



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

***Caracterización reológica,
viscoelástica y mecánica de crema
de guisante con textura modificada***

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: Castells, María Laura

TUTOR: Talens Oliag, Pau

COTUTORES: Grau Meló, Raúl

Verdú Amat, Samuel

Curso Académico: 2018 – 2019

VALENCIA, 08 DE SEPTIEMBRE DEL 2019

Caracterización reológica, viscoelástica y mecánica de crema de guisante con textura modificada.

Castells, María Laura¹; Verdú Amat, Samuel¹; Grau Meló, Raúl¹; Talens Oliag, Pau¹

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento reológico, viscoelástico y mecánico, así como el potencial efecto que la saliva podría tener durante el proceso de masticación, de una crema de guisante con textura modificada a dos niveles (miel y pudín), usando 10 hidrocoloides, 2 de ellos espesantes comerciales específicos para disfagia. El análisis reológico refleja que todas las muestras exhibieron un comportamiento tixotrópico en el régimen transitorio, y un comportamiento pseudoplástico en el régimen estacionario, presentando las cremas espesadas con pectina los menores valores de índice de consistencia y mayores valores de índice de comportamiento al flujo. El estudio viscoelástico indica que las cremas espesadas con pectina, carboximetilcelulosa, goma tara y goma konjac presentaron una estructura de gel más débil, con mayor contribución del componente viscoso. El análisis mecánico mostró que las cremas espesadas con goma konjac y goma tara obtuvieron la menor dureza, y las cremas espesadas con carboximetilcelulosa y pectina, los menores valores de gomosidad. En el ensayo de simulación de masticación, las cremas espesadas con los hidrocoloides comerciales fueron las más afectadas por la presencia de saliva, con una reducción significativa en la viscosidad aparente a 10 s^{-1} . Los resultados demuestran que es posible optimizar la estructura de cremas de guisantes con textura modificada destinadas a personas con problemas de disfagia utilizando, por ejemplo, carboximetilcelulosa, goma tara y goma konjac ya que aportan mayor componente viscoso, y, por lo tanto, permiten obtener un bolo más fácil de tragar.

PALABRAS CLAVE: disfagia, creep recovery, ensayo oscilatorio, espesantes, saliva.

RESUM

En el present treball es va avaluar el comportament reològic, viscoelàstic i mecànic, així com el potencial efecte que la saliva podria tenir durant el procés de masticació, d'una crema de pèsol amb textura modificada a dos nivells (mel i púding), usant 10 hidrocoloides, 2 d'ells espessidors comercials específics per disfàgia. L'anàlisi reològic reflecteix que totes les mostres van exhibir un

comportament tixotròpic en el règim transitori, i un comportament pseudoplàstic en el règim estacionari, presentant les cremes espessides amb pectina els menors valors d'índex de consistència i majors valors d'índex de comportament al flux. L'estudi viscoelàstic indica que les cremes espessides amb pectina, carboximetilcel·lulosa, goma tara i goma konjac van presentar una estructura de gel més feble, amb major contribució del component viscos. L'anàlisi mecànic va mostrar que les cremes espessides amb goma konjac i goma tara van obtenir la menor duresa, i les cremes espessides amb carboximetilcel·lulosa i pectina, els menors valors de gomositat. En l'assaig de simulació de masticació, les cremes espessides amb els hidrocoloides comercials van ser les més afectades per la presència de saliva, amb una reducció significativa en la viscositat aparent a 10 s^{-1} . Els resultats demostren que és possible optimitzar l'estructura de cremes de pèsols amb textura modificada destinades a persones amb problemes de disfàgia utilitzant, per exemple, carboximetilcel·lulosa, goma tara i goma konjac ja que aporten major component viscos, i, per tant, permeten obtenir un bolo més fàcil d'engollir.

PARAULES CLAU: disfàgia, creep recovery, assaig oscil·latori, espessidor, saliva

ABSTRACT

In this work, rheological, viscoelastic and mechanical behavior of pea-thickened cream at two levels (honey and pudding) using 10 hydrocolloids (2 of them specific commercial thickeners for dysphagia), as well as the potential effect that saliva could have during chewing process, were evaluated. Rheological parameters demonstrated that all samples exhibited a thixotropic behavior in the transient regime, and a shear-thinning behavior in the stationary regime, where thickened creams with pectin presented the lowest consistency index and the higher flow behavior index values. Creams thickened with pectin, carboxymethyl cellulose, tara gum and konjac gum exhibited, in the viscoelastic study, a weaker gel structure, with greater contribution of the viscous component. Mechanical analysis showed that creams thickened with konjac gum and tara gum had the lowest hardness, and those with carboxymethylcellulose and pectin, the lowest gumminess values. In the instrumental mastication assay, creams thickened with commercial hydrocolloids were the most affected by the presence of saliva, with a significant reduction in apparent viscosity at 10 s^{-1} . These results demonstrate that it's possible to optimize the structure of pea-thickened cream for dysphagia, using, for example, carboxymethyl cellulose, tara gum and konjac gum since they provide greater viscous component, and, therefore, allow to obtain a bolus easier to swallow.

KEYWORDS: dysphagia, creep recovery, oscillatory test, thickeners, saliva.

1. INTRODUCCIÓN

La disfagia o dificultad para realizar, de manera segura y eficaz, el proceso normal de deglución de la comida líquida y/o sólida afecta aproximadamente al 8% de la población mundial (Cichero et al., 2013). Las personas con problemas de disfagia tienen dificultad para controlar los líquidos muy fluidos durante su paso a través de la faringe, lo que puede llevar a riesgos de aspiración, asfixia, neumonía e incluso la muerte (Martino et al., 2005). El uso de espesantes para la obtención de alimentos con textura modificada, que permiten formar un bolo ligeramente más cohesivo y hacen que el proceso de deglución sea más lento, es la principal estrategia para combatir el problema (García et al., 2005; Cichero, 2013). Sin embargo, alimentos demasiado espesados pueden conducir a tiempos de tránsito excesivamente largos, que pueden dejar residuos dentro de la faringe, lo que puede resultar en un riesgo de aspiración (Chicero, 2013)). En este sentido, se ha demostrado que el riesgo de aspiración difiere según el tipo de espesante utilizado (Leonard et al., 2014).

La guía más aceptada para la disfagia (National Dysphagia Diet Task Force – NDD, 2002) clasifica estos alimentos de acuerdo a su viscosidad aparente, a un gradiente de velocidad de 50 s^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, en fluido (1-50 mPa·s), néctar (51-350 mPa·s), miel (351-1750 mPa·s) o pudín ($> 1750 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) (Cichero et al., 2013; Gallegos et al., 2012). Esta clasificación no considera factores relevantes que afectan al flujo del fluido, como la densidad, la temperatura de la muestra, el esfuerzo aplicado, el amplio rango de velocidades de cizallamiento que se desarrollan durante el proceso de deglución, la viscoelasticidad del bolo, y la presión de propulsión (Gallegos et al., 2012; Chichero et al., 2017). Además, los alimentos con textura modificada son en general fluidos no newtonianos, por lo que resulta imposible caracterizarlos completamente con solo una medida de viscosidad. Alimentos con textura modificada obtenidos a partir de diferentes hidrocoloides pueden tener la misma viscosidad aparente a la temperatura y gradiente de velocidad indicado, pero exhibir un comportamiento al flujo diferente.

