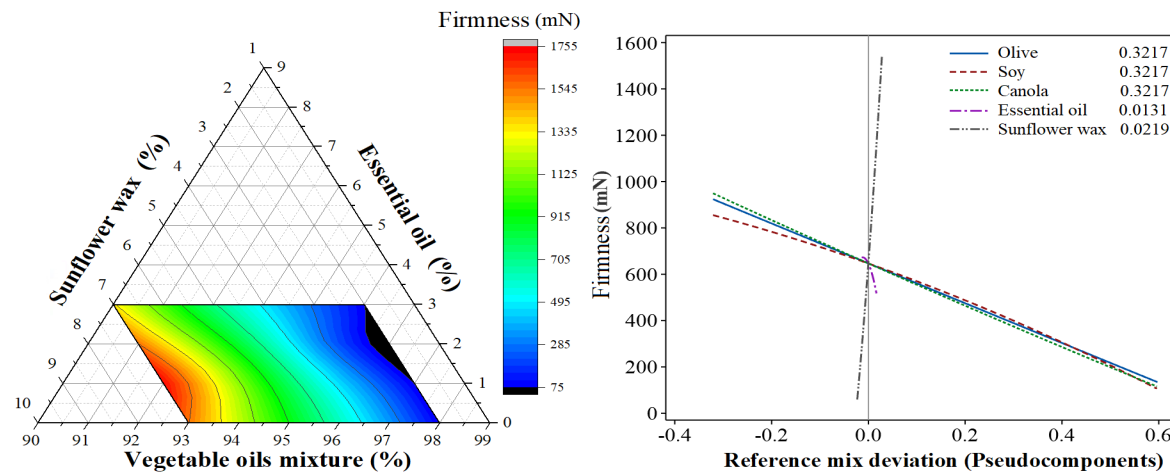


Figura 2. Diagrama ternario (izquierda) y gráfico de trazas (derecha) de firmeza de oleogeles (mN) como función de composición.

La consistencia de Oleogel es fundamental para la funcionalidad y la aceptabilidad en aplicaciones prácticas. En los productos alimenticios, influye en la sensación en boca y la percepción de la calidad. En cosméticos, la consistencia adecuada mejora la aplicación y la experiencia del usuario, para los productos farmacéuticos, afecta la estabilidad del ingrediente activo y la liberación controlada. Los oleogeles formulados muestran valores de consistencia que van desde 1023-19870 (mN*s) y se pueden clasificar en cuatro rangos cuantitativos: menos de 1770 (mN*s), 7549-10948 (mN*s), 13628-15681 (mN*s) y mayores de 16233 (mN*s), estas cuatro categorías de consistencia empírica se establecieron con base en el análisis de datos y los diagramas de contorno presentados en la Figura 3. El agente gelificante se identificó como el factor principal que influye en la consistencia del oleogel. Las concentraciones de cera de girasol de 2, 3-4, 5 y 7% (p/p) se correlacionaron con cada categoría de consistencia.

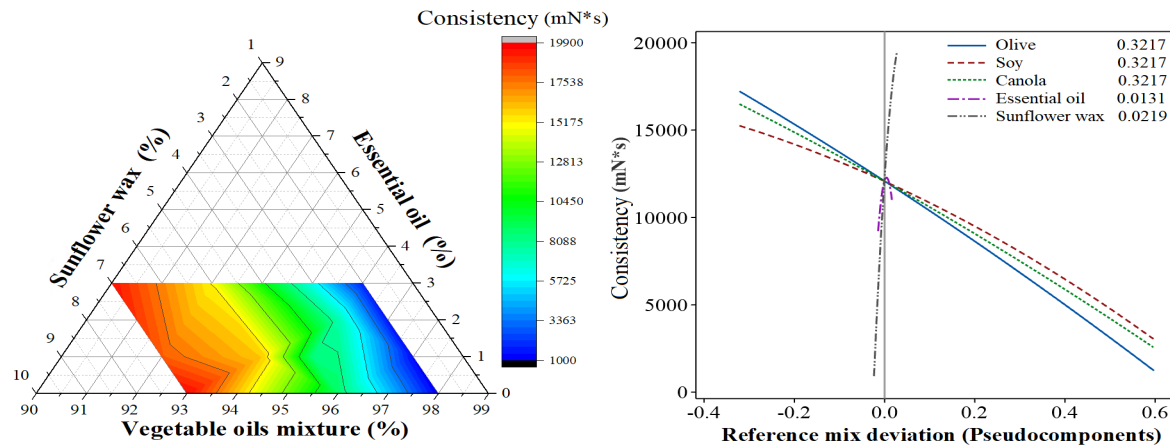


Figura 3. Diagrama ternario (izquierda) y gráfico de trazas (derecha) de consistencia de oleogel (mN*s) como función de composición.

