

Propiedades ópticas, comportamiento de flujo y dureza de geles basados en nanoemulsión

Optical properties, flow behavior and hardness of gels based on nanoemulsion

Propriedades ópticas, comportamento de fluxo e dureza de géis à base de nanoemulsão

CRISTÓBAL ROJAS PIZARRO (1)

MATÍAS MENESES GARRIDO (1)

KAREN VIELMA DOMÍNGUEZ (1)

NATALIA RIQUELME HINOJOSA (1)

CARLA ARANCIBIA AGUILAR (1)

(1) Laboratorio de Investigación en Propiedades de los Alimentos (INPROAL), Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

RECIBIDO: 13/10/2023 → APROBADO: 29/12/2023 ✉ carla.arancibia@usach.cl

RESUMEN

Debido al aumento de la población mayor (> 60 años), la industria alimentaria tiene el desafío de diseñar alimentos para este grupo etario considerando los cambios deglutorios que ocurren producto del envejecimiento. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes mezclas de hidrocoloides en las propiedades físicas de geles basados en nanoemulsiones. Se prepararon 4 muestras utilizando una nanoemulsión base (194 nm) con diferentes mezclas de agentes gelificantes: 5,25 % APS-Aislado de proteína de soja o APL-Aislado de proteína de lactosuero y 0,75 % AG-Agar o CAR-*k*-carragenina. Los geles se caracterizaron según sus propiedades ópticas, de flujo y textura. Los resultados mostraron que todos los geles tuvieron una coloración amarilla-beige, especialmente aquellos con APL. Por otro lado, todos los geles presentaron una leve caída de la viscosidad en el tiempo, lo cual facilitaría su deglución debido a una baja fluidificación. Además, la dureza de los geles fue < 600 N/m², considerándose adecuada para las necesidades deglutorias de las personas mayores. En conclusión, el uso de mezclas de hidrocoloides permite obtener geles basados en nanoemulsiones con propiedades de flujo y texturales adecuadas para una deglución fácil

y segura, lo cual permitiría el desarrollo de alimentos adaptados a los requerimientos sensoriales de las personas mayores.

Palabras clave: agentes gelificantes, propiedades de flujo, textura.

ABSTRACT

Due to the increase in the elderly population (> 60 years), the food industry has as challenge to design foods for this population group, considering the swallowing changes that occur because of aging. Therefore, this work aimed to evaluate the effect of different hydrocolloid mixtures on the physical properties of gels based on nanoemulsions. Four samples were prepared using a base nanoemulsion (194 nm) with different mixtures of gelling agents: 5.25 % APS-Soy Protein Isolate or APL-Whey Protein Isolate and 0.75 % AG-Agar or CAR-*k*-carrageenan. The gels were characterized according to their optical, flow, and texture properties. The results showed that all gels had a yellow-beige color, especially those with APL. On the other hand, all the gels showed a slight drop in viscosity over time, which would facilitate their swallowing due to low fluidization. Furthermore, the hardness of the gels was < 600 N/m², which is considered adequate for the swallowing needs of older people. In conclusion, using hydrocolloid mixtures allows us to obtain gels based on nanoemulsions with flow and textural characteristics suitable for easy and safe swallowing, enabling the development of foods adapted to the sensory requirements of older people.

Keywords: gelling agents, flow properties, texture.

RESUMO

Devido ao aumento da população idosa (> 60 anos), a indústria alimentícia tem o desafio de elaborar alimentos para essa faixa etária considerando as alterações de deglutição que ocorrem em decorrência do envelhecimento. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes misturas de hidrocolóides nas propriedades físicas de géis à base de nanoemulsões. Foram preparadas 4 amostras utilizando uma nanoemulsão base (194 nm) com diferentes misturas de agentes gelificantes: 5,25 % APS-Proteína Isolada de Soja ou APL-Isolado Protéico de Soro de leite e 0,75 % AG-Agar ou CAR-*k*-carragenina. Os géis foram caracterizados quanto às suas propriedades ópticas, de fluxo e de textura. Os resultados mostraram que todos os géis apresentaram coloração bege-amarelada, principalmente aqueles com APL. Por outro lado, todos os géis apresentaram leve queda de viscosidade ao longo do tempo, o que facilitaria sua deglutição devido à baixa fluidização. Além disso, a dureza dos géis foi < 600 N/m², considerada adequada para as necessidades de deglutição de idosos. Concluindo, a utilização de misturas hidrocolóides permite obter géis à base de nanoemulsões com propriedades de fluxo e textura adequadas para uma deglutição fácil e segura, o que permitiria o desenvolvimento de alimentos adaptados às necessidades sensoriais dos idosos.

Palavras-chave: agentes gelificantes, propriedades de fluxo, textura.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el mundo ha experimentado un aumento de la población mayor a 60 años. Tal es así que se espera que este grupo etario tenga un crecimiento del 22 % para el año 2050 (Organización Mundial de la Salud, 2021), lo que corresponde a 2.100 millones de habitantes. Esta situación conlleva a cambios relacionados con la calidad de vida y la aparición de enfermedades asociadas al envejecimiento, como la disfagia (Wirth et al., 2016), la cual puede disminuir la eficiencia de la deglución, provocando un mayor riesgo de neumonía por aspiración y asfixia (Barrón-Pavón et al., 2020). Además, las personas mayores tienen con frecuencia una mala dentadura o utilizan prótesis dentales, lo que disminuye su rendimiento masticatorio (Bayram et al., 2021). Por lo tanto, es fundamental que el diseño de alimentos para este grupo de la población considere los cambios fisiológicos bucales que ocurren durante el envejecimiento, con el fin de obtener una alimentación segura y satisfactoria.

Desde el punto de vista tecnológico, se han planteado diversas estrategias para el diseño de alimentos destinados a las personas mayores, como el desarrollo de alimentos con textura modificada (ATM), los cuales presentan una textura suave y húmeda y, además, son fáciles de masticar y tragar, provocando que el proceso de deglución sea más lento, seguro y eficiente (Munialo et al., 2020). Dentro de los ATM, los geles basados en nanoemulsión (del tipo gel débil) tienen un gran potencial (Fontes-Candia et al., 2020), ya que presentan una estructura semisólida flexible que contiene una gran cantidad de líquido en los espacios intersticiales de las cadenas poliméricas (Wanasingha et al., 2021). De esta forma, estas matrices alimentarias se distinguen por tener un alto contenido de humedad y una textura suave, sin ser muy adhesiva (León et al., 2018), características adecuadas para las necesidades deglutorias de las personas mayores.