Una adecuada selección del espesante utilizado en la obtención de alimentos con textura modificada resulta fundamental para garantizar una deglución segura en personas con disfagia. La mayoría de los autores se han centrado en estudiar el efecto de distintas variables (pH, tiempo, temperatura, etc) en el comportamiento reológico de alimentos con textura modificada (García et al., 2005; Zargaraan et al., 2013;). Algunos autores además han evaluado el comportamiento viscoelástico; Mackley et al., 2013; Moret-Tatay et al., 2015). Sin embargo, pocos estudios se encuentran en la bibliografía que relacionen entre sí el comportamiento reológico, viscoelástico y mecánico y evalúen el efecto de distintos agentes espesantes en diferentes matrices alimentarias. Entre ellos cabe destacar el estudio realizado por Sharma et al., 2017, en puré de zanahoria espesado a nivel pudín. Ningún estudio se ha encontrado para crema de guisante con textura modificada.

Por otro lado, la saliva desempeña un papel muy importante en el procesamiento oral y en la reología del bolo ya que facilita el proceso de deglución lubricando la boca y ayudando a la formación de un bolo cohesivo

(Harris et al., 1997). Las mucinas disminuyen principalmente la fricción en la boca, lo que hace que el movimiento del bolo de la fase oral a la faringe sea suave (Chen, 2009). Además, el bolo debe moverse a través de la faringe a una velocidad adecuada y debe ser estructuralmente homogéneo a fin de permitir su transferencia a través de la faringe como una “masa”, lo que resulta clave para determinar la facilidad de deglución (Ishihara et al., 2011). Por otro lado, y debido a su compleja composición (iones, mucina, enzima) puede producir cambios en las propiedades reológicas de algunos hidrocoloides, especialmente en aquellos a base de almidón, reduciendo, por ejemplo, su viscosidad (Hanson et al, 2012a y b).

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de 10 hidrocoloides (2 de ellos espesantes comerciales específicos para disfgia) en el comportamiento reológico, viscoelástico y mecánico de una crema de guisante con textura modificada a dos niveles (miel y pudin) y evaluar el potencial efecto que la saliva podría tener durante el proceso de masticación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los guisantes verdes se compraron en un supermercado local (Valencia, España). Diez hidrocoloides, dos de ellos espesantes comerciales específicos para disfgia se utilizaron en el estudio. Goma guar (GG), goma xantana (XG), pectina de alto metoxilo (HMP), carboximetilcelulosa (CMC) y carragenato (C) fueron suministrados por EPSA (EPSA, Valencia, España). Goma gellan (GEG), goma Konjac (KG) y goma Tara (TG) fueron suministrados por Cocinista (Cocinista, Madrid, España). Nutavant® (NA) (Ingredientes: almidón de maíz modificado) y Nutilis® (NI) (Ingredientes: maltodextrina, almidón modificado, fosfato de almidón de hidroxipropilo, goma tara, goma xantana, goma guar) se compraron en una farmacia local (Valencia, España).

Para preparar la saliva se utilizó mucina porcina Tipo II, α -amilasa de páncreas porcino Tipo VI-B (13 unidades mg⁻¹), sal sódica de ácido úrico, DL-lactato sódico (99% y 112.06 g / mol), nitrato de amonio, urea (99.5%) proporcionadas por Sigma-Aldrich (Madrid, España), fosfato de potasio (> 99%), cloruro de potasio (> 99%), cloruro de sodio proporcionado por Panreac Barcelona, España) y citrato de potasio proporcionado por Scharlab (Valencia, España). El agua utilizada fue desionizada.

2.1. Preparación de la muestra

La crema de guisante se preparó con una thermomix® (TM31, Wuppertal Alemania). Los guisantes verdes se cocinaron con aceite de oliva, agua y sal. Las cremas de guisante con textura modificada se prepararon agregando los hidrocoloides a la crema de guisantes asegurando que la viscosidad aparente a 50s⁻¹ y 25 °C fuera cercana a 1500 mPas (nivel miel) y 4100 mPas (nivel pudin). Tras su incorporación, la crema se homogeneizó con un agitador a varilla durante 30 minutos para lograr una dispersión uniforme. Las muestras se prepararon 24 h antes de los análisis, se refrigeraron a 5 °C y se calentaron hasta 25 °C antes de los análisis. La viscosidad aparente de la crema de guisante a 50s⁻¹ y 25 °C fue de 299 ± 33 mPas (nivel néctar). La tabla 1

presenta las concentraciones de cada hidrocoloide y las viscosidades obtenidas en las muestras de crema de guisante con textura modificada.

Tabla 1. Concentración de cada hidrocoloide incorporado a la crema de guisantes para alcanzar las viscosidades finales a una velocidad de cizalla de 50 s^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Los valores son el promedio de dos experimentos independientes.

Hidrocoloide	Nivel Miel		Nivel Pudín	
	Concentración (% w/w)	Viscosidad (mPas)	Concentración (% w/w)	Viscosidad (mPas)
NA	1.35	1534 ± 112	3.2	4171 ± 217
NI	2.15	1572 ± 11	4.8	4152 ± 17
C	3.15	1518 ± 27	-*	-*
GEG	4.1	1337 ± 27	-*	-*
XG	0.4	1561 ± 24	-*	-*
CMC	0.3	1502 ± 63	0.8	4296 ± 85
GG	0.4	1395 ± 46	1.1	4132 ± 269
KG	0.2	1464 ± 73	0.55	4044 ± 50
HMP	1.1	1553 ± 81	2.4	4187 ± 213
TG	0.35	1523 ± 10	0.8	4050 ± 267

*No fue posible obtener una viscosidad homogénea para las cremas nivel pudín espesadas con los hidrocoloides C, GEG y XG siendo muy variable la medida de viscosidad aparente a 50 s^{-1} y $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2. Preparación de la saliva artificial

La saliva artificial se preparó de acuerdo con la composición utilizada en estudios previos por Chung et al. 2012 y Torres et al. 2019, utilizando un 3% de mucina, con el fin de simular la viscosidad de la saliva humana y α -amilasa con una actividad de 93 unidades/mL.

2.3. Caracterización reológica y viscoelástica

La caracterización reológica y viscoelástica de las muestras se realizó utilizando un Reómetro Kinexus Pro + (Malvern Instruments Ltd., MA, EE. UU.) equipado con una geometría placa-placa (PLC61 / PU40) con control de temperatura. La muestra se colocó en la superficie de la placa inferior y la placa superior se bajó hasta alcanzar un espacio entre placas de 1 mm. Tras colocar la muestra en la geometría de medición se mantuvo durante 5 minutos en reposo para relajar la estructura y equilibrar la temperatura. Todos los análisis se realizaron a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Cada medición se realizó por duplicado.

Las propiedades reológicas de la crema de guisante y las cremas de guisante con textura modificada se caracterizaron analizando el comportamiento de flujo en régimen transitorio y en régimen estacionario. El comportamiento de flujo en régimen transitorio se analizó a través del área de histéresis. Para ello se midió el esfuerzo cortante en función del gradiente de velocidad desde 0.01 a 100 s^{-1} durante 5 minutos (rampa ascendente), se mantuvo la muestra durante 5 minutos a 100 s^{-1} y se midió nuevamente el esfuerzo cortante en función del gradiente de velocidad desde 100 a 0.01 s^{-1} durante 5 minutos (rampa descendente). Para todas las muestras, se calculó el área de la curva ascendente (A_{up}), el área de la curva descendente (A_{down}) y el área de histéresis relativa $Ar = 100 \times (A_{up} - A_{down}) / A_{up}$ (Dolz et al., 2000; Tárrega et al., 2004). El comportamiento de flujo en régimen

estacionario se analizó a través de la curva de flujo. Primero la muestra fue sometida a un gradiente de velocidad de 100s^{-1} durante 5 minutos para eliminar la influencia del tiempo y posteriormente se registró la curva de flujo entre 0.1 a 100 s^{-1} durante 5 min. Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald-de Wale (ley de potencia) que relaciona el esfuerzo con el gradiente de velocidad a través del índice de consistencia (K) e índice de comportamiento al flujo (n). La bondad del ajuste se evaluó utilizando el coeficiente de correlación, R^2 .