Un análisis más detallado de los datos generados reveló que se produjo un gran cambio en la consistencia a bajas concentraciones del agente gelificante, especialmente cuando la concentración aumentó del 2 al 3%, donde la consistencia aumentó en más de 5000 mN*s (mezclas 24 y 8); cuando la concentración cambió de 4 a 5%, este efecto se redujo casi a la mitad, 2600 mN*s (mezclas 12 y 14). Finalmente, cuando la concentración del agente gelificante aumentó del 5 al 7%, se produjo un aumento promedio de 1000 mN*s. Finalmente, el análisis de varianza (tabla 5) reveló que la mezcla lineal de los ingredientes fue significativa, con interacciones entre algunos de los ingredientes (aceites de soja, oliva y canola: gelificante). Si se maximiza la firmeza y la consistencia, los tres aceites vegetales (oliva, soja y canola) deben estar presentes en proporciones similares (~32% cada uno), el agente gelificante debe estar presente en un nivel medio-alto (4-5%) y el aceite esencial de menta debe estar presente en niveles bajos (0-1%).

No se detectó ningún efecto significativo ($p \geq 0,05$) del aceite esencial de menta sobre la consistencia del oleogel, lo que puede explicarse por la baja concentración utilizada (0-3% p/p) para cumplir con las regulaciones internacionales. Es importante mencionar que el aceite esencial de menta no se considera un nuevo alimento o ingrediente novedoso, es decir, "cualquier alimento que no se haya utilizado en una medida significativa para el consumo humano en la Unión Europea"; por lo tanto, queda fuera del ámbito de aplicación del Reglamento (UE) 2015/2283 sobre nuevos alimentos que entró en vigor en 2018, y la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) asigna el estatus GRAS (Generally Recognized as Safe).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) de los efectos de los ingredientes sobre la consistencia de los oleogels incorporados con aceite esencial de menta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Df	Significar Cuadrado	Valor F	Valor p
Modelo	1.02E+09	14	7.29E+07	25.3	< 0,0001
Mezcla lineal	9.58E+08	4	2.39E+08	83.03	< 0,0001
x1*x2	2.25E+06	1	2.25E+06	0.7787	0.3982
x1*x3	8.52E+06	1	8.52E+06	2.96	0.1163
x1*x4	1.38E+07	1	1.38E+07	4.8	0.0532
x1*x5	3.14E+07	1	3.14E+07	10.91	0.0084
x2*x3	1.29E+06	1	1.29E+06	0.4482	0.5184
x2*x4	1.36E+07	1	1.36E+07	4.73	0.0547
x2*x5	3.20E+07	1	3.20E+07	11.11	0.0076
x3*x4	1.36E+07	1	1.36E+07	4.72	0.0549
x3*x5	3.18E+07	1	3.18E+07	11.03	0.0077
x4*x5	2.50E+07	1	2.50E+07	8.67	0.0547
Falta de ajuste	2.53E+07	5	5.06E+06	7.14	0.2251
Total	1.05E+09	24			

Dado su estatus como el principal componente del aceite de soja, el ácido linoleico (C18: 2n6c) justifica un análisis detallado, particularmente en lo que respecta a sus implicaciones tecnológicas en los oleogeles del aceite de soja. La naturaleza poliinsaturada de este ácido graso omega-6 conduce a un nivel intermedio de estabilidad oxidativa, los dobles enlaces inherentes al ácido linoleico afectan negativamente la calidad del oleogel y reducen la vida útil bajo exposición continua al oxígeno, la luz y el calor. El ácido linoleico contribuye a alterar la textura y consistencia de los productos alimenticios. Específicamente, en productos horneados, afecta la suavidad y la integridad estructural de la masa, lo que lleva a un aumento en el volumen y, al mismo tiempo, disminuye su estabilidad general (43). Los ácidos grasos poliinsaturados, incluido el ácido linoleico, son reconocidos por su capacidad para formar emulsiones estables, lo que es ventajoso en la producción de salsas y aderezos. También contribuyen al sabor y la palatabilidad de los alimentos, aunque la percepción sensorial específica depende de la concentración y otros compuestos de formulación (44).

