



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Evaluación de aceites vegetales en la formulación de oleogeles con base de cera de candelilla orgánica y su aplicación en el desarrollo de una tortilla de harina

Evaluation of vegetable oils in the formulation of oleogels based on organic candelilla wax and their application in the development of wheat flour tortillas

Borjas-Celaya, A.^b, Martínez-Ávila, G.C.G.^a, Rodríguez-Romero, B.A.^a, Rojas-Molina, R.^a, Aranda-Ledesma, N.E.^{a*}

^a Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, UANL, Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Cañada, 66050 Cdad. Gral. Escobedo, Nuevo León. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7276-8156>, <https://orcid.org/0000-0003-3010-5017>, <https://orcid.org/0000-0001-8947-6125>, <https://orcid.org/0009-0005-4333-4769>^{*}.

^b Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). Av. Universidad 1200, Col. Xoco, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México.
alberto.borjascel@nube.unadmexico.mx; guillermo.martinezavl@uanl.edu.mx; ; beatriz.rodriquezrm@uanl.edu.mx; romeo.rojasmln@uanl.edu.mx; nestor.arandald@uanl.edu.mx^{*}

Innovación tecnológica: Aplicación en la formulación de tortillas de harina.

Área de aplicación industrial: Desarrollo de alimentos funcionales abundantes en grasas insaturadas.

Recibido: 03 diciembre 2025

Aceptado: 18 junio 2026

Abstract

Oleogelation using organic candelilla wax represents an alternative for replacing saturated and partially hydrogenated fats in food products. In the present study, oleogels were formulated using candelilla wax (3, 6, and 9%) and vegetable oils (garlic, grape seed, and toasted sesame oils). Their physicochemical properties were evaluated in terms of hardness, acid value, peroxide value, melting point, and color, and compared with commercial fats (lard, butter, and vegetable shortening) using a completely randomized design and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). The results showed that increasing the wax concentration enhanced hardness and melting point due to the formation of a more structured crystalline network. The oleogels exhibited lower hardness than vegetable shortening and butter, but a hardness similar to that of lard, which favors their functional performance. Acid and peroxide values remained within regulatory limits. The garlic oil oleogel stood out because of its hardness stability, oxidative stability, and thermal behavior, and was therefore selected for application in wheat flour tortillas. The replacement of vegetable shortening with the oleogel did not significantly affect hardness or fat migration, while it increased the

moisture content of the product. Therefore, oleogels based on candelilla wax and oils rich in unsaturated fatty acids constitute a viable and healthier alternative for the development of functional foods.

Keywords: Candelilla wax, Functional foods, Oleogel, Vegetable oils.

Resumen

La oleogelificación utilizando cera de candelilla orgánica representa una alternativa para sustituir grasas saturadas y parcialmente hidrogenadas en alimentos. En la presente investigación, se formularon oleogeles con cera de candelilla (3, 6 y 9 %) y aceites vegetales (ajo, pepita de uva y ajonjolí tostado). Se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas mediante dureza, índice de acidez, índice de peróxidos, punto de fusión y color, comparándose con grasas comerciales (manteca de puerco, mantequilla, manteca vegetal) bajo un diseño completamente al azar y análisis de Tukey ($\alpha=0.05$). Los resultados mostraron que el incremento en la concentración de cera aumentó la dureza y el punto de fusión, debido a la formación de una red cristalina más estructurada. Los oleogeles presentaron dureza menor que la manteca vegetal y mantequilla, pero similar a la manteca de cerdo, lo que favorece su funcionalidad. Los índices de acidez y peróxidos se mantuvieron dentro de los límites normativos. El oleogel con aceite de ajo destacó por su estabilidad en cuanto a dureza, estabilidad oxidativa y comportamiento térmico, por lo que fue seleccionado para su aplicación en tortillas de harina. La sustitución de manteca vegetal por oleogel no afectó significativamente la dureza ni la migración de grasas, y aumentó la humedad del producto. Por lo tanto, el de oleogeles a base cera de candelilla y aceites ricos en ácidos grasos insaturados son una alternativa viable y saludable para el desarrollo de alimentos funcionales.

Palabras clave: Aceites vegetales, Alimentos funcionales, Cera de candelilla, Oleogel.

1. Introducción

El consumo generalizado a nivel mundial de grasas *trans* y grasas saturadas ha sido asociado con una mayor prevalencia y desarrollo de enfermedades cardiovasculares con efectos secundarios adversos como lo es una alteración en el perfil de lipoproteínas, obesidad, inflamación y estrés oxidativo que produce a su vez enfermedades como la diabetes tipo II y síndrome metabólico (Martins et al. 2023).

En este contexto, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), eliminó las grasas *trans* de la lista de sustancias generalmente reconocidas como seguras, mientras que en 2020 prohibió por completo

el uso de aceites parcialmente hidrogenados. Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingesta de grasas *trans* menor al 1% y menos del 10% de la energía diaria total debe de provenir de grasas saturadas (Tanislav et al. 2022). Por lo tanto, debido a estas disposiciones a nivel internacional, la industria alimentaria ha optado por tomar medidas para disminuir la ingesta de grasas *trans* y grasas saturadas en la dieta diaria con el fin de prevenir el desarrollo de enfermedades degenerativas.

Una alternativa prometedora y novedosa para la sustitución de estas grasas es la estructuración del aceite vegetal mediante el proceso de oleo gelificación, cuyo proceso

permite retener más del 90% aceite vegetal en una red tridimensional cristalina utilizando agentes gelificantes a concentraciones menores al 10%, además de no alterar el perfil insaturado, ni requerir la adición de agentes químicos para la formación de la red de gel, lo que permite minimizar el efecto de grasas saturadas y brinda al consumidor los beneficios característicos de las grasas insaturadas (Thakur et al. 2022). Diversas ceras, como la cera de candelilla, cera de salvado de arroz, cera de abeja y cera de carnauba son ideales para ser utilizados como oleogelificantes, tales como la calidad alimentaria, disponibilidad, bajo costo y su alta capacidad gelificante, lo que se atribuye a su composición que consiste principalmente en ácidos grasos saturados y alcoholes grasos de cadena larga lo que permite mantener una alta estabilidad estructural (Hamidioglu et al. 2022).