Las propiedades viscoelásticas de la crema de guisante y las cremas de guisante con textura modificada se caracterizaron mediante ensayos oscilatorios y creep-recovery. La región viscoelástica lineal (LVR) se determinó realizando un barrido de esfuerzo, a una frecuencia de 1 Hz, desde 0.01 a 100 Pa en las muestras del nivel miel, y desde 0.1 a 200 Pa en las muestras del nivel pudín. El ensayo oscilatorio se realizó desde 0.1 a 100 Hz, aplicando una deformación de 0,1 y 0.2% en las muestras del nivel miel y pudín, respectivamente. La medición del creep-recovery se realizó aplicando un esfuerzo constante durante 300 s equivalente al 90% del valor de esfuerzo máximo en el LVR determinado para cada crema de guisantes con textura modificada, y se registraron los cambios resultantes de la deformación con el tiempo. Luego, se eliminó el esfuerzo y se registró la recuperación durante 300 s. Los resultados del creep-recovery se describen en términos de capacitancia ($J(t) \text{ Pa}^{-1}$) que no es más que el cociente entre la deformación (%) y el esfuerzo aplicado (Pa).

2.4. Caracterización de las propiedades texturales (ensayo TPA)

El análisis de perfil de textura (TPA) se realizó utilizando un Analizador de Textura TA. XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK). La muestra (50 ± 1 g) se colocó en un vaso de precipitado de 55 mm de diámetro y se niveló la superficie. Se realizó una comprensión de 2 etapas utilizando un plato de compresión de vidrio cilíndrico de 35 mm de diámetro a una velocidad de 3 mm/s hasta un nivel de deformación del 33%. Cada medición se realizó por triplicado.

2.5. Ensayo de masticación

Para simular la masticación oral se utilizó el ensayo de masticación instrumental desarrollado por Chung et al. 2012. La muestra se comprime, se somete a un gradiente de velocidad, y se descomprime, en un número de ciclos que simulan el movimiento de la lengua y el paladar durante la etapa de masticación de alimentos semisólidos. Las cremas de guisante con textura modificada se caracterizaron utilizando una secuencia de masticación de 10 ciclos a $37\text{ }^\circ\text{C}$. Para evaluar el efecto de la saliva en las propiedades reológicas de las muestras, el ensayo se realizó en presencia y ausencia de saliva, incorporando a la muestra a analizar 0.2 ml de saliva artificial.

2.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el programa Statgraphics Centurion XVII.II - X64 (Statgraphics Technologies Inc., Virginia, USA). Para discernir entre las medias se utilizó el procedimiento de las menores diferencias significativa de Fisher con un nivel de confianza del 95 %.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización reológica

El estudio del comportamiento de flujo en régimen transitorio permite ver que las muestras de crema de guisante (con y sin textura modificada) exhiben un comportamiento tixotrópico dependiente del tiempo de cizalla, en donde la viscosidad disminuye con el tiempo de cizalla. Como las muestras a estudiar presentan diferentes niveles de viscosidad (nivel néctar, nivel miel y nivel pudín), la dependencia con el tiempo de cizalla se evaluó a través del área de histéresis relativa (Dolz et al., 2000). Esta área es un índice de la energía necesaria para destruir la estructura interna de la muestra responsable de la influencia del tiempo en el comportamiento del flujo (Jiang et al., 2015; Álvarez et al., 2017). Cuanto mayor es el área de histéresis relativa mayor es el grado de destrucción que tiene lugar en la estructura interna de la muestra como consecuencia de la cizalla impuesta. El área de histéresis relativa de la crema de guisante a 25°C fue de 26.4 ± 1.2 %. El área de histéresis relativa de todas las muestras de crema de guisante con textura modificada a la misma temperatura se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Área de histéresis relativa (%) para las muestras de crema de guisante con textura modificada a 25 °C. Los valores son el promedio de dos experimentos independientes.

Hidrocoloide	Nivel Miel	Nivel Pudín
	Área de histéresis relativa (%)	Área de histéresis relativa (%)
NA	18.6 ± 0.6^a	19.3 ± 0.6^a
NI	13.9 ± 0.8^{bc}	10.0 ± 0.8^b
C	17.8 ± 1.3^{ab}	-
GEG	9.3 ± 1.5^c	-
XG	10.6 ± 0.2^c	-
CMC	13.5 ± 0.4^{bc}	9.45 ± 0.96^b
GG	2.3 ± 1.4^d	1.88 ± 0.31^e
KG	10 ± 2^c	6.62 ± 0.18^c
HMP	15 ± 3^{bc}	11.46 ± 0.91^b
TG	8.4 ± 1.0^c	3.91 ± 0.05^d

a-e: Diferentes superíndices dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$).

El área de histéresis relativa más alta corresponde a la crema de guisantes sin adición de espesante, lo que indica que necesita mayor energía para romper la estructura interna del producto. La adición de espesantes disminuye los valores del área de histéresis relativa lo que se traduce en un menor daño de la estructura interna de la muestra como consecuencia de la cizalla

impuesta. Se observa que en general y para todos los espesantes estudiados, a mayor cantidad de espesante añadido (muestras nivel pudin) el daño que se produce en la estructura interna del producto, como consecuencia de la cizalla impuesta, es menor. De todos los espesantes estudiados y para ambos niveles, GG es el hidrocoloide que parece mantener mejor la estructura interna del producto con el tiempo de cizalla impuesto, seguido en el caso del nivel miel por TG y GEG, y por TG, KG y CMC para el nivel pudin.

Después de eliminar la dependencia del tiempo tras someter a la muestra a una cizalla de 100 s^{-1} durante 5 minutos, se determinó la curva de flujo de las muestras. En la figura 1 se muestra una curva de flujo típica para la crema de guisante (nivel néctar) y las cremas de guisantes con textura modificada a los dos niveles, nivel miel y nivel pudin.

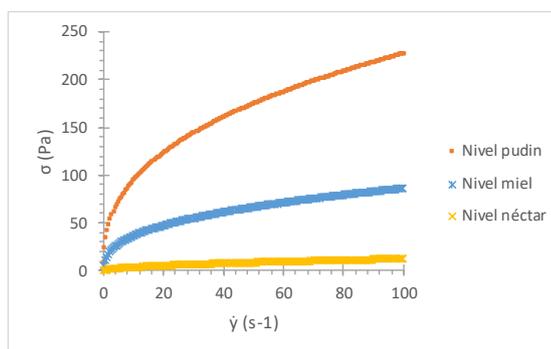


Figura 1. Curva de flujo típica para crema de guisante a los 3 niveles: nivel néctar, nivel miel y nivel pudin.

Todas las muestras presentaron claramente un comportamiento pseudoplástico. El comportamiento al flujo se describió utilizando el modelo de Ostwald-de Waele (ley de potencia). Los parámetros obtenidos se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros obtenidos para el modelo de ley de potencia. Índice de comportamiento al flujo (n), índice de consistencia (K) y coeficiente de correlación (R^2). Los valores son el promedio de dos experimentos independientes.