El impacto del ácido oleico (C18:1n9c) en los oleogeles del aceite de oliva ha sido ampliamente estudiado, especialmente en lo que respecta a las propiedades tecnológicas en aplicaciones alimentarias. La investigación sobre la sustitución de la grasa tradicional por oleogeles ricos en ácido oleico en salchichas de Bolonia demostró que el aumento del contenido de ácido oleico al 20% preserva la estabilidad oxidativa y mejora el perfil nutricional sin diferencias sensoriales significativas (45). El ácido oleico es más estable que los ácidos grasos poliinsaturados, y los oleogeles ricos en ácido oleico son menos propensos a la oxidación (es más lento y más constante) cuando se exponen al calor. Además, aumentar su proporción ayuda a estabilizar las propiedades reológicas de productos semisólidos como la mantequilla y mejora la textura de productos horneados como pasteles al tiempo que reduce el uso de grasas saturadas (46).

También se encontró que los oleogel con alto contenido de canola (90%) tienden a tener valores más bajos de firmeza y consistencia. Específicamente, para el aceite de canola en la industria alimentaria, se han desarrollado aplicaciones industriales para untar y gomitas (47) Panes (41), y quesos bajos en grasa (48). Estos estudios han establecido que la textura final de los oleogel depende en gran medida de la proporción de ácidos grasos oleico a linoleico y de la selección del agente gelificante, que a su vez gobierna el tipo de fibra formada durante el proceso de cristalización. Estas investigaciones también verificaron que los oleogel formulados con aceite de canola exhiben una estabilidad oxidativa intermedia y pueden diseñarse con precisión para cumplir con los requisitos de textura específicos del producto alimenticio en el que se incorporan. Tras el análisis de varianza y regresión múltiple, se observaron efectos no significativos ($p \geq 0,05$). Se generaron ecuaciones que predecían la firmeza y la consistencia, basadas en las cantidades reales de ingredientes (Figura 4). Estas ecuaciones exhibieron coeficientes de correlación (R^2) de 95,94% y 95,36%, respectivamente, los criterios de significancia y falta de ajuste para los modelos se presentaron en las Tablas 4 y 5.

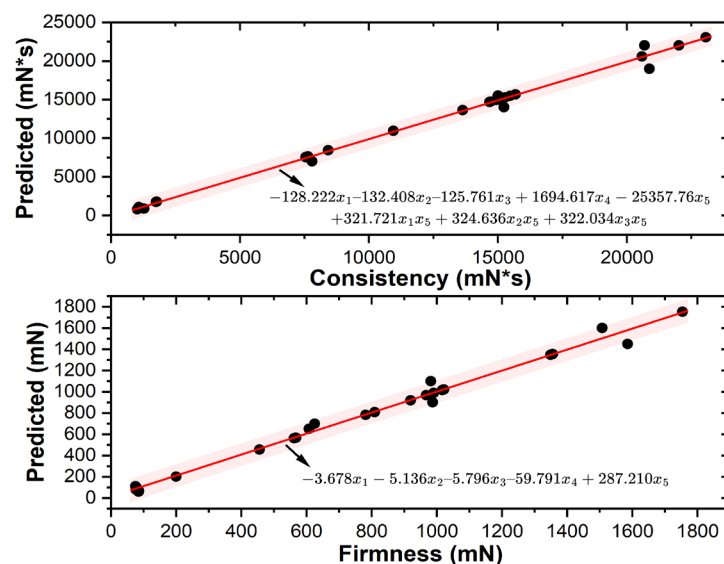


Figura 4. Diagrama de dispersión de firmeza (mN) y consistencia (mN*s) frente a los valores predichos de la oleogel en función de la composición (área sombreada = intervalo de confianza del 95%).