Diversas investigaciones se han llevado a cabo respecto a la obtención de geles basados en emulsiones (Farjami y Madadlou, 2019; Lu et al., 2019; Lin et al., 2020; Wan et al., 2023), donde la mayoría se ha enfocado en el desarrollo de geles utilizando nuevas fuentes de agentes gelificantes, especialmente polisacáridos, como la semilla de *Artemisia sphaerocephala* (Yue et al., 2022), la semilla de *Plantago ovata* (Zhou et al., 2022), entre otros.

Otras fuentes de proteínas han sido estudiadas para garantizar una mayor sostenibilidad medioambiental, especialmente aquellas de origen vegetal (Fasolin et al., 2019). Sin embargo, presentan deficiencias en sus propiedades gelificantes debido a las diferencias en su composición aminoacídica, estructura secundaria e interacciones moleculares en comparación con su contraparte de origen animal (Gómez-Mascaraque y Pinho, 2021). Por esta razón, es necesario estudiar el uso de mezclas proteínas-polisacáridos como agentes gelificantes con el fin de mejorar sus propiedades funcionales y, con ello, permitir el desarrollo de geles proteicos suaves y de fácil deglución para las personas mayores.

Estudios previos de nuestro grupo de investigación han demostrado que las propiedades físicas de los geles basados en nanoemulsión se pueden modular de acuerdo al tipo y la concentración de hidrocoloides (Riquelme et al., 2023). También, Lin et al. (2021) han utilizado mezclas alginato/proteína de lactosuero (APL) y proteína de soja (APS) para la elaboración de geles basados en emulsión con licopeno, encontrando que la adición de APL promovió la formación de interacciones moleculares más

fuerteres con el alginato en comparación con el APS. Además, los geles con alginato/APL presentaron un mayor módulo de Young, lo que retrasó la liberación del licopeno durante el proceso de digestión *in vitro*. Por otro lado, Ma et al. (2022) obtuvieron geles basados en emulsión con alicina utilizando una mezcla de proteína de soja y goma arábica, estudiando el efecto de un pre-tratamiento por ultrasonido. Los autores revelaron que el ultrasonido mejoró significativamente la capacidad de retención de agua, la dureza, la viscosidad y el módulo de Young de los geles debido a la formación de una estructura de red más homogénea y densa. Por lo tanto, estos estudios indican que se pueden obtener geles con diferentes propiedades físicas (reológicas y de textura), dependiendo de la mezcla de hidrocoloides utilizada, lo cual puede ser útil para el desarrollo de alimentos con textura modificada.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar geles basados en nanoemulsión utilizando mezclas de hidrocoloides (proteínas: de lactosuero y soja, y polisacáridos: agar y *k*-carragenina), evaluando su color, viscosidad aparente y fuerza de gel con el fin de obtener matrices alimentarias que sirvan para mitigar los problemas deglutorios de las personas mayores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

Los geles basados en nanoemulsión se prepararon con: aceite de canola (Belmont, Watts S.A., Chile) como fase lipídica; y lecitina de soja (Metarin-P Cargill, Blumos S.A., Chile), almidón modificado (Capsul®, Ingredion, EE.UU.) y polisorbato 80 de grado alimentario (P1754, Sigma-Aldrich®, EE.UU.) como emulsificantes; agua purificada, obtenida de un sistema de filtración por osmosis inversa (Vigaflow S.A., Chile), como fase acuosa; y aislado de proteínas de lactosuero-APL (88 % b.s., Provon 292, Blumos, Chile), aislado de proteína de soja-APS (90 % b.s., Angelini Organics SPA, Chile), agar (Tractor Bean, Chile) y *k*-carragenina (Sabores y Fragancias Comercial Ltda., Chile) como agentes gelificantes.

Elaboración de los geles basados en nanoemulsión

Preparación de nanoemulsión base

La nanoemulsión (NE) base se preparó siguiendo las siguientes etapas: i) primero, se dispersaron los emulsificantes (0,5 % p/p polisorbato 80, 1 % p/p Capsul® y 6,5 % p/p lecitina de soja) en agua purificada (82 % p/p) mediante agitación magnética (MS-H280-Pro, DLAB, China) a 500 rpm durante 60 min. ii) Luego, se preparó una pre-emulsión dispersando la fase lipídica (10 % p/p aceite de canola) en la fase acuosa mediante una homogeneización de alta velocidad (Ultraturrax T25D, IKA, Alemania) a 12.000 rpm por 30 min. iii) Finalmente, para disminuir el tamaño de gota y obtener la nanoemulsión base, la pre-emulsión se sometió a un proceso de homogeneización por altas presiones (J04010078, SPX, Dinamarca), aplicando una presión igual a 700 bar durante 5 ciclos.

La NE base presentó un tamaño de gota igual a 194 ± 3 nm y un índice de polidispersión de $0,13 \pm 0,04$, valores que fueron determinados a través de un equipo de Dispersión Dinámica de la Luz (Zetasizer, NanoS90, Malvern Instruments, Reino Unido). Además, se evaluó la estabilidad física de la NE base durante el almacenamiento (35 días a 5 °C), mediante el índice de cremado (IC) (McClements, 2015), obteniendo valores igual a $3,8 \pm 0,18$ % después de 35 días de almacenamiento, lo que indicó una buena estabilidad física de la NE base.

Preparación de geles basados en nanoemulsión

Los geles basados en nanoemulsión se prepararon con una mezcla de hidrocoloides como agentes gelificantes (proteínas: aislado del lactosuero-APL y aislado de proteína de soja-APS y polisacáridos: *k*-carragenina-CAR y agar-AG), la cual se adicionó a la NE base. La nomenclatura y formulación de las muestras se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1. Nomenclatura y formulación de los diferentes geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides.

Muestra	Tipo y concentración de hidrocoloides (% p/p)		
	Nanoemulsión	Proteína	Polisacárido
APL + CAR	Nanoemulsión 93,28 %	Aislado de proteína de lactosuero (APL) 5,97 %	<i>k</i> -carragenina (CAR) 0,75 %
APL + AG	Nanoemulsión 93,28 %	Aislado de proteína de lactosuero (APL) 5,97 %	Agar (AG) 0,75 %
APS + CAR	Nanoemulsión 93,42 %	Aislado de proteína de soja (APS) 5,83 %	<i>k</i> -carragenina (CAR) 0,75 %
APS + AG	Nanoemulsión 93,42 %	Aislado de proteína de soja (APS) 5,83 %	Agar (AG) 0,75 %

Nota: La concentración de proteína total en los geles fue de 5,25 % p/p y se calculó a través de la concentración en base seca del aislado de proteína de lactosuero (88 % b.s.) y de proteína de soja (90 % b.s.), según el tipo de gel.