Hidrocoloide	Nivel Miel			Nivel Pudín		
	n	K	R^2	n	K	R^2
NA	0.26 ± 0.02^a	27 ± 4^a	0.993	0.238 ± 0.009^a	84 ± 8^a	0.993
NI	0.287 ± 0.005^{ab}	25.7 ± 0.9^a	0.994	0.227 ± 0.004^a	86 ± 2^a	0.980
C	0.41 ± 0.02^e	15.7 ± 1.5^{cd}	0.979	-	-	-
GEG	0.42 ± 0.02^{ef}	16.1 ± 1.2^{cd}	0.987	-	-	-
XG	0.26 ± 0.02^a	28.3 ± 1.4^a	0.955	-	-	-
CMC	0.361 ± 0.002^d	18.5 ± 0.9^{bc}	0.993	0.248 ± 0.009^a	82 ± 1^a	0.990
GG	0.25 ± 0.02^a	26.1 ± 1.4^a	0.970	0.155 ± 0.001^b	113 ± 8^b	0.957
KG	0.3233 ± 0.004^{bc}	21.1 ± 1.2^b	0.994	0.23 ± 0.02^a	83 ± 7^a	0.981
HMP	0.45 ± 0.03^f	14 ± 3^d	0.999	0.451 ± 0.013^c	36 ± 4^c	0.996
TG	0.335 ± 0.003^{cd}	20.8 ± 0.3^b	0.994	0.230 ± 0.010^a	83 ± 9^a	0.979

a-f: Diferentes superíndices dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$).

Se obtuvieron buenos coeficientes de correlación, R^2 , lo que indica que el modelo es adecuado para describir el comportamiento reológico de la crema de guisante y las cremas de guisantes con textura modificada. Los índices de

comportamiento al flujo (n) fueron menores a 1 como se esperaba para un comportamiento de flujo no newtoniano. Los valores de n más bajos corresponden con las muestras de crema de guisante con textura modificada y, entre ellas, las muestras nivel pudin tuvieron los índices de comportamiento al flujo más bajos (0.25 ± 0.09), lo que se corresponden con los valores más altos de esfuerzo de cizalla (Figura 1). Los valores medios de n para las muestras nivel miel (0.34 ± 0.07) fueron similares a los obtenidos por otros autores trabajando a temperatura ambiente con puré de tomate, puré de pimiento, puré de zanahoria, y purés infantiles a base de vegetales (Okechukwu y Rao, 1999; Van Hecke et al., 2012; Alvarez y Canet, 2013). Respecto a los valores del índice de consistencia, como cabe esperar, el valor más bajo corresponde a la crema de guisante nivel néctar ($2.7 \pm 0.6 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$), aumentando dicho valor con la adición de espesante ($21 \pm 6 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ y $81 \pm 21 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ en promedio, para nivel miel y nivel pudin respectivamente). Analizando los valores de n y K para los distintos espesantes, en general y para un mismo nivel, todas las muestras presentan valores similares de ambos parámetros siendo a ambos niveles HMP quien presenta los menores valores de K y mayores de n y GG los valores más bajos de n y más altos de K , sobre todo a nivel pudin.

3.2. Caracterización viscoelástica

La determinación de la región viscoelástica lineal (LVR) (tabla 4) permite evaluar dentro de qué rango el módulo viscoelástico es independiente del esfuerzo o deformación aplicada, así como diferenciar entre geles débiles y fuertes (Steffe, 1996). Los valores de deformación ($\gamma_{\text{máx}}$) y esfuerzo máximo ($\sigma_{\text{máx}}$) en el límite del LVR están asociados a la flexibilidad y elasticidad del material, y pueden ser considerados como una medida de estabilidad, ya que indican el punto a partir del cual se inicia la ruptura del material (van Vliet, 2002). Estos valores fueron calculados considerando el rango de desviación tolerable del 10%. La crema de guisantes exhibió valores de $\gamma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{máx}}$ de $0.37 \pm 0.06 \%$ y $0.41 \pm 0.13 \text{ Pa}$, respectivamente. Como se puede observar en la tabla 4, a nivel miel, todas las cremas de guisantes con textura modificada presentaron valores de $\gamma_{\text{máx}}$ similares a la crema de guisantes, a excepción de XG y HMP que presentaron los valores más altos asociado a una mayor flexibilidad del material. GEG y C exhibieron los valores más bajos. Respecto al $\sigma_{\text{máx}}$, CMC, TG y KG mostraron los valores más bajos, similares a la crema de guisantes, mientras que C presentó un valor significativamente más alto que el resto, lo que se traduce en un mayor grado de elasticidad. En el nivel pudin, todas las muestras presentaron valores de $\gamma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{máx}}$ significativamente superiores a la crema de guisantes. HMP presentó el valor más bajo de $\gamma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{máx}}$, mientras que NI mostró el valor más alto en ambos parámetros, junto a NA en $\sigma_{\text{máx}}$. El módulo elástico (G'_{LVR}) es un indicador de la rigidez del material. En el nivel miel, CMC, TG, KG y HMP presentaron los valores de G'_{LVR} más bajos y similares entre ellos, lo que implica una estructura menos rígida que el resto, mientras que C presentó un valor de G'_{LVR} significativamente superior al resto, y, por tanto, una estructura más rígida. En el nivel pudin, nuevamente CMC y HMP presentaron la estructura

menos rígida, con valores de G'_{LVR} significativamente inferiores al resto, mientras que la estructura más rígida, con un valor significativamente superior, lo presentó NA. El hecho de que C presente el mayor valor de G'_{LVR} , pero a su vez el menor valor de $\gamma_{m\acute{a}x}$, da lugar a que la muestra sea más frágil. Similares resultados observaron Sharma et al., 2017 trabajando con puré de zanahoria y carragenato, concluyendo que estos resultados pueden ir asociados a un bolo no homogéneo y no cohesivo durante el procesado en boca, lo que puede llevar a problemas de deglución con riesgo de aspiración por parte de pacientes con disfagia.

La tabla 4 presenta el punto de flujo de cada muestra, es decir, el valor al cuál se produce la transición del comportamiento de sólido a líquido, o punto donde el módulo elástico (G') es igual al módulo viscoso (G''). XG a nivel miel, NI a nivel pudín y NA a ambos niveles, son las muestras que presentaron un punto de flujo significativamente superior al resto. CMC, KG y TG a nivel miel, y HMP a nivel pudín presentaron el menor punto de flujo.

Tabla 4. Parámetros obtenidos de la determinación del LVR.