El modelo predictivo demuestra que los tres aceites (x_1 , x_2 , x_3) ejercen una influencia negativa en la firmeza de los oleogel, siendo el aceite de canola el que exhibe el efecto negativo más pronunciado, esta observación probablemente se correlaciona con las concentraciones relativamente altas de ácidos grasos insaturados presentes en el aceite de canola, que tienden a formar redes estructurales menos rígidas en comparación con los ácidos grasos saturados. Por el contrario, el aceite de oliva, caracterizado por el mayor contenido de grasas saturadas entre los tres aceites, mostró el menor impacto negativo en la firmeza, un resultado consistente con esta expectativa. El aceite de soja, con un nivel intermedio de ácidos grasos poliinsaturados, exhibió una reducción moderada de la firmeza. El modelo también indica que los tres aceites reducen la consistencia del oleogel, con magnitudes similares de valores de coeficiente. Esto sugiere que

otros factores además del tipo de insaturación, o las posibles interacciones entre los aceites y otros componentes del oleogel, pueden oscurecer los efectos individuales de sus respectivos perfiles de ácidos grasos sobre la consistencia.

Los términos de interacción positiva observados entre cada aceite y la cera de girasol con respecto a la consistencia sugieren que la presencia de ácidos grasos insaturados de los aceites puede modular el efecto estructurante de la cera de girasol, lo que puede resultar en una mayor consistencia a concentraciones de cera más altas. Si bien los perfiles específicos de ácidos grasos probablemente contribuyen a la naturaleza y magnitud de estas interacciones, el modelo lineal actual, incluso con términos de interacción, puede no capturar de manera integral los matices sutiles de estas relaciones. Además, la disposición y el tipo de ácidos grasos dentro de los triacilglicerol de cada aceite pueden influir en su interacción con la cera y la estructura de oleogel resultante. Por ejemplo, la distribución de ácidos grasos saturados e insaturados dentro de moléculas individuales puede alterar la polaridad del aceite y su compatibilidad con la cera. Además, la presencia de componentes menores dentro de los aceites, que no se reflejan en el perfil de ácidos grasos, también podría contribuir a las propiedades de textura observadas.

Dada la alta correlación observada entre los modelos predictivos presentados, es razonable inferir que estos modelos permitirán predecir cómo las cantidades variables de ingredientes afectan las propiedades finales de los oleogeles, específicamente en términos de firmeza (Nm) y consistencia (Nm*s). Estas expresiones matemáticas se pueden aplicar para agilizar el proceso de formulación, optimizando los resultados y reduciendo los costos asociados con las pruebas de prueba y error. Las estrategias de oleogelación están diseñadas no solo para alterar la estructura del producto final, sino también para mejorar sus atributos funcionales. Esto es particularmente relevante en los sectores cosmético y farmacéutico, donde los oleogeles se utilizan como "vehículos de liberación" para facilitar la entrega de humectantes y aceites esenciales funcionales a la superficie de la piel. Además, la matriz de aceite estructurada proporcionada por los oleogeles sirve para inhibir la sinéresis en la superficie de los productos cosméticos, un fenómeno causado por la migración del aceite (20).

Conclusión

Todos los aceites vegetales (soja, oliva, canola) y el aceite esencial de menta cumplieron con los estándares de composición establecidos. La firmeza y consistencia del oleogel se correlacionaron directamente con la concentración del agente gelificante, con un 2% (p/p) identificado como la concentración crítica. La firmeza del oleogel se clasificó empíricamente en tres niveles distintos: suave (2%), intermedio (3-5%) y duro (7%), según la cantidad de cera de girasol. Esta clasificación se determinó por la cantidad de cera de girasol utilizada como agente gelificante, facilitando el control de la textura de acuerdo con la aplicación prevista. Además, la consistencia mostró un aumento notable con el aumento de las concentraciones de agentes gelificantes, particularmente entre el 2% y el 5%. Los dos modelos matemáticos desarrollados para predecir la firmeza (mN) y la consistencia (mN*s) de los oleogeles en función de su composición fueron estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$). La incorporación de aceite esencial de menta no resultó en modificaciones estadísticamente significativas en las características de textura de los oleogeles. Este resultado

probablemente se atribuya a la baja concentración de aceite esencial de menta empleada, específicamente hasta un 3% p/p, lo que permite el logro de mejoras funcionales, como se documenta en la literatura científica, sin causar alteraciones sustanciales en la integridad estructural del producto. La capacidad de modular la firmeza y consistencia del oleógeno demuestra su adaptabilidad, proporcionando un potencial de personalización significativo en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica, donde estas propiedades mecánicas son primordiales para la aceptación y eficacia del producto final.