Los oleogeles a base de cera de candelilla, cera de salvado de arroz, cera de girasol, cera de carnauba y cera de abeja han sido ampliamente utilizadas para la estructuración de diversos aceites tales como; aceite de girasol, canola, colza, camelia, maíz y oliva (Xu et al. 2022, Wettlaufer et al. 2021). Cuyos usos abarcan desde la industria cosmética, alimentos y farmacéutica debido a su comportamiento similar a la de un sólido y a su bajo contenido en ácidos grasos saturados y *trans* (Liu et al. 2024a). En estudios recientes han sido utilizados para la producción de productos horneados (pasteles, galletas y pan), mejorando significativamente sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales en comparación con las grasas convencionales (Liu et al. 2024a).

Los problemas asociados al alto consumo de grasas trans y saturadas constituyen un problema de salud pública en México, presentes en productos de consumo diario. En este contexto, la oleogelificación mediante cera de candelilla orgánica permite

estructurar aceites ricos en ácidos grasos insaturados *cis*, ofreciendo una alternativa para sustituir estas grasas. Tomando en cuenta lo anterior, la hipótesis del presente trabajo es que, dado que la cera de candelilla orgánica puede actuar como agente estructurante de aceites ricos en ácidos grasos insaturados en configuración *cis*, y promoviendo la formación de oleogeles con propiedades fisicoquímicas adecuadas, permite su incorporación como sustitutos de grasas saturadas en la elaboración de tortillas de harina. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar y caracterizar oleogeles a partir de la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas, con el propósito de determinar su potencial de aplicación y su viabilidad tecnológica como sustitutos de grasa en la elaboración de tortillas de harina.

2. Materiales, equipos y métodos experimentales

2.1 Cera de candelilla

La cera de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) fue obtenida del ejido Lucio Blanco, Cuatrociénegas, Coahuila de Zaragoza, México durante los años 2021-2022. La cual fue extraída con ácido cítrico y posteriormente fue filtrada para eliminar impurezas (clarificado) utilizando bolsa filtro de tela de 25 x 24 cm para la eliminación de impurezas.

2.2 Elaboración de oleogeles

Los oleogeles se elaboraron en base a lo reportado por Flores-García et al. (2023) con ligeras modificaciones. Se formularon oleogeles a distintas concentraciones de cera de candelilla orgánica (3%, 6% y 9%) utilizando tres diferentes aceites vegetales ajo (San Lucas), pepita de uva (San Lucas) y ajonjolí tostado (Inés), adquiridos en establecimientos comerciales dentro del área metropolitana de Monterrey N.L. El aceite se calentó hasta 80°C con constante en una plancha de agitación magnética a 120 rpm,

posteriormente fue añadida la cera hasta lograr su integración a la mezcla y se mantuvo en agitación y temperatura constante durante 15 min. Finalmente, el oleogel se dejó reposar a temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura ambiental para luego ser transferido a refrigeración a 4°C durante 24 horas antes de su uso.

2.3 Evaluación de propiedades fisicoquímicas del oleogel

2.3.1 Extracción de grasas

Se realizó la extracción de grasas en base a lo reportado por Kozłowska et al. (2019) con algunas modificaciones. Un total de 100 g de muestra (de oleogel o tortilla) fueron colocados con 500 mL de hexano en agitación constante durante 50 min, posteriormente se realizó un filtrado para eliminar el materia sólido. La eliminación del solvente se llevó a cabo en un horno Jeio Tech 659122 a 40°C durante 24 horas. Finalmente, la grasa obtenida fue almacenada a 4°C hasta la realización de los análisis.

2.3.2 Índice de acidez, punto de fusión, dureza y color.

Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas (índice de acidez, punto de fusión y dureza) de los oleogeles y las grasas, se empleó las metodologías reportadas por la; NMX-F-101-SCFI-2012 y por Flores-García et al. (2023). Mientras que para la evaluación de color se utilizó un colorímetro (WR10QC portable colorimeter BELEY 8mm Digital Precise with Color Screen Display) para la detección de las coordenadas CIEL*a*b*.

Se utilizaron como controles marcas comerciales de manteca vegetal (INCA), manteca de puerco (María Cristina) y mantequilla (Gloria sin sal), obtenidas de tiendas comerciales dentro del área metropolitana de Monterrey N.L. (Fernández Market Bodega 390, Av. Los Ángeles #1000 Int. 390 Col. Garza Cantú, San Nicolás de los

Garza Nuevo León, C.P. 66480 y Carnicería María Cristina Marcelino Juárez 100, Jardines de Casa Blanca, 67116 Guadalupe, N.L.) como puntos de comparación.

2.4 Elaboración de la tortilla de harina

Para la elaboración de la tortilla de harina, se pesaron 1000 g de harina de trigo, 60 g de oleogel, 16 g de sal, 10 g de polvo para hornear (REXAL) (bicarbonato de sodio, sulfato de aluminio y sodio, fécula de maíz, sulfato de maíz y sulfato monocalcico) y 535 mL de agua purificada. Para la tortilla de harina control se mantuvieron todas cantidades a excepción del oleogel que fue sustituido por 170 g de manteca vegetal y el volumen de agua fue ajustado a 500 mL (debido a la poca untuosidad de la manteca vegetal). Todos los ingredientes fueron mezclados a mano durante 8 minutos hasta lograr la consistencia deseada, posteriormente la cocción de la tortilla consistió en un tiempo de 2 min (1 min por lado) a una temperatura de plancha de 125 °C.

2.5 Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la tortilla de harina

Una vez elaboradas las tortillas de harina, se procedió a extraer las grasas y se llevaron a cabo los análisis según las metodologías mencionadas en el apartado 2.3.1

2.5.1 Índice de acidez, punto de fusión, dureza y color.

Los análisis se llevaron a cabo en base a lo indicado en el apartado 2.3.2.