	Hydrocoloide	G'_{LVR} (Pa)	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (%)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (Pa)	Punto de flujo (Pa)
Nivel Miel	NA	547 ± 112 ^{bc}	0.61 ± 0.03 ^{cde}	3.38 ± 0.88 ^{cd}	30.02 ± 4.89 ^e
	NI	455 ± 136 ^{abc}	0.59 ± 0.25 ^{bcd}	2.58 ± 0.34 ^{bc}	19.98 ± 0.40 ^d
	C	1201 ± 508 ^d	0.36 ± 0.06 ^{ab}	4.55 ± 1.69 ^e	19.46 ± 6.77 ^d
	GEG	719 ± 57 ^c	0.33 ± 0.07 ^a	2.37 ± 0.73 ^{bc}	10.45 ± 3.45 ^c
	XG	457 ± 24 ^{abc}	0.639 ± 0.004 ^{de}	2.98 ± 0.13 ^c	30.90 ± 3.87 ^e
	CMC	93 ± 9 ^a	0.42 ± 0.06 ^{abcd}	0.44 ± 0.06 ^a	1.91 ± 0.46 ^{ab}
	GG	275 ± 76 ^{ab}	0.41 ± 0.07 ^{abcd}	1.19 ± 0.10 ^{ab}	10.11 ± 0.51 ^{bc}
	KG	119 ± 40 ^a	0.44 ± 0.05 ^{abcd}	0.60 ± 0.24 ^a	3.07 ± 1.41 ^{ab}
	HMP	174 ± 50 ^a	0.72 ± 0.17 ^e	1.27 ± 0.07 ^{ab}	12.85 ± 4.28 ^{cd}
	TG	101 ± 23 ^a	0.41 ± 0.08 ^{abc}	0.48 ± 0.01 ^a	2.25 ± 0.43 ^a
Nivel Pudín	NA	986 ± 128 ^d	0.99 ± 0.11 ^{ab}	10.6 ± 1.5 ^d	144 ± 31 ^c
	NI	881 ± 58 ^{cd}	1.07 ± 0.37 ^b	9.96 ± 4.23 ^{cd}	94.6 ± 10 ^b
	CMC	318 ± 29 ^a	1.02 ± 0.46 ^{ab}	3.77 ± 2.03 ^{ab}	40 ± 23 ^a
	GG	808 ± 101 ^{cd}	0.68 ± 0.10 ^{ab}	5.88 ± 0.26 ^{abc}	53.1 ± 6.7 ^{ab}
	KG	587 ± 7 ^{bc}	0.68 ± 0.01 ^{ab}	4.54 ± 0.03 ^{bcd}	32.2 ± 0.4 ^a
	HMP	252 ± 4 ^a	0.55 ± 0.14 ^a	1.62 ± 0.39 ^a	11.4 ± 2.8 ^a
	TG	709 ± 157 ^b	0.79 ± 0.01 ^{ab}	6.30 ± 1.31 ^{ab}	39.7 ± 11 ^a

a-e: Diferentes superíndices dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$).

La figura 2 presenta las curvas representativas de la evolución de G' y G'' con el aumento del esfuerzo aplicado en todas las cremas de guisantes con textura modificada. Las curvas muestran la baja contribución de G'' a las propiedades viscoelásticas de las muestras, con una G' mayor a G'' en todo el rango LVR, evidenciando el comportamiento de gel. En todas las muestras, G' disminuye frente a un aumento en el esfuerzo cuando se excede el límite de la región LVR. GEG y C a nivel miel, y NA y NI a ambos niveles, exhibieron inicialmente un aumento del módulo viscoso en la región LVR no lineal que luego disminuye con un mayor esfuerzo aplicado. Un comportamiento similar reportó Sharma et al. 2017 en purés de zanahoria espesados a nivel pudín con goma xantana, goma gellan, carragenato, pectina y espesante comercial a base de almidón modificado, atribuyendo dicho comportamiento a la formación de microgrietas en la estructura del gel de los purés y a la fricción entre las placas del reómetro en el sitio de la grieta que lleva a una liberación de energía, y, por lo tanto, al aumento de G'' . El resto de las muestras

presentaron el comportamiento de un fluido, al disminuir ambos parámetros con el aumento del esfuerzo en el LVR no lineal, lo que coincide con Sharma et. al 2017 en el caso de la carboximetilcelulosa.

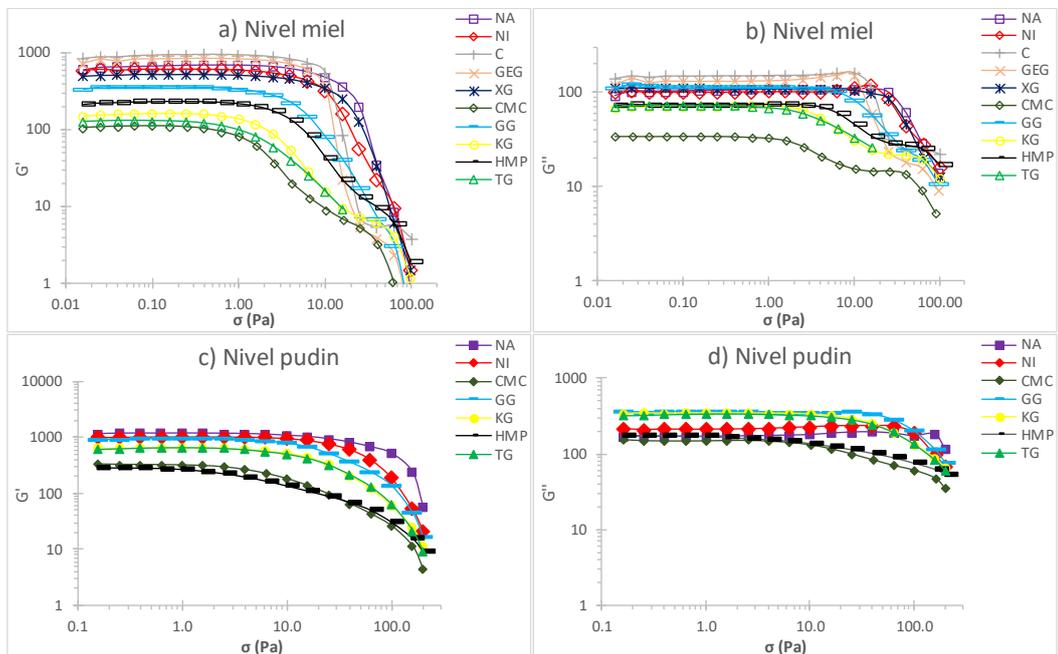


Figura 2. Evolución de los componentes elástico (a y c) y viscoso (b y d) frente al barrido de esfuerzo. Nivel miel (a y b), nivel pudin (c y d). Las curvas son muestras representativas.

El espectro dinámico del ensayo oscilatorio da información esencial acerca de la estructura del gel. En las Figuras 3a y 3b se muestra, para las cremas de guisantes con textura modificada a nivel miel y pudin, respectivamente, la dependencia de G' con la frecuencia. G' predomina sobre G'' en todo el rango de frecuencias, lo que indica un comportamiento de gel débil. El mismo comportamiento fue observado por Sharma et al. 2017 en purés de zanahorias espesados a nivel pudin con diferentes hidrocoloides, y por Moret-Tatay et al. 2015 en agua, leche entera, jugo de manzana y jugo de tomate espesados a nivel néctar y pudin con espesantes comerciales.

Desde un punto de vista estructural, las pendientes (n') de las curvas $\ln G'$ vs \ln frecuencia pueden utilizarse como criterio para comparar geles verdaderos con geles débiles. Cuando $n'=0$, se trata de un gel verdadero, mientras que los geles débiles o soluciones altamente concentradas exhiben pendientes positivas ($n'>0$). Valores de n' cercanos a 0 son característicos de geles elásticos, mientras que valores de n' cercanos a 1 son considerados como geles viscosos (Yusevi y Rasavi, 2015; Irani et al., 2019). En la tabla 5 se presentan los valores de n' obtenidos para las cremas de guisantes con textura modificada a ambos niveles. NA y NI a ambos niveles, y C, GEG y XG a nivel miel, exhibieron valores de n' significativamente más bajos que CMC, TG, KG y HMP a ambos niveles, los cuales presentaron la mayor dependencia de la frecuencia con valores de n' más altos. GG mostró valores intermedios. Sharma et al. 2017 también encontró la mayor dependencia de G' con la frecuencia en puré de zanahoria espesado con CMC frente a otros

hidrocoloides. Asimismo, el aumento de la concentración de hidrocoloide (de nivel miel a pudín) parece disminuir la dependencia de G' con la frecuencia, con valores de n' más bajos y mejores coeficientes de correlación que a nivel miel, a excepción de HMP que muestra la misma dependencia de la frecuencia a ambos niveles.