Declaración de contribución de autoría de CRediT

Idea conceptual: Zapata-Betancur, F.; Forero-Longas, F.; Diseño de la metodología: Zapata-Betancur, F.; Forero-Longas, F.; Recolección de datos: Forero-Longas, F Pulido-Díaz A.; Análisis e interpretación de los datos: Zapata-Betancur, F.; Forero-Longas, F.; Pulido-Díaz A.; y Redacción y edición: Zapata-Betancur, F.; Forero-Longas, F.; Pulido-Díaz A.

Conflicto de intereses: no declara

Financing: Universidad de Antioquia.

Referencias

1. Aguilar-Zarate M, Macias-Rodriguez BA, Toro-Vazquez JF, Marangoni AG. Engineering rheological properties of edible oleogels with ethylcellulose and lecithin. Carbohydr Polym. 2019;205:98-105. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.032>
2. Davidovich-Pinhas M, Barbut S, Marangoni AG. Development, Characterization, and Utilization of Food-Grade Polymer Oleogels. Annu Rev Food Sci Technol. 2016;7(1):65-91. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033225>
3. Patel AR, Dewettinck K. Edible oil structuring: an overview and recent updates. Food Funct. 2016;7(1):20-9. <https://doi.org/10.1039/C5FO01006C>
4. Blake A, Toro-Vazquez J, Hwang H-S. Wax Oleogels. Edible Oleogels: Elsevier; 2018. p. 133-71. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814270-7.00006-X>
5. Wright A, Marangoni A. Vegetable oil-based ricinelaidic acid organogels-phase behavior, microstructure, and rheology. Edible Oleogels: Structure and Health Implications. 2 ed2018. p. 81-99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-1-8.50007-3>
6. Malotky D, Appell R, Ergun R. Ethyl cellulose oleogel dispersion. United States2019. <https://patentimages.storage.googleapis.com/06/6a/79/c85c2577bd77eb/US20190075810A1.pdf>
7. Rodriguez Negrette AC, Huck Iriart C, Herrera ML. Physical Chemical Properties of Shea/Cocoa Butter Blends and their Potential for Chocolate Manufacture. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2019;96(3):239-48. <https://doi.org/10.1002/aocs.12189>
8. Alvarez-Ramirez J, Vernon-Carter EJ, Carrera-Tarela Y, Garcia A, Roldan-Cruz C. Effects of candelilla wax/canola oil oleogel on the rheology, texture, thermal properties and in vitro starch digestibility of wheat sponge cake bread. Lwt. 2020;130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109701>