Los aislados proteicos (APL y APS) se dispersaron en la NE base mediante agitación magnética (600 rpm, 120 min), y se almacenaron a 4 ± 1 °C por 24 h para una completa hidratación de las proteínas. Una vez finalizado el tiempo en refrigeración, se adicionaron los polisacáridos (0,75 % p/p de agar o *k*-carragenina) a la NE con proteínas y se sometieron a un proceso térmico (90 °C por 30 min) con agitación mecánica (50 rpm) en un baño termorregulado (WB14, Memmert, Alemania). El sol (pre-gel) obtenido se enfrió a temperatura ambiente (25 °C) en recipientes de plástico cerrados y se almacenaron en refrigeración a 4 ± 1 °C por 24 h para su posterior caracterización. Cabe destacar que se prepararon al menos dos lotes de cada gel basado en nanoemulsión para su posterior caracterización.

Caracterización de los geles basados en nanoemulsión

Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de los geles se determinaron mediante un colorímetro (MiniScan XE Plus, HunterLab, EE.UU.), donde se obtuvieron los parámetros del espacio de color CIE*Lab*. Antes de comenzar las mediciones, el colorímetro se calibró utilizando un fondo blanco y negro. Luego, se añadieron 25 g de cada muestra en placas Petri transparentes cubriendo toda la superficie de la placa de forma uniforme. Se obtuvieron los valores de los parámetros L^* (claridad), a^* (componente rojo-verde) y b^* (componente azul-amarillo), y se calculó el índice de blancura (IB) utilizando la Ecuación 1 propuesta por Ullah et al. (2018).

$$IB (\%) = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

Comportamiento de flujo

Las propiedades reológicas de los geles se caracterizaron en un reómetro rotacional (Rheolab QC, Anton Paar, Austria), equipado con una geometría de cilindros concéntricos (CC27, Anton Paar, Austria). Para ello, las muestras (~12 g) se cargaron en la geometría de medición y se dejaron reposar durante 10 min para estabilizar su estructura y alcanzar la temperatura del ensayo (37 °C). Se realizaron dos ensayos: (i) la curva de viscosidad a una velocidad de cizalla creciente (1-100 s⁻¹) durante 60 s a 37 °C, desde donde se obtuvieron los valores de viscosidad aparente a distintas velocidades de cizalla (10, 50 y 100 s⁻¹); y (ii) el ensayo de destrucción estructural al registrar la caída de la viscosidad durante 60 s a una velocidad de cizalla constante de 50 s⁻¹. Se eligió esta velocidad de cizalla ya que se correlaciona con la cizalla en boca (He et al., 2016; Laguna et al., 2020). Las curvas de la caída de la viscosidad se ajustaron a un modelo de segundo orden planteado por Nguyen et al. (1998) (Ecuación 2), con el propósito de determinar la cinética de destrucción estructural de los geles.

$$\left(\frac{[\eta_0 - \eta_e]}{[\eta - \eta_e]} \right) = kt + 1 \quad (2)$$

Donde η_0 es la viscosidad aparente al $t = 0$, η_e es la viscosidad aparente en el equilibrio $t \rightarrow \infty$, k es la constante de velocidad de destrucción estructural y t es el tiempo de cizallamiento.

Fuerza de gel

Para determinar la dureza de los geles se aplicó un análisis de compresión utilizando un texturómetro (Z0.5, Zwick, Alemania). Este análisis consiste en la compresión perpendicular de la muestra hasta un 20 % de su altura original, obteniéndose una curva de fuerza de compresión en el tiempo a partir de la cual se determinó el parámetro dureza (fuerza de gel/área). Para ello, se utilizó una sonda de 5 cm de diámetro y una

velocidad de 0,1 mm/s. Cabe destacar que todos los geles tenían la misma forma cilíndrica (3,6 cm de diámetro y 1,25 cm de altura) antes de la compresión.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (tipo de polisacárido y tipo de proteína) y un post-test de Tukey ($\alpha = 0,05$) con el fin de determinar las diferencias significativas existentes entre las muestras para los diferentes parámetros evaluados, utilizando el programa XLSTAT (Lumivero, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades ópticas de los geles basados en nanoemulsión

Las propiedades ópticas de los geles pueden proporcionar información útil sobre la microestructura y la disposición de las gotas de aceite en la estructura del gel (Li et al., 2021). Primero, se determinaron los parámetros CIE_{Lab} y el índice de blancura (IB) de los diferentes agentes gelificantes estudiados (en polvo) (Tabla 2), observándose diferencias significativas ($p < 0,05$) según el tipo de proteína, donde el APS presentó un color intrínseco más amarillo que el APL. Respecto a los polisacáridos, también se observaron diferencias ($p < 0,05$) en los parámetros L^* , a^* y b^* ; sin embargo, tanto CAR como AG presentaron valores similares de IB, indicando una coloración menos blanquecina.

Respecto a los geles basados en nanoemulsiones, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) debido principalmente al tipo de proteína (Tabla 2). Los valores del parámetro L^* fueron significativamente ($p < 0,05$) más altos en los geles elaborados con APS que en aquellos que contenían APL, lo cual fue independiente del tipo de polisacárido (Tabla 2). Este comportamiento puede responder a las diferencias estructurales que presentan los geles elaborados con ambas proteínas. Según Alves y Tavares (2019), las proteínas presentes en el APS (especialmente la glicinina) tienen la capacidad de formar agregados densos e insolubles durante la formación del gel, los cuales podrían provocar la formación de una estructura compacta que presente una mayor reflectancia de la luz y, por lo tanto, una mayor claridad del gel (Li et al., 2021). En cambio, los geles elaborados con APL se caracterizan por poseer una estructura de red más ordenada debido a la formación de filamentos y estructuras lineales unidas por enlaces disulfuro (Khalesi et al., 2021), que podrían reflejar menos luz (Chantrapornchai y McClements, 2002).