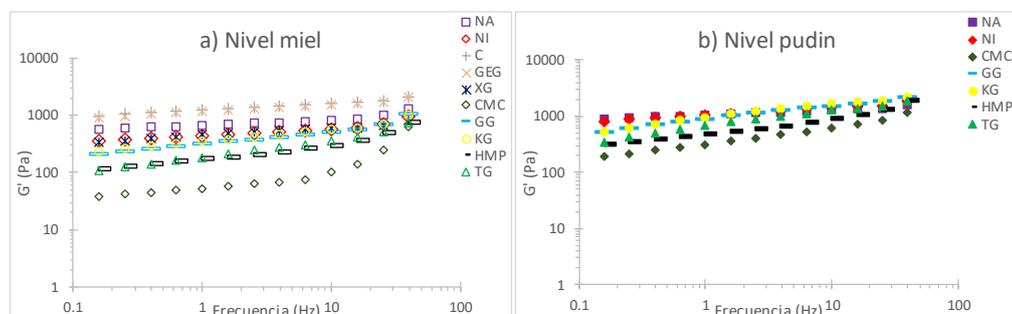


Figura 3. Dependencia del módulo elástico frente a la frecuencia nivel miel (a) y nivel pudín (b). Las curvas son muestras representativas.

Tabla 5. Valores de n' obtenidos de las curvas $\ln G'$ vs \ln frecuencia.

Hidrocoloide	Nivel Miel		Nivel Pudín	
	n'	R^2	n'	R^2
NA	0.114 ± 0.004^a	0.94 ± 0.06	0.09 ± 0.01^a	0.97 ± 0.01
NI	0.15 ± 0.01^a	0.95 ± 0.04	0.160 ± 0.001^b	0.982 ± 0.004
C	0.128 ± 0.002^a	0.984 ± 0.004	-	-
GEG	0.12 ± 0.02^a	0.978 ± 0.008	-	-
XG	0.1476 ± 0.0004^a	0.970 ± 0.003	-	-
CMC	0.41 ± 0.05^c	0.83 ± 0.07	0.28 ± 0.03^{cd}	0.991 ± 0.005
GG	0.28 ± 0.04^b	0.97 ± 0.02	0.25 ± 0.02^c	0.987 ± 0.003
KG	0.36 ± 0.05^c	0.96 ± 0.02	0.28 ± 0.03^{cd}	0.982 ± 0.003
HMP	0.36 ± 0.04^c	0.95 ± 0.02	0.359 ± 0.004^e	0.991 ± 0.008
TG	0.38 ± 0.03^c	0.98 ± 0.03	0.2984 ± 0.0006^{cd}	0.984 ± 0.004

a-e: Diferentes superíndices dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$).

La figura 4 presenta la dependencia de la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) frente a la frecuencia donde se observa una gran variabilidad en la dependencia de la $\tan \delta$ con la frecuencia a ambos niveles. La $\tan \delta$ representa el desfase que existe entre el esfuerzo y la deformación, y da una medida relativa de la energía disipada y la energía almacenada del material, y por tanto, de su viscoelasticidad ($\tan \delta = G''/G'$). Se observa que los valores de $\tan \delta$ se encuentran entre 0.1 y 0.6 a ambos niveles, lo que confirma el carácter de gel débil o fluido estructurado de las muestras (Ikeda y Nishinari, 2001; Sharma et al., 2017;). Ishihara et al., 2011 sugiere, en términos de disfagia, que valores de $\tan \delta$ entre 0.1 y 1 es un criterio reológico seguro en la obtención de un bolo más fácil de tragar. En el nivel miel, NA, NI, C y GEG presentaron valores de $\tan \delta$ similares en todo el rango de frecuencia, con menores valores de $\tan \delta$ a bajas frecuencias que convergen a valores más altos a mayor frecuencia. CMC y HMP exhibieron un comportamiento similar, con valores de $\tan \delta$ inicialmente más altos, pero a diferencia de las muestras anteriores, a altas frecuencias disminuyen a valores similares a los iniciales. GG, KG y TG parecen tener una menor dependencia con la frecuencia. Al igual que lo encontrado por Sharma et al. 2017, XG presentó un perfil de $\tan \delta$ diferente al resto, con valores que disminuyen hasta aproximadamente 10

Hz y luego aumentan. A nivel pudin, NA, NI y HMP mostraron un comportamiento similar que a nivel miel, a excepción de NI a altas frecuencias cuyo valor de $\text{Tan } \delta$ cae bruscamente. CMC parece mostrar una menor dependencia con la frecuencia, mientras que GG, KG y TG exhibieron una dependencia mayor que a nivel miel, con mayores valores de $\text{Tan } \delta$ a bajas frecuencias que convergen a valores más bajos a medida que la frecuencia aumenta.

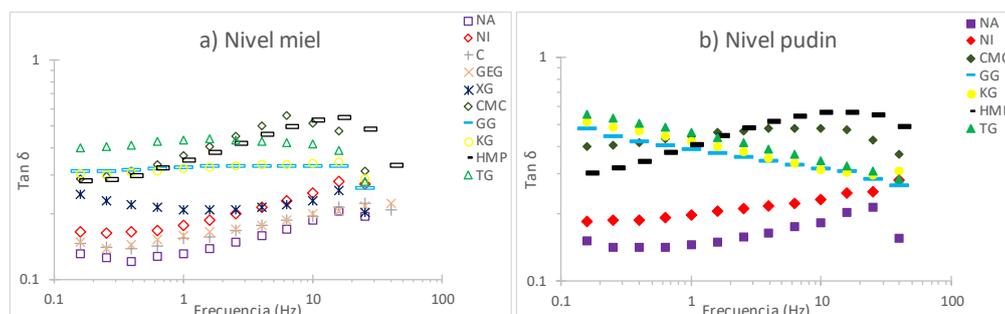


Figura 4. Dependencia de la tangente del ángulo de fase frente a la frecuencia nivel miel (a) y nivel pudin (b). Las curvas son muestras representativas.

A fines comparativos, y para una mejor interpretación de los resultados, en la tabla 6 se presentan los valores obtenidos del ensayo oscilatorio a 1 Hz.

Tabla 6. Propiedades reológicas obtenidas del ensayo oscilatorio a 1Hz.