2.5.2 Humedad, migración de grasas e índice de peróxidos.

El contenido de humedad y el porcentaje de migración de grasas fueron determinados con base en lo reportado por Flores-García et al. (2023). Mientras que el índice de peróxidos se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos por el proveedor Hanna Instruments utilizando el kit de reactivos para

determinación del valor de peróxidos en aceites HI83730-20 con número de lote C011/24 y midiendo los valores con un fotómetro para índice de peróxido en aceite (Hanna Instruments HI83730 – 01).

2.6 Análisis de grupos funcionales por FTIR

El análisis de FTIR se llevó a cabo en base a lo reportado por Aranda-Ledesma et al. (2022). Utilizando un FTIR Agilent modelo Cary 630 acoplado al accesorio ATR con cristal de seleniuro de zinc (ZnSe). El análisis de FTIR se llevó a cabo con el propósito de identificar los grupos funcionales característicos de los oleogeles y compararlos con los observados en las grasas convencionales, permitiendo evaluar posibles cambios estructurales e interacciones moleculares generadas durante el proceso de oleogelación.

2.7 Análisis estadístico

Los ensayos se realizaron por triplicado. Para cada variable evaluada, los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar. Las diferencias entre tratamientos se determinaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, considerando cada formulación y control como un tratamiento independiente. Cuando se detectaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$), las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el software MINITAB versión 21.2.

3. Resultados y discusión

3.1 Propiedades fisicoquímicas de los oleogeles

En la Tabla 1 se muestran las propiedades fisicoquímicas de los oleogeles preparados al 3%, 6% y 9% de cera de candelilla orgánica y su comparación con los controles que comprenden grasas de uso común utilizados en la elaboración de diversos alimentos, en

donde se muestra una clara diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre tratamientos para todas las variables evaluadas.

3.1.1 Color

El color es un factor esencial para determinar las propiedades sensoriales de los productos alimentarios. La escala de color CIE $L^*a^*b^*$ es una escala estándar para evaluar el índice de luminosidad psicométrica (L^*) que va del 0 (negro) al (100) blanco. El componente a^* varía de verde (negativo) a rojo (positivo), mientras que el componente b^* varía de azul (negativo) a amarillo (positivo) (Ropciuc et al. 2023). En el caso de los controles se observa valores altos de L^* indicando una alta luminosidad y una tendencia hacia lo blanco, mientras que los valores de a^* tienden hacia lo negativo y los valores de b^* muestran valores relativamente bajos para la manteca de puerco y manteca vegetal, mientras que para la mantequilla su valor de b^* muestra valores intermedios con una tendencia mayor hacia lo amarillo. Estos hechos indican una clara tendencia del color propio de estas grasas; blanco para la manteca de puerco y manteca vegetal y amarillo para la mantequilla. Mientras que en los oleogeles se muestra una disminución considerable en los valores de L^* respecto a los controles lo cual se debe a la presencia de cera que provoca cambios en el aceite haciéndolo más opaco y por lo tanto menos sensible a la luz. Esto es debido a la formación de nanopartículas de grasa que dan a los productos una apariencia mate (Ropciuc et al. 2023). En cuanto a los valores de a^* todas las muestras mostraron valores disminuidos esto debido al color propio de los aceites que tienen una tendencia hacia el verde. Por otra parte, se muestra un aumento en los valores de b^* respecto a los valores de color de la cera lo que origina un color de amarillez (Qu et al. 2024).

3.1.2 Dureza

La dureza es un parámetro importante para evaluar la calidad de las grasas, ya que determina el rendimiento culinario y la untabilidad (Chai et al. 2022). Al respecto, se muestra un incremento en la dureza de los oleogeles conforme aumenta la concentración de cera añadida, lo que se debe a una mayor formación de cristales y una red cristalina con mayor densidad debido al contenido de cera lo que resulta en una mayor rigidez (Chai et al. 2022). Además, el espacio cerrado dentro de la matriz del oleogel es esencial para el mantenimiento del sabor, un mayor nivel de dureza indica una red más densa lo que puede ralentizar más la movilidad del sabor (Liu et al. 2024b). Todas las muestras de oleogeles mostraron valores de dureza menores a los reportados por la manteca vegetal y mantequilla, esto debido al alto contenido de ácidos grasos específicamente aquellos saturados y de cadena larga lo que se traduce como una mayor firmeza lo que dificulta la untabilidad (Lapčíková et al. 2023) y de la misma manera presentó valores similares a los valores de dureza de la manteca de puerco, lo que puede favorecer las propiedades sensoriales y de fusión de los productos alimentarios elaborados a base de oleogel.

3.1.3 Índice de peróxido e índice de acidez

En el caso del índice de peróxido es de la prueba básica para medir el grado de oxidación en grasas y aceites, proporcionando una medida en la que el aceite ha sufrido una oxidación primaria (Godswill, et al. 2018). Si bien, los oleogel muestran valores de índice de peróxido superiores a los mostrados por los controles, se encuentran por debajo de lo establecido en el CODEX STAN 210-1999 (15 meq de O_2/kg). Además, se ha reportado que la presencia de la cera puede ayudar a reducir los procesos de oxidación debido a su capacidad dual lipofílica e hidrofílica generado de esta manera una reacción de

oxidación retardada (Ropciuc et al. 2023). Además, Kamali et al. (2019) indican que el proceso de refrigeración ($4^\circ C$) retarda el proceso de oxidación respecto al almacenamiento a temperatura ambiente, por lo que el proceso de oleogelificación en combinación con adecuados sistemas de almacenamiento evitan procesos de oxidación acelerada, lo que constituye otra ventaja de esta tecnología para su implementación.

Por otra parte, el índice de acidez es definido como la cantidad de ácidos grasos libres es decir aquellos que no están unidos a un alcohol, según la norma NMX-F-101-SCFI-2012. Al respecto, se muestra un incremento de los valores en los oleogeles conforme aumenta el contenido de cera. Esto es debido al contenido relativamente alto de los ácidos grasos libres del agente oleogelificante (cera de candelilla), que presenta altos niveles de acidez de la candelilla (18 mg de KOH/g) (Szymańska et al. 2021). Sin embargo, ninguna muestra de oleogel superó el valor de acidez mostrada por la manteca vegetal por lo que son comparables y puede ser sustituida sin incrementar los niveles de ácidos grasos libres.