Respecto a los parámetros a^* y b^* , también se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras según el tipo de proteína (Tabla 2), donde los geles con APL presentaron los valores más altos de a^* y b^* , independiente del tipo de polisacárido, lo que indicó una coloración más amarillenta-beige (Figura 1). Esto se puede atribuir a un pardeamiento del gel durante el tratamiento térmico debido a la reacción de Maillard entre la lactosa residual y los aminoácidos con grupo amino del aislado de proteína de suero (Wang et al., 2020). Finalmente, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores del índice de blancura (IB), según el tipo de proteína (Tabla 2). Los geles elaborados

con APL presentaron los valores más bajos de IB; en cambio, los geles con APS presentaron valores significativamente mayores en este parámetro, lo cual está de acuerdo con lo observado en la Figura 1.

TABLA 2. Propiedades ópticas de los geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides.

Muestra	L^*	a^*	b^*	IB (%)
APL materia prima	89,8 ± 2,2 ^a	6,9 ± 3,7 ^b	13,0 ± 1,3 ^c	81,8 ± 0,8 ^a
APS materia prima	84,8 ± 0,8 ^b	4,5 ± 0,03 ^b	16,6 ± 0,4 ^b	77,1 ± 0,2 ^{ab}
CAR materia prima	82,0 ± 0,6 ^c	19,4 ± 1,3 ^a	6,9 ± 0,5 ^d	72,6 ± 1,2 ^b
AG materia prima	87,1 ± 0,6 ^a	-10,6 ± 4,8 ^e	19,9 ± 2,2 ^a	73,9 ± 3,4 ^b
APL + CAR	81,3 ± 0,4 ^c	-0,03 ± 0,01 ^c	17,7 ± 0,5 ^b	74,3 ± 0,1 ^b
APL + AG	81,9 ± 0,7 ^c	0,14 ± 0,03 ^c	17,4 ± 0,2 ^b	74,9 ± 0,3 ^b
APS + CAR	85,4 ± 0,3 ^b	-1,03 ± 0,06 ^d	12,2 ± 0,1 ^c	80,8 ± 0,1 ^a
APS + AG	84,8 ± 0,2 ^b	-0,80 ± 0,02 ^d	12,7 ± 0,5 ^c	80,2 ± 0,5 ^a

Nota: APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: *k*-carragenina, AG: agar, L^* : claridad, a^* : componente rojo-verde, b^* : componente azul-amarillo, IB: índice de blancura. Cada valor representa la media ± SD. Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras (test de Tukey; $p < 0,05$).

Finalmente, el color de las matrices alimentarias es de suma importancia para el desarrollo de alimentos aceptados sensorialmente, ya que los geles blanquecinos permiten la adición de una amplia gama de aditivos alimentarios (colorantes y saborizantes), con el fin de mejorar su calidad sensorial y aceptación por las personas mayores (Aguilera y Park, 2016).

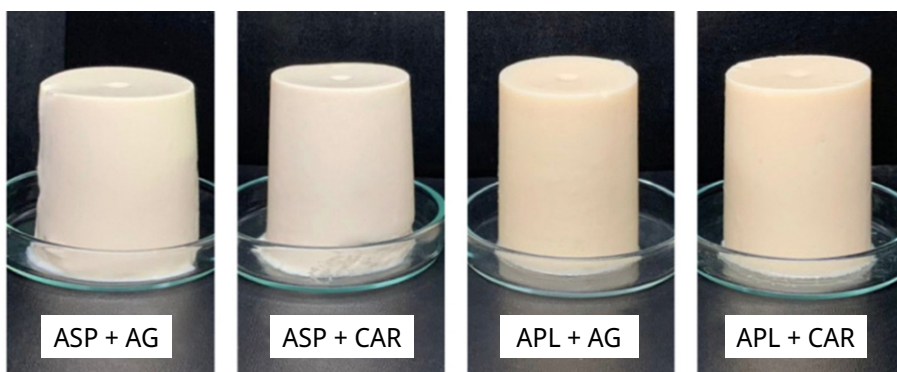


FIGURA 1. Fotografías de los geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides. Nota: APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: *k*-carragenina, AG: agar.

Comportamiento de flujo

La Figura 2 muestra las curvas de viscosidad aparente *versus* la velocidad de cizalla, donde se puede observar una disminución de los valores de viscosidad al aumentar la velocidad de cizalla en todos los geles, indicando un comportamiento No-Newtoniano del tipo pseudoplástico (Cui et al., 2022). Este comportamiento puede deberse a que el cizallamiento provoca la destrucción parcial de la estructura del gel, reduciendo su resistencia al flujo y, por lo tanto, su viscosidad aparente (Ikeda y Foegeding, 1999; Liang et al., 2020). Este tipo de comportamiento es ideal para el desarrollo de alimentos de fácil deglución ya que estos alimentos son más seguros y fáciles de tragar en comparación con los de comportamiento Newtoniano, los cuales al ser más fluidos representan un mayor riesgo de aspiración durante su consumo por personas con problemas de deglución (Torrez-Ortiz et al., 2022).

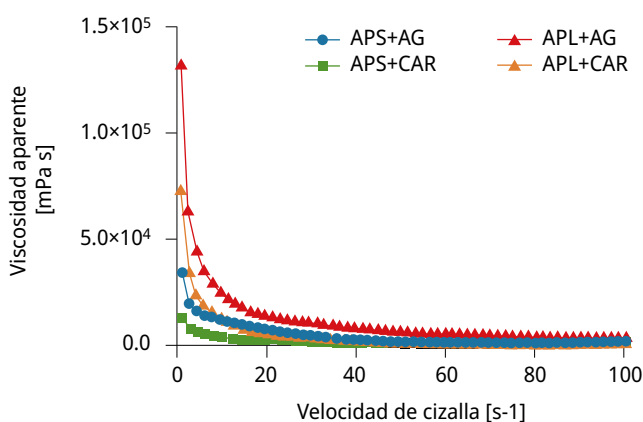


FIGURA 2. Curva de viscosidad durante el cizallamiento para los distintos geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides. Nota: APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: *k*-carragenina, AG: agar.

Con el fin de comparar las muestras se determinó la viscosidad aparente a diferentes velocidades de cizalla (10, 50 y 100 s⁻¹), donde se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras, según el tipo de proteína y polisacárido (Tabla 3). De forma general, los geles elaborados con APL presentaron valores de viscosidad aparente más altos que aquellos con APS, a todas las velocidades de cizalla estudiadas. Este resultado indicaría que el APL presenta interacciones proteína-proteína más fuertes que el APS (Lin et al., 2021), lo que aumenta la resistencia a fluir de los geles. Las interacciones moleculares del APL se deben a la presencia del grupo tiol libre (-SH) en su composición aminoacídica, lo cual facilita la agregación y gelificación de las proteínas desnaturalizadas (Zhang et al., 2023). En cambio, el APS presenta interacciones proteína-proteína débiles debido a la ausencia de aminoácidos azufrados en su composición (Qin et al., 2022).