	Hydrocoloide	η^* (Pa s)	G^* (Pa)	G' (Pa)	G'' (Pa)	δ (°)	$\text{Tan } \delta$
Nivel Miel	NA	97 ± 16^c	608 ± 98^c	603 ± 97^c	81 ± 9^{bc}	7.72 ± 0.35^a	0.14 ± 0.01^a
	NI	69 ± 5^{bc}	430 ± 29^{bc}	423 ± 31^{bc}	82 ± 6^{bc}	11.02 ± 1.56^a	0.19 ± 0.03^a
	C	235 ± 55^e	1476 ± 344^e	1458 ± 338^e	233 ± 64^e	9.01 ± 0.39^a	0.16 ± 0.01^a
	GEG	171 ± 25^d	1077 ± 155^d	1064 ± 151^d	161 ± 34^d	8.56 ± 0.59^a	0.15 ± 0.01^a
	XG	75 ± 2^{bc}	473 ± 11^{bc}	463 ± 11^{bc}	96 ± 1^{bc}	11.69 ± 0.08^a	0.207 ± 0.002^a
	CMC	7 ± 3^a	44 ± 18^a	41 ± 17^a	16 ± 4^a	22.52 ± 3.45^{bc}	0.42 ± 0.07^{bc}
	GG	49 ± 6^{ab}	305 ± 40^{ab}	359 ± 59^{ab}	94 ± 12^c	15.04 ± 4.12^b	0.27 ± 0.08^b
	KG	20 ± 1^a	125 ± 9^a	112 ± 9^a	55 ± 2^{abc}	26.31 ± 1.13^{cd}	0.49 ± 0.02^{cd}
	HMP	19 ± 3^a	119 ± 20^a	107 ± 19^a	52 ± 5^{ab}	26.27 ± 1.86^{cd}	0.49 ± 0.04^{cd}
TG	21 ± 2^a	132 ± 10^a	116 ± 7^a	64 ± 7^{abc}	28.80 ± 1.34^d	0.55 ± 0.03^d	
Nivel Pudín	NA	165 ± 5^c	1036 ± 30^c	1025 ± 30^c	150 ± 3^a	8.32 ± 0.08^a	0.146 ± 0.002^a
	NI	153 ± 24^{bc}	1036 ± 30^c	937 ± 150^c	201 ± 8^a	12.23 ± 1.45^b	0.22 ± 0.03^a
	CMC	66 ± 15^a	412 ± 97^a	380 ± 94^a	160 ± 28^a	23.00 ± 1.46^{cd}	0.42 ± 0.03^{bc}
	GG	155 ± 1^{bc}	976 ± 4^c	912 ± 6^{bc}	350 ± 5^b	21.00 ± 0.38^c	0.38 ± 0.01^b
	KG	145 ± 30^{bc}	912 ± 190^{bc}	831 ± 189^{bc}	375 ± 44^b	24.54 ± 2.54^d	0.46 ± 0.05^c
	HMP	46 ± 5^a	287 ± 33^a	244 ± 33^a	151 ± 10^a	31.75 ± 1.76^e	0.62 ± 0.04^d
	TG	123 ± 6^b	776 ± 37^b	700 ± 28^b	333 ± 27^b	25.43 ± 0.87^d	0.48 ± 0.02^c

a-e: Diferentes superíndices dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$).

El módulo complejo (G^*) representa la resistencia total del material frente a la deformación aplicada mientras que la viscosidad aparente (η^*) describe la resistencia total del material a la cizalla dinámica. C y GEG, a nivel miel, fueron las cremas de guisantes con textura modificada que presentaron la mayor fuerza estructural en los enlaces formados, con valores de G' , G^* y η^* significativamente mayores al resto de muestras, mientras que TG, HMP, KG y CMC mostraron una estructura menos rígida, con valores significativamente menores. A nivel pudin, NA exhibió la estructura más rígida, seguido por NI y GG, mientras que CMC y HMP presentaron la estructura menos rígida con

valores de G' , G^* y η^* significativamente menores, seguido de TG. Asimismo, a nivel miel, NA, NI, C, GEG y XG mostraron los valores significativamente más bajos de $\tan \delta$ y δ , confirmando el comportamiento de gel más fuerte de estas muestras frente a TG que mostró un valor significativamente mayor, seguido de KG y HMP, con un comportamiento de gel más débil. A nivel pudín, se observa un comportamiento similar que a nivel miel, con valores de $\tan \delta$ y δ significativamente más bajos para NA y NI, y un valor significativamente más alto para HMP, seguido de TG y KG.

De acuerdo con Ishihara et al. 2011 y Sharma et al. 2017, a menor valor de $\tan \delta$, y, por tanto, mayor contribución del componente elástico, se puede contribuir a aumentar la heterogeneidad estructural del material, lo que puede resultar en un alimento más difícil de tragar al reducir, por ejemplo, la miscibilidad de este con la saliva.

La figura 5 muestra las curvas obtenidas del ensayo creep-recovery para las cremas de guisantes con textura modificada a ambos niveles. Todas las muestras exhibieron un comportamiento viscoelástico débil, evidenciado por una respuesta no lineal a la deformación, con capacidad de recuperar algo de su estructura cuando el esfuerzo se elimina.

El valor máximo de capacitancia durante el creep ($J_{\text{máx}}$) está relacionado con la estructura interna del material. Cuanto mayor es su valor se asocia con una estructura interna más frágil donde predomina el componente viscoso frente al elástico, y por el contrario cuanto más bajo es $J_{\text{máx}}$, la estructura interna es más estable ya que la componente elástica predomina frente a la viscosa. En la figura 5 se ve claramente como una mayor concentración de hidrocoloide en el nivel pudín refuerza la estructura interna de las muestras respecto al nivel miel, al disminuir los valores de capacitancia obtenidos durante el creep. De los resultados del análisis viscoelástico se deduce que HMP, CMC, TG y KG, con valores de G' bajos y valores de n' , $\tan \delta$ y $J_{\text{máx}}$ altos, a ambos niveles, sugieren, en general, una estructura interna de gel más débil, con mayor contribución del componente viscoso que el resto de los hidrocoloides, lo que puede resultar en un bolo más fácil de tragar.

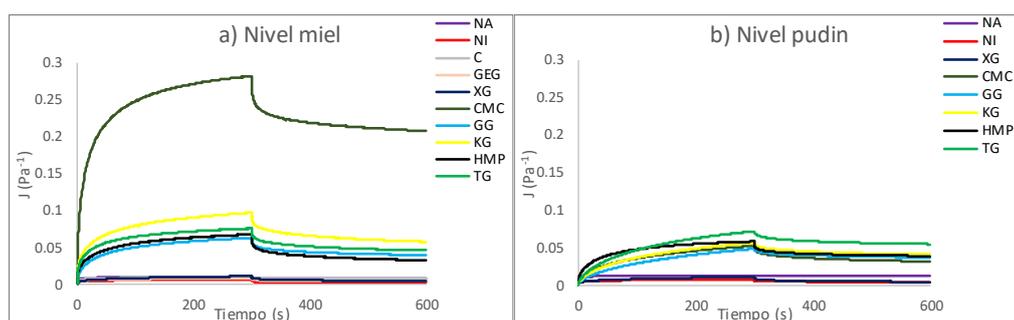


Figura 5. Curvas obtenidas del ensayo creep-recovery nivel miel (a) y nivel pudín (b). Las curvas son muestras representativas.

3.3. Caracterización de las propiedades texturales

De acuerdo con Chen 2009, el TPA es un método con dos ciclos de compresión que imita la masticación humana y permite la caracterización textural mediante la correlación de las propiedades mecánicas con los

atributos de textura durante el proceso de masticación oral. De las curvas TPA se determinaron los parámetros de dureza y gomosidad. La tabla 7 presenta los valores de ambos parámetros.

La dureza se obtiene del valor de fuerza máxima ejercida en el primer ciclo de compresión y está relacionada con la fuerza necesaria para que su estructura se deforme. En el nivel miel, se observaron dos grupos significativamente diferentes entre ellos, uno de menor dureza, compuesto por TG, CMC, KG, GG y HMP, y otro, de mayor dureza, compuesto por NA, NI, C y GEG. En estudios previos, Sharma et al., 2017 y Huang et al., 2007, también reportaron los mayores valores de dureza para el carragenato y goma gellan en purés de zanahorias espesados a nivel pudín, y en mezclas con almidón de arroz, respectivamente. En tanto, en el nivel pudín, los menores valores fueron exhibidos por KG y TG, mientras que NA presentó una dureza significativamente superior al resto de muestras.

La gomosidad se determina a través del producto de la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión por el cociente entre las áreas originadas en los dos ciclos de compresión y está relacionada con el trabajo necesario para preparar la muestra para la deglución. C y GEG a nivel miel, NA a ambos niveles, y, NI a nivel pudín, mostraron valores de gomosidad significativamente mayores a KG y TG a nivel miel, y a CMC y HMP a ambos niveles, que presentaron los menores valores. En purés de zanahorias conteniendo carragenato y almidón modificado, Sharma et al. 2017 también encontró valores de gomosidad significativamente superiores a purés de zanahorias con pectina y carboximetilcelulosa.