3.1.4 Punto de fusión

El punto de fusión de las materias grasas se relaciona directamente con la dureza de esta, por lo que a mayor dureza mayor será el punto de fusión (Liu et al. 2024b). Los oleogeles mostraron un incremento del punto de fusión conforme aumentaba la concentración de cera de candelilla. Esto se asocia a un aumento de lipocristales, lo que permite la formación de la estructura de red de gel más compacta (Liu et al. 2024b). Esto ocurre durante el fraccionamiento del aceite en donde los triglicéridos de alto punto de fusión se separan causando un enfriamiento de la mezcla causando que el punto de fusión aumente y de la misma manera da lugar a la

producción de más cristales de grasa (Liu et al. 2024b). Esto representa una desventaja respecto a las grasas convencionales ya que el punto de fusión impacta directamente en otras propiedades fisicoquímicas y funcionales, como la cristalinidad y el comportamiento térmico, lo que afecta su desempeño en productos alimentarios, dado que las grasas convencionales que presentaron temperaturas entre 29.40 y 46.63 °C, lo que pone en evidencia un mayor contenido de grasa sólida y por lo tanto mayor estabilidad térmica,

mejorando así la retención de humedad (Faridah et al. 2025).

Una vez realizadas todas las pruebas fisicoquímicas con los diferentes aceites y concentraciones de cera de candelilla, se seleccionó el oleogel a base de aceite de ajo debido a los resultados finales obtenidos de las propiedades fisicoquímicas del producto final para la elaboración de las tortillas de harina.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los oleogeles comparadas con los controles.

	Muestras	Color			Dureza (N)	Índice de peróxido (meq O ₂ /kg)	Índice de acidez (%)	Punto de fusión (°C)
		L*	a*	b*				
Controles	Manteca	66.67	-0.00	23.07	0.52	8.66	1.35	29.40
	puerca	(±1.62) ^b	(±0.52) ^d	(±0.24) ^c	(±0.05) ^g	(±1.04) ^b	(±0.11) ^a	(±2.02) ^d
	Manteca vegetal	78.58	-2.87	9.02	37.39	0.00	0.33	46.63
		(±1.60) ^a	(±0.08) ^d	(±0.07) ^f	(±1.76) ^a	(±0.00) ^f	(±0.19) ^d	(±3.18) ^b
	Mantequilla	71.70	-0.93	52.00	19.08	2.50	0.62	32.76
Oleogel 3%		(±0.87) ^a	(±0.05) ^d	(±0.98) ^a	(±0.47) ^b	(±0.50) ^d	(±0.10) ^c	(±1.33) ^c
	Ajo	36.96	1.86	8.55	0.19	8.50	0.22	35.63
		(±8.74) ^b	(±1.54) ^c	(±4.55) ^f	(±0.02) ^f	(±0.50) ^b	(±0.00) ^e	(±0.98) ^c
	Pepita de	39.31	3.47	18.15	0.24	9.66	0.11	40.60
	Uva	(±5.91) ^b	(±0.83) ^c	(±2.18) ^d	(±0.02) ^f	(±0.76) ^b	(±0.00) ^f	(±4.45) ^b
Oleogel 6%	Ajonjolí	31.52	18.05	18.05	0.00	0.83	1.23	34.53
	Tostado	(±1.68) ^b	(±0.62) ^a	(±3.52) ^d	(±0.00) ^f	(±0.28) ^e	(±0.01) ^b	(±1.11) ^c
	Ajo	30.21	-3.59	13.09	3.17	4.50	0.22	45.60
		(±2.45) ^b	(±0.52) ^d	(±3.70) ^e	(±0.75) ^d	(±0.86) ^d	(±0.00) ^e	(±2.19) ^b
	Pepita de	34.43	-0.52	13.32	2.53	10.16	0.37	56.66
Oleogel 9%	Uva	(±3.35) ^b	(±1.57) ^d	(±1.49) ^e	(±0.04) ^d	(±1.25) ^a	(±0.17) ^d	(±1.83) ^a
	Ajonjolí	34.64	7.67	32.85	1.10	1.33	1.31	46.40
	Tostado	(±0.94) ^b	(±1.14) ^b	(±4.61) ^c	(±0.27) ^{ef}	(±0.57) ^e	(±0.21) ^a	(±2.45) ^b
	Ajo	34.66	-3.20	13.22	6.13	6.66	0.63	55.76
		(±4.05) ^b	(±0.16) ^d	(±0.96) ^e	(±0.25) ^c	(±0.76) ^c	(±0.06) ^c	(±0.95) ^a
	Pepita de	35.92	0.26	13.04	5.64	6.16	0.30	56.46
	Uva	(±0.30) ^b	(±0.24) ^c	(±0.77) ^e	(±0.63) ^c	(±2.02) ^c	(±0.06) ^d	(±0.23) ^a
	Ajonjolí	34.11	5.01	25.42	3.91	3.73	1.36	52.06
	Tostado	(±1.70) ^b	(±1.53) ^b	(±1.15) ^c	(±0.82) ^d	(±1.25) ^d	(±0.08) ^a	(±1.72) ^b

Letras diferentes indica una diferencia significativa Tukey ($\alpha=0.05$) por columna. Los datos indican la media de los triplicados con la desviación estándar respectivamente.

3.2 Propiedades fisicoquímicas de la tortilla de harina

En la Tabla 2, se observan las propiedades fisicoquímicas de la tortilla de harina elaborada a partir de un oleogel a base de aceite de ajo y su comparación con el control

elaborada con una receta base que sustituye el oleogel por manteca vegetal comercial.

3.2.1 Color

En el caso del color se observa una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) para las tres variables ($L^*a^*b^*$) entre la tortilla con oleogel y la

tortilla control. El aumento de las coordenadas $L^*a^*b^*$ mostradas por la tortilla con oleogel se puede deber principalmente al color propio del aceite de ajo añadido en la formulación del oleogel. Además, la cantidad de ácidos grasos presentes también influyen en el parámetro de color, mientras que la manteca de origen animal tiene un color blanco y una mayor cantidad de ácidos grasos saturados con relación 16:0 mientras que los oleogeles son ricos en ácidos grasos insaturados con una relación promedio de 18:1 lo que influye en la absorbancia de color (Kim et al. 2024).