De igual forma, los geles que contenían AG presentaron una viscosidad aparente mayor que los con CAR, para todas las velocidades de cizalla estudiadas (Tabla 3). Esto se puede deber a que el AG, al enfriarse, tiende a formar geles rígidos

y fuertes debido a su estructura molecular (β -1,3-ligado-D-galactosa y α -1,4-ligado 3,6-anhidro-L-galactosa) (Burey et al., 2008), donde las dobles hélices de sus cadenas se comienzan a asociar y agregar durante el enfriamiento dando lugar a estructuras de red más fuertes (Martínez-Sanz et al., 2020). En cambio, la CAR forma geles más fluidos debido a que tiene menos regiones helicoidales, por lo que durante la agitación se pueden generar cadenas poliméricas no gelificadas en la fase continua (agregados), produciéndose geles no tan uniformes y más débiles (Garrec et al., 2013).

También se puede establecer la hipótesis de que existe una sinergia entre los hidrocoloides, ya que los geles APL+AG presentaron los valores más altos de viscosidad aparente a todas las velocidades de cizalla estudiadas (Tabla 3). En este sentido, la presencia de APL+AG pudo haber actuado de forma sinérgica en la formación de la estructura del gel, ya que las moléculas de agua se unen al AG debido a su naturaleza hidrofílica, lo que reduce el contenido de agua en el sistema proteico. De esta forma, aumenta progresivamente la formación de enlaces disulfuro por las interacciones proteína-proteína (especialmente en la proteína de lactosuero), lo cual contribuye a la formación de una red de gel estable y compacta (Li et al., 2023).

TABLA 3. Viscosidad aparente a diferentes velocidades de cizalla para los distintos geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides.

Muestra	$\eta_{10s^{-1}}$ (mPa s)	$\eta_{50s^{-1}}$ (mPa s)	$\eta_{100s^{-1}}$ (mPa s)
APL + CAR	8493 ± 783 ^{bc}	2113 ± 139 ^b	1631 ± 48 ^b
APL + AG	19636 ± 2820 ^a	5762 ± 297 ^a	2964 ± 101 ^a
APS + CAR	5040 ± 439 ^c	1041 ± 104 ^c	560 ± 21 ^d
APS + AG	10733 ± 1891 ^b	2221 ± 386 ^b	1128 ± 195 ^c

Nota: η : viscosidad aparente, APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: *k*-carragenina, AG: agar.

Por otro lado, la Figura 3 presenta la caída de la viscosidad aparente al cizallar el gel a 50 s⁻¹ durante 60 s, como medida del grado de destrucción estructural. En general, se evidenció que los geles presentaron un grado similar de destrucción estructural, observándose cambios menores en los valores de viscosidad aparente durante el tiempo de cizalla (Figura 3). Mezger (2014) ha mencionado que los sistemas coloidales alimentarios, como cremas, dispersiones y geles, presentan cierto grado de destrucción estructural durante el cizallamiento en el tiempo debido a que las moléculas de proteínas y polisacáridos se despliegan y orientan en dirección al flujo, reduciendo su resistencia a fluir, tal como se observó en este trabajo.

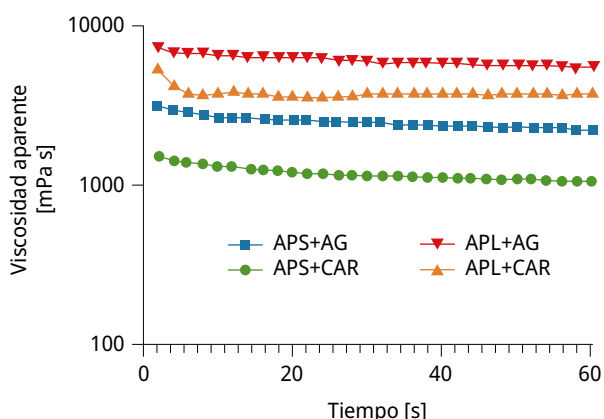


FIGURA 3. Curva de la caída de la viscosidad en el tiempo de los distintos geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides. Nota: APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: *k*-carragenina, AG: agar.

Las curvas de viscosidad aparente durante el tiempo se ajustaron a un modelo de destrucción estructural (R^2 : 0,98-0,99), encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$) en los parámetros cinéticos (η_0 viscosidad aparente inicial, η_e viscosidad aparente en el equilibrio y k constante de velocidad de destrucción estructural) entre los geles con diferente composición (Tabla 4). Cabe destacar que la muestra APL-CAR no tuvo un buen ajuste al modelo de destrucción estructural ($R^2 < 0,2$), por lo cual no se determinaron sus parámetros cinéticos. Como era de esperar, los geles presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de viscosidad aparente inicial (η_0), lo cual concuerda con los resultados anteriores (Figura 3). Las muestras APL + AG y APS + AG presentaron los mayores valores de η_0 , lo cual se puede deber a un sinergismo del agar en la reología de los geles.

Se ha observado que la presencia de algunos polisacáridos (agar, goma gelana y metilcelulosa) provoca modificaciones en la microestructura de los geles mixtos (proteína-polisacárido), formándose estructuras mucho más heterogéneas en comparación con los geles solo de proteínas, lo cual aumenta la fuerza del gel (Ryu y McClements, 2024) y, por lo tanto, su viscosidad aparente inicial. Por otro lado, los geles elaborados con APS presentaron una mayor velocidad de destrucción estructural (k), independiente del tipo de polisacárido. Esto se puede atribuir a la formación de una estructura menos firme en los geles con APS debido a la formación de interacciones más débiles entre las cadenas proteicas (Lin et al., 2021), lo cual generó una destrucción más rápida de su estructura debido al cizallamiento, provocando una leve fluidificación de su estructura en el tiempo. Respecto a la viscosidad en el equilibrio (η_e), se observaron menores valores en los geles con APS, especialmente aquellos con CAR (Tabla 4). No obstante, a pesar de estas diferencias en los parámetros cinéticos, no se observaron grandes cambios en los valores de viscosidad durante el tiempo de cizallamiento en cada gel estudiado, lo cual representa una ventaja para el desarrollo de alimentos para las personas mayores, ya que un efecto muy fluidificante durante el consumo (disminución drástica de la viscosidad) puede aumentar el riesgo de aspiración en pacientes con disfagia (Giura et al., 2021).