9. Barbut S, Marangoni A. Organogels use in meat processing - Effects of fat/oil type and heating rate. *Meat Sci.* 2019;149:9-13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.003>
10. Barbut S, Wood J, Marangoni A. Potential use of organogels to replace animal fat in comminuted meat products. *Meat Sci.* 2016;122:155-62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.08.003>
11. Gravelle AJ, Barbut S, Marangoni AG. Ethylcellulose oleogels: Manufacturing considerations and effects of oil oxidation. *Food Research International.* 2012;48(2):578-83. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.020>
12. Gravelle A, Barbut S, Quinton M, Marangoni A. Towards the development of a predictive model of the formulation-dependent mechanical behaviour of edible oil-based ethylcellulose oleogels. *Journal of Food Engineering journal.* 2014;143:114-22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.036>
13. Ghodrati M, Farahpour MR, Hamishehkar H. Encapsulation of Peppermint essential oil in nanostructured lipid carriers: In-vitro antibacterial activity and accelerative effect on infected wound healing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2019;564:161-9. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.12.043>
14. Pavithra PS, Mehta A, Verma RS. Essential oils: from prevention to treatment of skin cancer. *Drug Discov Today.* 2019;24(2):644-55. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2018.11.020>
15. de Matos SP, Lucca LG, Koester LS. Essential oils in nanostructured systems: Challenges in preparation and analytical methods. *Talanta.* 2019;195:204-14. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.11.029>
16. Hüsni K, Buchbauer G. Handbook of essential oils science, technology and applications. Taylor & F ed. Boca Raton: CRC press; 2010. 981- p. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20163380803>
17. Stashenko E. Aceites esenciales. 1 ed. Bucaramanga: Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales - CENIVAM; 2009. <https://isbn.cloud/9789584459442/aceites-esenciales/>
18. Bilia AR. Herbal medicinal products versus botanical-food supplements in the European market: state of art and perspectives. *Nat Prod Commun.* 2015;10(1):125-31. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000130>
19. De Araujo Moysés D, Dos Santos Martins HP, Ribeiro MS, Da Rocha Galucio NC, de Souza RR, dos Santos Correa RM, et al. Mentha sp. Essential Oil and Its Applicability in Brazil. *Essential Oils* 2023. p. 125-55. <https://doi.org/10.1002/9781119829614.ch6>
20. Sehgal P, Sripriya R, Senthilkumar M. Drug delivery dressings. In: Rajendran S, editor. *Advanced Textiles for Wound Care.* 2 ed 2019. p. 261-88. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102192-7.00009-6>

21. Silva RV, Costa SCC, Branco CRC, Branco A. In vitro photoprotective activity of the *Spondias purpurea* L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation. *Industrial Crops and Products*. 2016;83:509-14. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.077>
22. Stea S, Beraudi A, De Pasquale D. Essential oils for complementary treatment of surgical patients: state of the art. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2014;2014:726341. <https://doi.org/10.1155/2014/726341>
23. Sugumar S, Ghosh V, Nirmala MJ, Mukherjee A, Chandrasekaran N. Ultrasonic emulsification of eucalyptus oil nanoemulsion: antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* and wound healing activity in Wistar rats. *Ultrason Sonochem*. 2014;21(3):1044-9. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.10.021>
24. Matiz Melo GE, Fuentes López K, León Méndez G. Microencapsulación de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en matrices poliméricas de almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*) modificado. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*. 2015;44(2):189-207. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v44n2.56293>
25. Parra-Huertas R. Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 2010;63:5669-84. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472010000200020&script=sci_arttext
26. Ramírez Botero CM, Gómez Ramírez BD, Martínez Galán JP, Martínez Galán JP, Cardona Zuleta LM. Perfil de ácidos grasos en aceites de cocina de mayor venta en Medellín-Colombia. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 2014;16(2). <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v16n2a05>
27. Ganesan K, Sukalingam K, Xu B. Impact of consumption and cooking manners of vegetable oils on cardiovascular diseases- A critical review. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;71:132-54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.003>
28. Feng W, Qin C, Abdelrazig S, Bai Z, Raji M, Darwish R, et al. Vegetable oils composition affects the intestinal lymphatic transport and systemic bioavailability of co-administered lipophilic drug cannabidiol. *Int J Pharm*. 2022;624:121947. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.121947>
29. Aydıncıktan E, Barutçu Mazi I. Monitoring the physicochemical features of sunflower oil and French fries during repeated microwave frying and deep-fat frying. *Grasas y Aceites*. 2017;68(3):e202. <https://doi.org/10.3989/gya.1162162>
30. Guerrero-Esperanza M, Wrobel K, Wrobel K, Ordaz-Ortiz JJ. Determination of fatty acids in vegetable oils by GC-MS, using multiple-ion quantification (MIQ). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023;115:104963. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104963>
31. Mukhametov A, Mamayeva L, Kazhymurat A, Akhlan T, Yerbulekova M. Study of vegetable oils and their blends using infrared reflectance spectroscopy and refractometry. *Food Chem X*. 2023;17:100386. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100386>
32. Malvano F, Laudisio M, Albanese D, d'Amore M, Marra F. Olive Oil-Based Oleogel as Fat Replacer in a Sponge Cake: A Comparative Study and Optimization. *Foods*. 2022;11(17):2643. <https://doi.org/10.3390/foods11172643>