3.2.2 Dureza

La dureza es un factor crucial determinante en las preferencias del consumidor por los productos alimenticios y el uso de oleogeles permiten preservar o realzar sus cualidades de textura y su atractivo sensorial (Lui et al. 2024b). En la dureza no se observa una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre tratamientos, lo que representa un aspecto positivo para la sustitución de grasas saturadas por insaturadas además considerando la dureza y la masticabilidad están correlacionadas negativamente con la calidad de los alimentos funcionales (Kim et al. 2024). Estos resultados evidencian que la adición de oleogel en la formulación de tortillas de harina no afecta esta propiedad de forma negativa. Además, el uso de una menor cantidad de oleogel para la elaboración de las tortillas indican una mejor plasticidad dentro del sistema, lo que facilita el manejo de la masa y por lo tanto la formación de las tortillas, lo que es suficiente para mantener la integridad del producto durante su elaboración y cocción desensañando adecuadamente la función respecto a las grasas convencionales con menores cantidades para su elaboración (Tavernier et al. 2017). Al mismo tiempo y debido a la naturaleza estructurada de los oleogeles se puede mejorar la distribución y retención de

sabor, mejorando su textura y reduciendo su untuosidad (Lui et al. 2024). Además, el uso de una menor cantidad de oleogel respecto al control.

3.2.3 Humedad

El contenido de humedad en un alimento impacta en el grado de hidratación de la masa lo que a su vez se permite una mayor estabilidad en cuanto a textura, sabor y la apariencia general del producto final (Pradham et al. 2023). En este sentido, en el contenido de humedad (%) se observa una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre tratamientos, indicando que la adición de oleogeles en las formulaciones de tortillas de harina aumenta el contenido de humedad. Este aumento en las muestras elaboradas con oleogel se puede deber a la capacidad de formar una red cristalina ya que permite retener una mayor cantidad de agua dentro de su matriz (Walendziak et al. 2025), sin embargo, ambas muestras se encuentran dentro de los rangos establecidos por la NOM-247-SSA1 (15%). No obstante, es importante señalar que la estabilidad microbiológica de un alimento depende principalmente de su actividad de agua (A_w) y no únicamente de su contenido de humedad. Por lo tanto, es necesario determinar ambos parámetros para determinar la susceptibilidad al desarrollo microbiano.

3.2.4 Migración de grasas

La migración de grasa desde la matriz del producto es importante dentro de las propiedades sensoriales y de almacenamiento de un producto (Onacik-Gür y Żbikowska 2020). No se aprecian variaciones significativas ($\alpha=0.05$) entre tratamientos, lo que indica que la sustitución de manteca vegetal por oleogel en la formulación de tortillas de harina no tuvo un efecto adicional en la retención de grasas. Esto representa una ventaja en el uso de oleogeles, ya que altos porcentajes en la migración de las grasas (%)

se asocian a la formación de una capa de aceite en la superficie del producto y del envase que lo contiene, degradándose a una mayor velocidad que la que se encuentra dentro de la matriz, afectando negativamente las propiedades sensoriales y de almacenamiento (Onacik-Gür y Żbikowska et al. 2020). Además, estos autores indican que la cera de candelilla es el agente estructurante más eficaz para estabilizar el aceite respecto a otras ceras (abeja, cera de salvado de arroz y cera blanca), esto debido a la capacidad de formar una estructura cristalina de la red entre la cera y el aceite (Onacik-Gür y Żbikowska et al. 2020).

3.2.5 Índice de peróxido e índice de acidez

En el índice de peróxido, se muestra una diferencia significativa ($\alpha=0.05$), siendo mayor en la muestra adicionada con oleogel, indicando un mayor grado de oxidación respecto a las grasas convencionales. Esto se puede deber a la presencia de ácidos grasos insaturados tanto en los aceites vegetales como en la cera de candelilla, los cuales son

altamente susceptibles a sufrir procesos de oxidación lipídica específicamente aquellos poliinsaturados respecto a los monoinsaturados (Noonim et al. 2022). Sin embargo, ambas muestras se encuentran por debajo de lo establecido en la norma CODEX STAN 210-1999 cuyo rango máximo para aceites vírgenes es de 15 meq de O_2/kg . Por otra parte, en el índice de acidez no se observa una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre tratamientos, lo que indica que el contenido de ácidos grasos libres es similar en ambos tipos de tortillas. En este sentido, la muestra adicionada con oleogel muestra un ligero aumento respecto al control, lo cual se puede deber a la presencia de ácidos grasos libres en la cera de candelilla (Flores-García et al. 2023). Sin embargo, ambos casos se encuentran dentro de lo establecido en la norma CODEX STAN 210-1999 para aceites vegetales, la cual establece el contenido máximo de ácidos grasos libres para aceites refinados (0.6 mg KOH/g), aceites vírgenes prensados en frío (4.0 mg KOH/g) y aceites vírgenes (10.0 mg KOH/g).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de la tortilla de harina y su comparación con el control.

Muestras	Color			Dureza (N)	Humedad (%)	Migración de grasas (%)	Índice de peróxidos (meq O_2/kg)	Índice de acidez (%)
	L*	a*	b*					
Tortilla de Harina Control	55.18 (± 4.61) ^b	-1.13 (± 0.24) ^b	19.95 (± 1.15) ^b	7.81 (± 2.03) ^a	7.22 (± 0.25) ^b	0.94 (± 0.39) ^a	0.16 (± 0.28) ^b	0.47 (± 0.23) ^a
Tortilla Harina Oleogel	63.08 (± 2.83) ^a	-0.07 (± 0.03) ^a	23.22 (± 0.27) ^a	8.84 (± 1.48) ^a	9.02 (± 0.32) ^a	1.64 (± 1.84) ^a	5.50 (± 1.00) ^a	0.82 (± 0.52) ^a

Letras diferentes indica una diferencia significativa Tukey ($\alpha=0.05$) por columna. Los datos indican la media de los triplicados con la desviación estándar respectivamente.