TABLA 4. Parámetros cinéticos del modelo de destrucción estructural de segundo orden para los distintos geles basados en nanoemulsión, elaborados con mezclas de hidrocoloides como agentes gelificantes.

Muestra	η_0 (mPa)	k (s ⁻¹)	η_e (mPa)
APL + CAR	NA	NA	NA
APL + AG	7411 ± 164 ^a	0,04 ± 0,01 ^b	4818 ± 106 ^a
APS + CAR	1569 ± 25 ^c	0,08 ± 0,01 ^a	897 ± 65 ^c
APS + AG	3236 ± 188 ^b	0,08 ± 0,01 ^a	1863 ± 123 ^b

Nota: η_0 : viscosidad aparente al $t = 0$, η_e : viscosidad aparente en el equilibrio $t \rightarrow \infty$, k : constante de velocidad de destrucción estructural. NA: no se ajustó al modelo. APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: k -carragenina, AG: agar.

Fuerza de gel

Se determinó la fuerza de los geles basados en nanoemulsión a través de un ensayo de compresión, donde el punto máximo de la curva corresponde a la fuerza necesaria para deformar la matriz (Peleg, 2019). En general, se puede observar que el punto máximo de la curva ocurrió aproximadamente a los 20 s del ensayo en todas las muestras (Figura 4). Además, no se observó fracturabilidad en los geles, indicando que estas matrices se pueden considerar geles suaves (Zang et al., 2023).

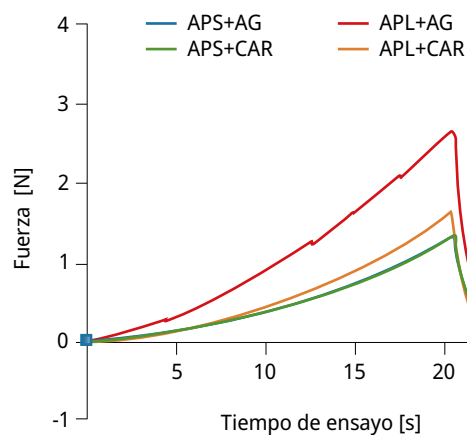


FIGURA 4. Fuerza de gel de los distintos geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides. Nota: APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: k -carragenina, AG: agar.

A partir de la curva de fuerza de gel, se determinaron los valores del parámetro dureza (Figura 5). En primer lugar, se identificó que el tipo de proteína utilizada tuvo

un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la dureza de los geles, donde los geles con APL exhibieron los mayores valores (509-586 N/m²) en comparación con los elaborados con APS (354-363 N/m²) (Figura 5). Tal como se mencionó anteriormente, esta tendencia se puede deber a las diferencias en las interacciones proteicas durante la gelificación de las muestras. En el caso de los geles con APL, predominan las interacciones hidrofóbicas y los enlaces de puente disulfuro, los cuales aumentan la resistencia del gel (Alavi et al., 2018). Mientras que los geles de APS presentan interacciones débiles entre sus cadenas, lo cual reduce la rigidez de la red del gel (Siegwein et al., 2011).

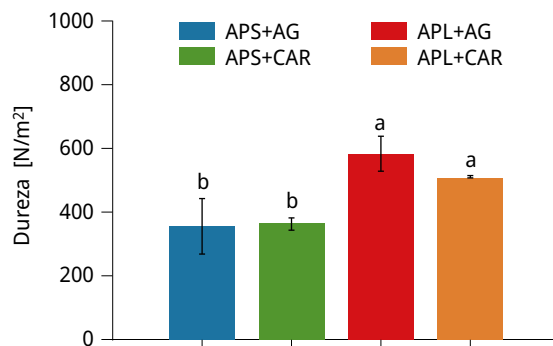


FIGURA 5. Dureza de los distintos geles basados en nanoemulsión elaborados con mezclas de hidrocoloides. Nota: APS: aislado de proteína de soja, APL: aislado de proteína de lactosuero, CAR: *k*-carragenina, AG: agar.

Respecto a lo establecido por la International Dysphagia Diet Standardization Initiative (IDDSI), la dureza obtenida (< 1500 N/m²) (Wada et al., 2017) en todos los geles basados en nanoemulsión corresponde a una textura de un alimento que no requiere masticación, donde la compresión con la lengua es suficiente para romperlo (Cichero, 2019), lo cual facilita su deglución. Por lo tanto, estos geles podrían servir para el desarrollo de alimentos de fácil deglución destinados a las personas mayores.

CONCLUSIONES

En este estudio se obtuvieron geles basados en nanoemulsión a partir del uso de diferentes mezclas de hidrocoloides (aislado de proteína de soja, aislado de proteína de lactosuero, agar y *k*-carragenina) como agentes gelificantes. Los resultados demostraron que las propiedades físicas de los geles son afectadas por la naturaleza del hidrocoloide y sus interacciones intermoleculares. En relación con las propiedades ópticas, todos los geles presentaron un índice de blancura sobre el 74 %, lo cual podría permitir la adición de colorantes que mejoren su calidad sensorial. Por otro lado, los geles mostraron valores de viscosidad aparente que lo categorizan como un alimento espeso que no requiere masticación. Además, presentaron una leve caída de la viscosidad producto del cizallamiento, lo cual podría disminuir los riesgos por aspiración

en las personas mayores. La dureza de los geles es idónea para un consumo seguro, siendo adecuado para las necesidades deglutorias de las personas mayores.

Finalmente, el uso de mezclas de agentes gelificantes permite obtener geles basados en nanoemulsión con características reológicas y texturales adecuadas para una deglución fácil y segura, donde estas características favorecen el desarrollo de postres tipo "flan" adaptados a los requerimientos sensoriales de las personas mayores, lo que podría contribuir a la mejora de su calidad de vida.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Chile) por el financiamiento de esta investigación, mediante el proyecto FONDECYT Regular N° 1231555, dirigido por la Dra. Carla Arancibia. También agradecen a la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Creación (VRIIC, USACH, Chile) por el contrato de investigación USA2155_Dicyt de la Dra. Natalia Riquelme. Por último, se agradece al Dr. Rommy Zúñiga (Universidad Tecnológica Metropolitana) por facilitar el equipo texturómetro para los ensayos de TPA.