33. Banaś K, Piwowar A, Harasym J. The potential of rapeseed (canola) oil nutritional benefits wide spreading via oleogelation. *Food Bioscience*. 2023;56:103162. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103162>
34. Tao J, Liu L, Ma Q, Ma KY, Chen Z-Y, Ye F, et al. Effect of oryzanol on oxygen consumption and fatty acids changes of canola oil. *Lwt*. 2022;160:113275. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113275>
35. Eskin MNA, Iassonova DR, Rempel CB. Chapter 4 - High-oleic canola oil. In: Flider FJ, editor. *High Oleic Oils*: AOCS Press; 2022. p. 89-108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822912-5.00001-0>
36. ISO856. ISO 856:2006 Oil of peppermint (*Mentha x piperita* L.). Switzerland: International Organization for Standardization (ISO); 2006. p. 12. <https://www.iso.org/standard/32041.html>
37. Paulino BN, Silva GNS, Araújo FF, Néri-Numa IA, Pastore GM, Bicas JL, et al. Beyond natural aromas: The bioactive and technological potential of monoterpenes. *Trends in Food Science & Technology*. 2022;128:188-201. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.006>
38. Guerra ICD, de Oliveira PDL, de Souza Pontes AL, Lucio A, Tavares JF, Barbosa-Filho JM, et al. Coatings comprising chitosan and *Mentha piperita* L. or *Mentha x villosa* Huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherry tomato fruit. *Int J Food Microbiol*. 2015;214:168-78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.009>
39. Nair B. Final report on the safety assessment of *Mentha Piperita* (Peppermint) Oil, *Mentha Piperita* (Peppermint) Leaf Extract, *Mentha Piperita* (Peppermint) Leaf, and *Mentha Piperita* (Peppermint) Leaf Water. *Int J Toxicol*. 2001;20 Suppl 3:61-73 <https://doi.org/10.1080/10915810152902592>
40. Tisserand R, Young R. 13 - Essential oil profiles. In: Tisserand R, Young R, editors. *Essential Oil Safety* (Second Edition). St. Louis: Churchill Livingstone; 2014. p. 187-482. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-06241-4.00013-8>
41. Alvarez-Ramirez J, Vernon-Carter EJ, Carrera-Tarela Y, Garcia A, Roldan-Cruz C. Effects of candelilla wax/canola oil oleogel on the rheology, texture, thermal properties and in vitro starch digestibility of wheat sponge cake bread. *LWT*. 2020;130:109701. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109701>
42. Alongi M, Lucci P, Clodoveo ML, Schena FP, Calligaris S. Oleogelation of extra virgin olive oil by different oleogelators affects the physical properties and the stability of bioactive compounds. *Food Chem*. 2022;368:130779. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130779>
43. Kim M, Hwang H-S, Jeong S, Lee S. Utilization of oleogels with binary oleogelator blends for filling creams low in saturated fat. *Lwt*. 2022;155:112972. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112972>
44. Yu D, Li N, Wang R, Xue W, Wang D, Elfalleh W, et al. Preparation of conjugated linoleic acid-rich oleogel emulsions by dynamic high-pressure microfluidization technology. *Journal of Food Engineering*. 2024;362:111755. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111755>

45. da Silva SL, Amaral JT, Ribeiro M, Sebastiao EE, Vargas C, de Lima Franzen F, et al. Fat replacement by oleogel rich in oleic acid and its impact on the technological, nutritional, oxidative, and sensory properties of Bologna-type sausages. *Meat Sci.* 2019;149:141-8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.020>
46. Roufegarinejad L, Ahmadi G, Dcyer NC, Said Toker O, Habibzadeh Khiabani A. Fabrication of healthier monoglyceride-based oleogel containing linseed-sunflower oil and its application as shortening in cake formulation. *International Journal of Food Science & Technology.* 2023;59(1):299-308. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16809>
47. Salama HH, Hashim AF. A functional spreadable canola and milk proteins oleogels as a healthy system for candy gummies. *Sci Rep.* 2022;12(1):12619. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16809-9>
48. Moon K, Choi KO, Jeong S, Kim YW, Lee S. Solid Fat Replacement with Canola Oil-Carnauba Wax Oleogels for Dairy-Free Imitation Cheese Low in Saturated Fat. *Foods.* 2021;10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061351>