3.3 Análisis de grupos funcionales por FTIR

3.3.1 Espectro IR de los oleogeles

En la Figura 1 se muestran los espectros IR de los oleogeles, los cuales muestran una huella

dactilar de absorción idéntica, la cual se describe a continuación. La primera señal ubicada a 2909 cm^{-1} y a 2847 cm^{-1} indica la deformación simétrica y no simétrica de enlaces CH_2 de los alcanos. Posteriormente, la

señal ubicada a 1740 cm^{-1} indica la presencia de estiramiento de enlace $\text{C}=\text{O}$ de los triglicéridos. Por otra parte, la señal ubicada a 1470 cm^{-1} indica el estiramiento de enlaces $\text{C}-\text{H}$, mientras que la señal ubicada a 1157 cm^{-1} se relaciona a estiramientos del grupo éster ($\text{C}-\text{O}$). Finalmente, la señal ubicada a 708 cm^{-1} indica una vibración equilibrada de enlaces $\text{C}-\text{H}$ de los lípidos.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Pang et al. (2020), quienes al evaluar diferentes aceites en conjunto con cera de abeja se produjeron espectros con señales características a los identificados en la investigación. Así mismo, Flores-García et al. (2023), indica que la señal prominente ubicada a 1740 cm^{-1} indica la interacción entre aceite-cera la cual es generada principalmente por ésteres de alto peso molecular, además las señales ubicadas a 2909 y 2847 cm^{-1} corresponde a estiramientos de grupos $\text{C}-\text{H}$. También indica vibraciones de estiramiento de la cadena principal metil- CH_3 y metileno- CH_2 de los n -alcanos característicos de la cera de candelilla y cuya señal se superpone con las generadas por el aceite vegetal. En este contexto, se han reportado previamente señales similares en grasas comerciales (manteca de origen animal y manteca vegetal) en donde las señales ubicadas entre 1740 y 1735 cm^{-1} indica estiramientos del enlace $\text{C}=\text{O}$. También, la señal ubicada en región de 1440 cm^{-1} se debe a la presencia de los enlaces $\text{C}-\text{H}$. Finalmente, en la región entre 730 y 700 cm^{-1} se evidencia el estiramiento de enlaces $\text{C}-\text{H}$ de los lípidos (Flores-García et al. 2023).

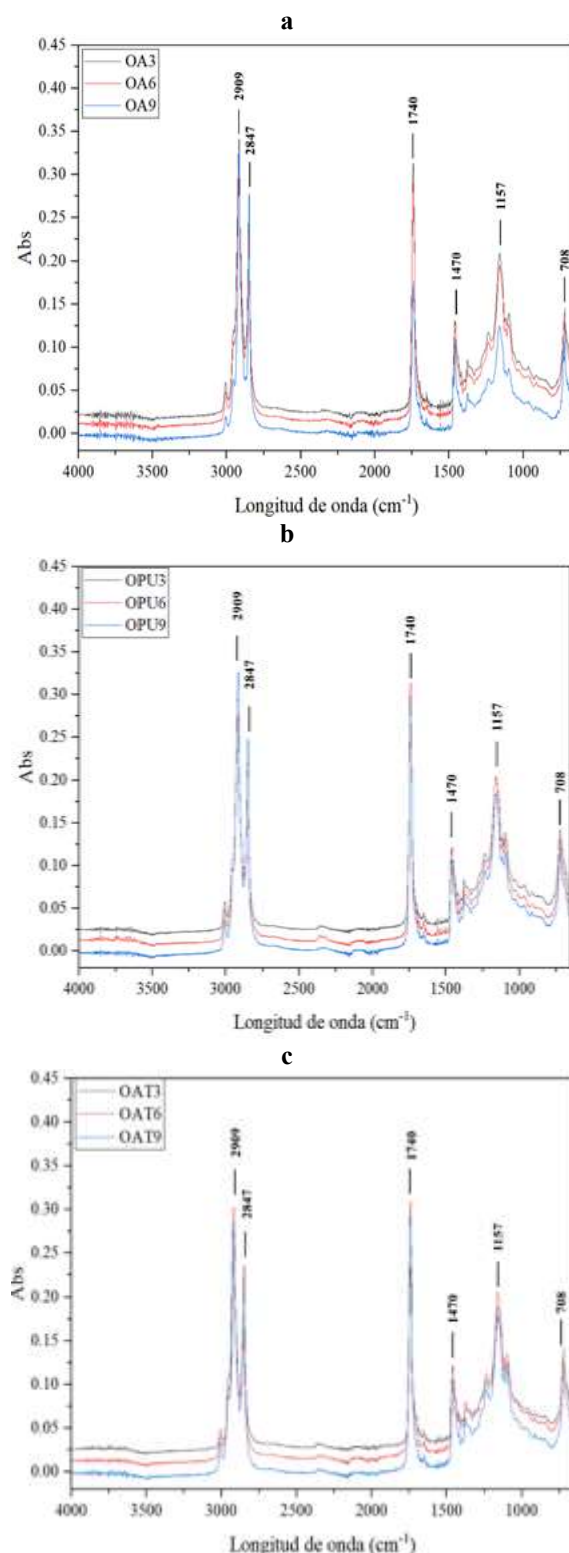


Figura 1. Espectros IR de los oleogeles; a) oleogel de ajo (OA3, OA6, OA9), b) oleogel pepita de uva (OPU3, OPU6, OPU9) y oleogel ajonjolí tostado (OAT3, OAT6, OAT9).

3.3.2 Espectro IR de tortillas de harina

En la Figura 2 se muestra la comparación de los espectros IR de la tortilla elaborada con oleogel y aquella elaborada con manteca vegetal y se muestra una similitud en la huella dactilar entre ambas muestras. La banda amplia ubicada a 3274 cm^{-1} indica vibraciones de estiramiento de grupos O-H. Mientras que las bandas ubicadas a 2918 y 2842 cm^{-1} indica vibraciones de estiramiento de enlaces C-H. Posteriormente, la señal ubicada a 1633 cm^{-1} corresponde a estiramientos del grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), seguido de las señales a 1540 y 1455 cm^{-1} que corresponde a interacciones de enlaces N-H y C-N, finalmente, las señales ubicadas 1153 y 993 cm^{-1} corresponden a interacciones de enlaces C-O, C-N y C-C.