REFERENCIAS

- Aguilera, J. M. y Park, D., 2016. Texture-modified foods for the elderly: status, technology and opportunities. En: *Trends in Food Science and Technology*, 57, pp. 156-164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.001>
- Alavi, F.; Momen, S.; Emam-Djomeh, Z.; Salami, M. y Moosavi-Movahedi, A. A., 2018. Radical cross-linked whey protein aggregates as building blocks of non-heated cold-set gels. En: *Food Hydrocolloids*, 81, pp. 429-441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.016>
- Alves, A. C. y Tavares, G. M., 2019. Mixing animal and plant proteins: Is this way to improve protein techno-functionalities? En: *Food Hydrocolloids*, 97, 105171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.016>
- Barrón-Pavón, V.; Artiaga Núñez, C.; Higuera Espinoza, V.; Rodríguez-Fernández, A.; García-Flores, V.; Sanhueza-Garrido, M. y González-Stager, A., 2020. Ingesta alimentaria y presbifagia en adultos mayores activos de la comunidad de Chillán, Chile. En: *Revista Chilena de Nutrición*, 47, pp. 580-587. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-75182020000400580>
- Bayram, H. M.; Ilgaz, F.; Serel Arslan, S.; Demir, N. y Rakıcioğlu, N., 2021. The relationship between dysphagia, oral health, masticatory performance and activities of daily living in elderly individuals as assessed by the eating assessment tool. En: *Progress in Nutrition*, 23, pp. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.23751/pn.v23i1.9101>
- Burey, P.; Bhandari, B.; Howes, T. y Gidley, M. J., 2008. Hydrocolloid gel particles: formation, characterization, and application. En: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, pp. 361-377. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390701347801>

- Chantrapornchai, W. y McClements, D. J., 2002. Influence of NaCl on optical properties, large-strain rheology and water holding capacity of heat-induced whey protein isolate gels. En: *Food Hydrocolloids*, 16, pp. 467-476. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00124-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00124-2)
- Cichero, J. A. Y., 2019. Evaluating chewing function: expanding the dysphagia field using food oral processing and the IDDSI framework. En: *Journal of Texture Studies*, 51, pp. 56-66. DOI: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12462>
- Cui, Y.; Li, C.; Guo, Y.; Liu, X.; Zhu, F.; Liu, Z.; Liu, X. y Yang, F., 2022. Rheological & 3D printing properties of potato starch composite gels. En: *Journal of Food Engineering*, 313, 110756. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2021.110756>
- Farjami, T. y Madadlou, A., 2019. An overview on preparation of emulsion-filled gels and emulsion particulate gels. En: *Trends in Food Science & Technology*, 86, pp. 85-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.043>
- Fasolin, L. H.; Pereira, R. N.; Pinheiro, A. C.; Martins, J. T.; Andrade, C. C. P.; Ramos, O. L. y Vicente, A. A., 2019. Emergent food proteins—Towards sustainability, health and innovation. En: *Food Research International*, 125, 108586. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108586>
- Fontes-Candia, C.; Ström, A.; Lopez-Sanchez, P.; López-Rubio, A. y Martínez-Sanz, M., 2020. Rheological and structural characterization of carrageenan emulsion gels. En: *Algal Research*, 47, 101873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101873>
- Garrec, D. A.; Guthrie, B. y Norton, I. T., 2013. Kappa carrageenan fluid gel material properties. Part 1: rheology. En: *Food Hydrocolloids*, 33, pp. 151-159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.014>
- Giura, L.; Urtasun, L.; Belarra, A.; Ansorena, D. y Astiasarán, I., 2021. Exploring tools for designing dysphagia-friendly foods: A review. En: *Foods*, 10, 1334. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10061334>
- Gómez-Mascaraque, L. G. y Pinho, S. C., 2021. Microstructural analysis of whey/soy protein isolate mixed gels using confocal Raman microscopy. En: *Foods*, 10, 2179. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092179>
- He, Q.; Hort, J. y Wolf, B., 2016. Predicting sensory perceptions of thickened solutions based on rheological analysis. En: *Food Hydrocolloids*, 61, pp. 221–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2016.05.010>
- Ikeda, S. y Foegeding, E. A., 1999. Dynamic viscoelastic properties of thermally induced whey protein isolate gels with added lecithin. En: *Food Hydrocolloids*, 13, pp. 245-254. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(99\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(99)00006-5)
- Khalesi, H.; Sun, C.; He, J.; Lu, W. y Fang, Y., 2021. The role of amyloid fibrils in the modification of whey protein isolate gels with the form of stranded and particulate microstructures. En: *Food Research International*, 140, 109856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109856>
- Laguna, L.; Manickam, I.; Arancibia, C. y Tárrega, A., 2020. Viscosity decay of hydrocolloids under oral conditions. En: *Food Research International*, 136, 109300. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109300>
- León, A. M.; Medina, W. T.; Park, D. J. y Aguilera, J. M., 2018. Properties of microparticles from a whey protein isolate/alginate emulsion gel. En: *Food Science and Technology International*, 24, pp. 414-423. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013218762210>