Estos resultados, coinciden con lo reportado por Pradham et al. (2023) quienes indican que las bandas ubicadas entre 1400 y 1550 cm^{-1} corresponden a la región Amida II y se asocian a flexiones de grupos funcionales de las proteínas del gluten. Así, mismo Flores-García et al. (2023), encontraron similitudes entre los espectros IR de oleogeles y manteca vegetal, en las regiones ubicadas entre 2950 y 2800 cm^{-1} y entre la región 1700 a 1400 cm^{-1} . La similitud entre ambos espectros IR indica que la distribución y en comportamiento en el oleogel entre el aceite y la cera es similar a la que presenta la manteca vegetal comercial por lo que el reemplazo de esta es posible sin causar una alteración entre las interacciones entre la matriz del gel y el alimento funcional desarrollado.

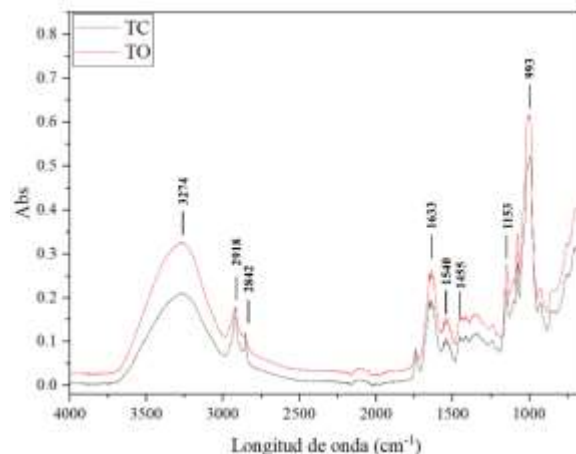


Figura 2. Espectro IR de la tortilla control (TC) y tortilla con oleogel (TO).

4. Conclusión

La formulación de oleogeles a base de cera de candelilla orgánica representa una alternativa viable para la sustitución de grasas saturadas y parcialmente hidrogenadas, debido a su capacidad para estructurar aceites vegetales ricos en ácidos grasos insaturados sin modificar su perfil lipídico, así como la capacidad para formar redes cristalinas estables y compatibilidad alimentaria.

La selección del oleogel a base de aceite de ajo basada en sus propiedades fisicoquímicas, particularmente su dureza comparable a la manteca de puerco, un índice de acidez y de peróxidos dentro de los límites normativos, así como un punto de fusión adecuado que favorece su funcionalidad tecnológica. Estas características permitieron obtener un oleogel con características favorables para su aplicación en productos alimentarios. Permitiendo la elaboración de tortillas de harina con propiedades deseables como la dureza, la migración de grasas y la estabilidad oxidativa, sin afectar negativamente la calidad del producto final.

En conjunto, estos resultados confirman que los oleogeles formulados con cera de candelilla orgánica y aceites ricos en ácidos grasos insaturados poseen características

funcionales similares a las grasas convencionales, por lo que representan una opción viable como sustitutos saludables con alto potencial para el desarrollo de alimentos funcionales alineados con las tendencias actuales de reducción de grasas en la dieta diaria.

5. Agradecimientos

Agradece a la SECIHTI por la beca de manutención de posgrado.

6. Referencias

1. Martins, A. J., Guimarães, A., Fuciños, P., Sousa, P., Venâncio, A., Pastrana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2023). Food-grade bigels: Evaluation of hydrogel: Oleogel ratio and gelator concentration on their physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, 143, 108893. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108893>
2. Tanislav, A. E., Pușcaș, A., Păucean, A., Mureșan, A. E., Semeniuc, C. A., Mureșan, V., & Mudura, E. (2022). Evaluation of structural behavior in the process dynamics of oleogel-based tender dough products. *Gels*, 8(5), 317. <https://doi.org/10.3390/gels8050317>
3. Thakur, D., Singh, A., Prabhakar, P. K., Meghwal, M., & Upadhyay, A. (2022). Optimization and characterization of soybean oil-carnauba wax oleogel. *Lwt*, 157, 113108.
4. Hamidioglu, I., Alenčikienė, G., Dzedulionytė, M., Zabulionė, A., Bali, A., & Šalaševičienė, A. (2022). Characterization of the quality and oxidative stability of hemp-oil-based oleogels as an animal fat substitute for meat patties. *Foods*, 11(24), 4030. <https://doi.org/10.3390/foods11244030>
5. Xu, H. J., Li, T., Zhang, H. X., Shi, C. H., Cao, J. Q., & Zhang, X. R. (2022). The application of oleogels in food products: Classification, preparation, and characterisation. *Acta Alimentaria*, 51(4), 462-478. <https://doi.org/10.1556/066.2022.00099>
6. Wettlaufer, T., Hetzer, B., & Flöter, E. (2021). Characterization of Oleogels based on waxes and their hydrolyzates. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(7), 2000345. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000345>
7. Liu, L., Gao, Z., Chen, G., Yao, J., Zhang, X., Qiu, X., & Liu, L. (2024a). A comprehensive review: Impact of oleogel application on food texture and sensory properties. *Food Science & Nutrition*, 12(6), 3849-3862. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4110>
8. Faridah, M. R., Hairi, A. N. A., Yusoff, M. M., Rozzamri, A., Ibadullah, W. Z. W., & Ismail-Fitry, M. R. (2025). Comparison of the physicochemical properties of palm-based shortenings of various melting temperatures and animal fats. *Food Chemistry: X*, 28, 102583. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102583>
9. Lapčíková, B., Lapčík, L., Valenta, T., & Kučerová, T. (2022). Functional and quality profile evaluation of butters, spreadable fats, and shortenings available from Czech market. *Foods*, 11(21), 3437. <https://doi.org/10.3390/foods11213437>
10. Flores-García, C. L., Medina-Herrera, N., Rodríguez-Romero, B. A., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R., & Meza-Carranco, Z. (2023). Impact of Fat Replacement by Using Organic-Candelilla-Wax-Based

- Oleogels on the Physicochemical and Sensorial Properties of a Model Cookie. *Gels*, 9(8), 636. <https://doi.org/10.3390/gels9080636>
11. Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2012 Alimentos – Aceites y Grasas Vegetales o Animales – Determinación de Ácidos Grasos Libres – Método de Prueba (Cancela a la NMX-F-101-SCFI-2006). Secretaría de Economía. Disponible en línea: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-101-scfi-2012.pdf>
 12. Aranda-Ledesma, N. E., González-Hernández, M. D., Rojas, R., Paz-González, A. D., Rivera, G., Luna-Sosa, B., & Martínez-Ávila, G. C. (2022). Essential oil and polyphenolic compounds of *Flourensia cernua* leaves: chemical profiling and functional properties. *Agronomy*, 12(10), 2274. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102274>
 13. Ropciuc, S., Dranca, F., Oroian, M. A., Leahu, A., Codină, G. G., & Prisacaru, A. E. (2023). Structuring of Cold Pressed Oils: Evaluation of the Physicochemical Characteristics and Microstructure of White Beeswax Oleogels. *Gels*, 9(3), 216. <https://doi.org/10.3390/gels9030216>
 14. Qu, K., Ma, J., Zhang, H., & Li, X. (2024). Characterization of construction and physical properties of composite oleogel based on single low molecular weight wax and polymer ethyl cellulose. *LWT*, 192, 115722. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115722>
 15. Chai, X., Zhang, Y., Shi, Y., & Liu, Y. (2022). Crystallization and structural properties of oleogel-based margarine. *Molecules*, 27(24), 8952. <https://doi.org/10.3390/molecules27248952>
 16. Liu, Y., Zhou, W., Gao, H., Chen, M., Li, R., Dai, Y., & Li, J. (2024b). Temperature-responsive palm oil-based-oleogels for encapsulation of D-limonene: effect of fat crystallisation and melting point. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 2535-2546. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16991>
 17. Godswill, A. C., Amagwula, I. O., Igwe, V. S., & Gonzaga, A. I. (2018). Effects of repeated deep frying on refractive index and peroxide value of selected vegetable oils. <http://hdl.handle.net/20.500.12306/1285>
 18. FAO/OMS. Informe de la 14ª reunión del comité del CODEX sobre grasas y aceites. *Com. Del CODEX* 1993, 1, 1–123.
 19. Kamali, E., Sahari, M. A., Barzegar, M., & Ahmadi Gavlighi, H. (2019). Novel oleogel formulation based on amaranth oil: Physicochemical characterization. *Food science & nutrition*, 7(6), 1986-1996. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1018>.
 20. Szymańska, I., Żbikowska, A., Kowalska, M., & Golec, K. (2021). Application of oleogel and conventional fats for ultrasound-assisted obtaining of vegan creams. *Journal of Oleo Science*, 70(10), 1495-1507. <https://doi.org/10.5650/jos.ess21126>
 21. Tavernier, I., Doan, C. D., Van de Walle, D., Danthine, S., Rimaux, T., & Dewettinck, K. (2017). Sequential crystallization of high and low melting waxes to improve oil structuring in wax-based oleogels. *RSC advances*, 7(20), 12113-12125. [10.1039/C6RA27650D](https://doi.org/10.1039/C6RA27650D)
 22. Kim, S. H., Jo, Y. J., Lee, S. H., & Park, S. H. (2024). Development of

- oleogel-based Fat Replacer and its application in Pan Bread making. *Foods*, 13(11), 1678. <https://doi.org/10.3390/foods13111678>
23. Kozłowska, M., Zbikowska, A., Marciniak-Lukasiak, K., & Kowalska, M. (2019). Herbal extracts incorporated into shortbread cookies: Impact on color and fat quality of the cookies. *Biomolecules*, 9(12), 858. <https://doi.org/10.3390/biom9120858>
 24. Pradhan, A., Anis, A., Alam, M. A., Al-Zahrani, S. M., Jarzebski, M., & Pal, K. (2023). Effect of soy wax/rice bran oil oleogel replacement on the properties of whole wheat cookie dough and cookies. *Foods*, 12(19), 3650. <https://doi.org/10.3390/foods12193650>
 25. Walendziak, W., Douglas, T. E., & Kozłowska, J. (2025). Physicochemical Properties of Freeze-Dried Bigel-Based Materials Composed of Sodium Alginate/Whey Protein Isolate Hydrogel and Ethylcellulose/Sunflower Oil Oleogel. *Biomacromolecules*, 26(4), 2344-2355. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.4c01677>
 26. NOM-247-SSA1. Productos y Servicios. Cereales y sus Productos. Cereales, Harinas de Cereales, Sémolas o Semolinas. Alimentos a Base de: Cereales, Semillas Comestibles, de Harinas, Sémolas o Semolinas o sus Mezclas. Productos de Panificación. Disposiciones y Especificaciones Sanitarias y Nutrimientales. Métodos de prueba. Disponible en línea: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009#gsc.tab=0
 27. Onacik-Gür, S., & Zbikowska, A. (2020). Effect of high-oleic rapeseed oil oleogels on the quality of short-dough biscuits and fat migration. *Journal of food science and technology*, 57(5), 1609-1618. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04193-8>
 28. Noonim, P., Rajasekaran, B., & Venkatachalam, K. (2022). Structural characterization and peroxidation stability of palm oil-based oleogel made with different concentrations of carnauba wax and processed with ultrasonication. *Gels*, 8(12), 763. <https://doi.org/10.3390/gels8120763>
 29. Pang, M., Shi, Z., Lei, Z., Ge, Y., Jiang, S., & Cao, L. J. G. Y. A. (2020). Structure and thermal properties of beeswax-based oleogels with different types of vegetable oil. *Grasas Y Aceites*, 71(4), e380-e380. <https://doi.org/10.3989/gya.0806192>