- Li, Y.; Kang, Z.; Sukmanov, V. y Ma, H., 2021. Effects of soy protein isolate on gel properties and water holding capacity of low-salt pork myofibrillar protein under high pressure processing. En: *Meat Science*, 176, 108471.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108471>
- Li, M.; Hou, X.; Lin, L.; Jiang, F.; Qiao, D. y Xie, F., 2023. Legume protein/polysaccharide food hydrogels: Preparation methods, improvement strategies and applications. En: *International Journal of Biological Macromolecules*, 243, 125217.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125217>
- Liang, X.; Ma, C.; Yan, X.; Zeng, H.; McClements, D. J.; Liu, X. y Liu, F., 2020. Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium ions. En: *Food Hydrocolloids*, 102, 105569. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.FOODHYD.2019.105569>
- Lin, D.; Kelly, A. L. y Miao, S., 2020. Preparation, structure-property relationships and applications of different emulsion gels: Bulk emulsion gels, emulsion gel particles, and fluid emulsion gels. En: *Trends in Food Science & Technology*, 102, pp. 123-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.024>
- Lin, D.; Kelly, A. L.; Maidannyk, V. y Miao, S., 2021. Effect of structuring emulsion gels by whey or soy protein isolate on the structure, mechanical properties, and in-vitro digestion of alginate-based emulsion gel beads. En: *Food Hydrocolloids*, 110, 106165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106165>
- Lu, Y.; Mao, L.; Hou, Z.; Miao, S. y Gao, Y., 2019. Development of emulsion gels for the delivery of functional food ingredients: From structure to functionality. En: *Food Engineering Reviews*, 11, pp. 245-258. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09194-z>
- Lumivero, 2023. *XLSTAT Statistical and data analysis solution*. Vers. 2023.2.1414. Paris: Lumivero.
- Ma, C.; Li, S.; Yin, Y.; Xu, W.; Xue, T.; Wang, Y.; Liu, X. y Liu, F., 2022. Preparation, characterization, formation mechanism and stability of allicin-loaded emulsion gel. En: *LWT*, 161, 113389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113389>
- McClements, D. J., 2015. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. Boca Ratón: CRC Press.
- Martínez-Sanz, M.; Ström, A.; Lopez-Sanchez, P.; Knutsen, S. H.; Ballance, S.; Zobel, H.; Sokolova, A.; Gilbert, E. P. y López-Rubio, A., 2020. Advanced structural characterisation of agar-based hydrogels: Rheological and small angle scattering studies. En: *Carbohydrate Polymers*, 236, 115655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115655>
- Mezger, T. G., 2014. Rotational test. Cap. 3. En: Mezger, T. *The rheology book*. Hanover: Vincentz Network. pp. 29-73.
- Munialo, C. D.; Kontogiorgos, V.; Euston, S. R. y Nyambayo, I., 2020. Rheological, tribological and sensory attributes of texture-modified foods for dysphagia patients and the elderly: A review. En: *International Journal of Food Science & Technology*, 55, pp. 1862-1871. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14483>
- Nguyen, Q. D.; Jensen, C. T. B. y Kristensen, P. G., 1998. Experimental and modeling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes. En: *Chemical Engineering Journal*, 70, pp. 165-171. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0923-0467\(98\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0923-0467(98)00081-5)

- Organización Mundial de la Salud, 2021. *Envejecimiento y salud* [En línea]. Ginebra: OMS. [Consulta: xxxxx.]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Peleg, M., 2019. The instrumental texture profile analysis revisited. En: *Journal of Texture Studies*, 50, pp. 362-368. DOI: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>
- Qin, P.; Wang, T. Y Luo, Y., 2022. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. En: *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
- Riquelme, N.; Savignones, C.; López, A.; Zúñiga, R. N. y Arancibia, C., 2023. Effect of gelling agent type on the physical properties of nanoemulsion-based gels. En: *Colloids and Interfaces*, 7, pp. 49. DOI: <https://doi.org/10.3390/colloids7030049>
- Ryu, J. y McClements, D. J., 2023. Impact of heat-set and cold-set gelling polysaccharides on potato protein gelation: gellan gum, agar, and methylcellulose. En: *Food Hydrocolloids*, 149, 109535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109535>
- Siegwein, A. M.; Vodovotz, Y. y Fisher, E. L., 2011. Concentration of soy protein isolate affects Starch-Based confections' texture, sensory, and storage properties. En: *Journal of Food Science*, 76, pp. E422-E428. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02241.x>
- Torrez-Ortiz, K.; Sotelo-Díaz, L. y Caez-Ramírez R., 2022. Mechanical and rheological categorization of food patterns suitable for older adults with swallowing limitation. En: *International Journal of Food Properties*, 25, pp. 2627-2660. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2140811>
- Ullah, I.; Hu, Y.; You, J.; Yin, T.; Xiong, S.; Din, Z. U.; Huang, Q. y Liu, R., 2018. Influence of okara dietary fiber with varying particle sizes on gelling properties, water state and microstructure of tofu gel. En: *Food Hydrocolloids*, 89, pp. 512-522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.006>
- Wada, S.; Kawate, N. y Mizuma, M., 2017. What type of food can older adults masticate: Evaluation of mastication performance using color-changeable chewing gum. En: *Dysphagia*, 32, pp. 636-643. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00455-017-9807-1>
- Wan, C.; Cheng, Q.; Zeng, M. y Huang, C., 2023. Recent progress in emulsion gels: from fundamentals to applications. En: *Soft Matter*, 19, pp. 1282-1292. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2SM01481E>
- Wanasingha, N.; Dorishetty, P.; Dutta, N. K. y Choudhury, N. R., 2021. Polyelectrolyte gels: fundamentals, fabrication and applications. En: *Gels*, 7, pp. 148. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels7030148>
- Wang, Y.; Zhao, J.; Zhang, W.; Liu, C.; Jauregi, P. y Huang, M., 2020. Modification of heat-induced whey protein gels by basic amino acids. En: *Food Hydrocolloids*, 100, 105397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105397>
- Wirth, R.; Dziewas, R.; Beck, A. M.; Clave, P.; Heppner, H. J.; Langmore, S.; Leischker, A.; Martino, R.; Pluschinski, P.; Rösler, A.; Shaker, R.; Warnecke, T.; Sieber, C. C.; Volkert, D. y Hamdy, S., 2016. Oropharyngeal dysphagia in older persons: from pathophysiology to adequate intervention: a review and summary of an international expert meeting. En: *Clinical Interventions in Aging*, 11, pp. 189-208. DOI: <https://doi.org/10.2147/cia.s97481>

- Yue, J.; Chen, X.; Yao, X.; Gou, Q.; Li, D.; Liu, H.; Yao, X. y Nishinari, K., 2022. Stability improvement of emulsion gel fabricated by *Artemisia sphaerocephala* Krasch. polysaccharide fractions. En: *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, pp. 253-260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.069>
- Zang, J.; Pan, X.; Zhang, Y.; Tu, Y.; Xu, H.; Tang, D.; Zhang, Q.; Chen, J. y Yin, Z., 2023. Mechanistic insights into gel formation of egg-based yoghurt: The dynamic changes in physicochemical properties, microstructure, and intermolecular interactions during fermentation. En: *Food Research International*, 172, 113097. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.FOODRES.2023.113097>
- Zhang, L.; Zhang, Z.; Euston, S. R.; Li, B.; Li, E.; Fu, C. y Chen, G., 2023. Structural and gelling properties of whey proteins influenced by various acids: Experimental and computational approaches. En: *Food Hydrocolloids*, 144, 109003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109003>
- Zhou, P.; Wen, L.; Ai, T.; Liang, H.; Li, J. y Li, B., 2022. A novel emulsion gel solely stabilized by the hot water extracted polysaccharide from psyllium husk: Self-healing plays a key role. En: *Food Hydrocolloids*, 130, 107718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107718>