Tabla 7. Parámetros de dureza (N) y gomosidad (N) obtenidos para el análisis de perfil de textura.

Hidrocoloide	Nivel Miel		Nivel Pudín	
	Dureza (N)	Gomosidad (N)	Dureza (N)	Gomosidad (N)
NA	1.29 ± 0.11 ^{cd}	0.96 ± 0.04 ^{de}	2.99 ± 0.16 ^c	2.13 ± 0.14 ^d
NI	1.19 ± 0.04 ^c	0.83 ± 0.08 ^{cd}	2.33 ± 0.10 ^b	1.78 ± 0.01 ^c
C	1.43 ± 0.08 ^d	1.10 ± 0.05 ^e	-	-
GEG	1.2 ± 0.3 ^{cd}	0.98 ± 0.31 ^{de}	-	-
XG	0.95 ± 0.03 ^b	0.66 ± 0.03 ^{bc}	-	-
CMC	0.72 ± 0.19 ^a	0.5 ± 0.1 ^{ab}	1.88 ± 0.64 ^{ab}	1.33 ± 0.37 ^a
GG	0.79 ± 0.08 ^{ab}	0.62 ± 0.13 ^{abc}	1.95 ± 0.08 ^{ab}	1.69 ± 0.05 ^{bc}
KG	0.63 ± 0.02 ^a	0.44 ± 0.02 ^a	1.73 ± 0.06 ^a	1.51 ± 0.04 ^{abc}
HMP	0.79 ± 0.19 ^{ab}	0.55 ± 0.12 ^{ab}	1.78 ± 0.56 ^{ab}	1.25 ± 0.31 ^a
TG	0.64 ± 0.07 ^a	0.48 ± 0.11 ^{ab}	1.59 ± 0.06 ^a	1.40 ± 0.06 ^{ab}

a-e: Diferentes superíndices dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$).

3.4. Ensayo de masticación

En la figura 6 se muestra, a modo de ejemplo, un perfil típico de la fuerza normal frente al tiempo de masticación para la crema de guisante (nivel néctar) y las cremas de guisantes con textura modificada a los dos niveles, nivel miel y nivel pudín. En cada ciclo, durante la compresión, la fuerza máxima a la menor distancia entre las placas (1 mm) es considerada como una medida de la “consistencia” de la muestra, mientras que, durante la descompresión, la fuerza máxima negativa a la mayor distancia entre las placas (3 mm) puede ser considerada como la “adhesividad” de la muestra. Durante la etapa de

distancia fija, la viscosidad aparente registrada al aplicarse un gradiente de velocidad de 10 s^{-1} , se relaciona con el deslizamiento de la lengua contra el paladar (Chung et al., 2013).

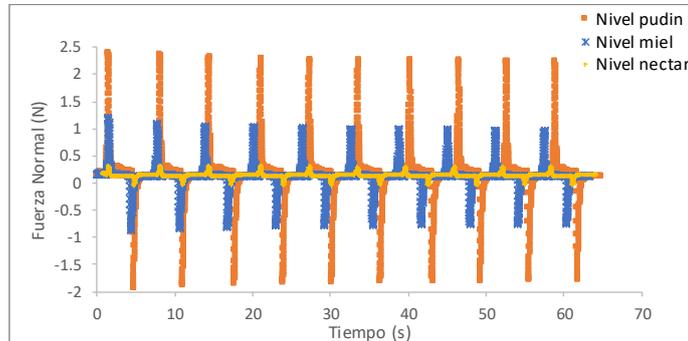


Figura 6. Perfil de masticación típico para crema de guisante a los 3 niveles: nivel néctar, nivel miel y nivel pudin.

La evolución de los valores medios de la fuerza máxima – “consistencia” (FM-C) durante los ciclos de compresión, de la fuerza máxima negativa – “adhesividad” (FM-A) durante los ciclos de descompresión y, de la viscosidad aparente a 10 s^{-1} durante las etapas de distancia fija de todas las cremas de guisantes con textura modificada a ambos niveles, en presencia y ausencia de saliva, se presentan en las Figuras 7 y 8, respectivamente.

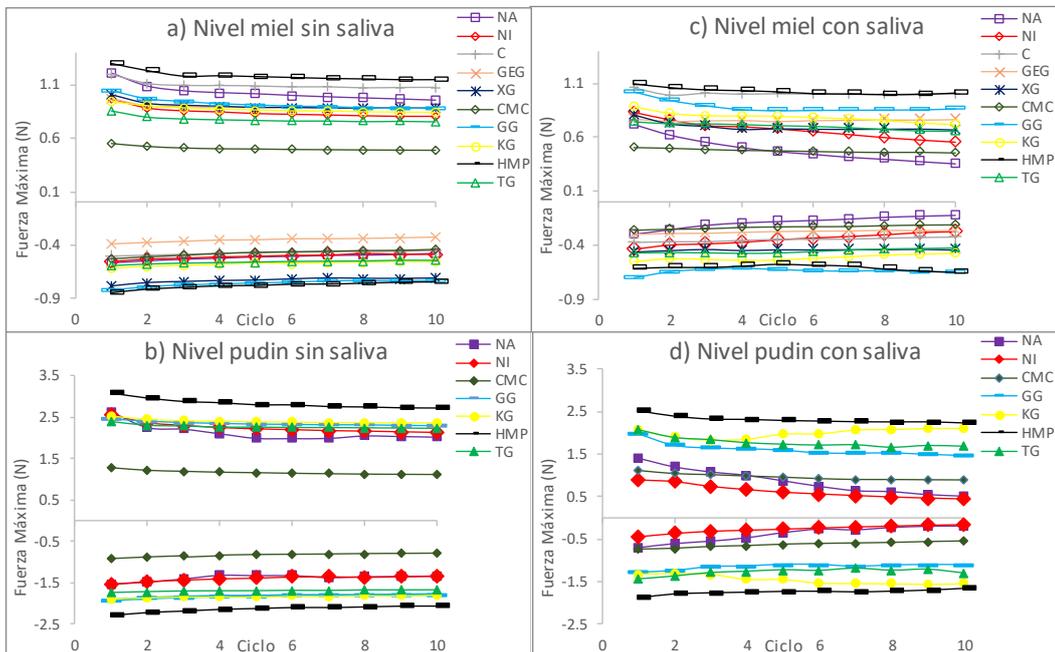


Figura 7. Evolución de la fuerza máxima positiva - “consistencia” y fuerza máxima negativa – “adhesividad”, durante los ciclos de compresión: a) Nivel miel sin saliva b) Nivel pudin sin saliva c) Nivel miel con saliva d) Nivel pudin con saliva.

En ausencia de saliva, a ambos niveles, se observa una disminución gradual, aunque no significativa, de todos los parámetros medidos conforme aumenta el número de ciclos, lo que puede atribuirse a la ruptura progresiva de la estructura del material durante las etapas de compresión, de distancia

fija y de descompresión (Chung et al., 2013). A ambos niveles, CMC mostró una FM-C significativamente inferior al resto de muestras, mientras HMP exhibió la mayor FM-C, la cual no presentó diferencias significativas con NA ni NI a ambos niveles, ni con C, XG y GG a nivel miel. HMP presentó una FM-A significativamente mayor al resto de muestras a ambos niveles, aunque con valores similares a XG a nivel miel y a GG a ambos niveles; y GEG a nivel miel, con valores similares a NA, NI, C y CMC, y, CMC a nivel pudin, mostraron los valores significativamente más bajo de FM-A. La menor viscosidad aparente a $10s^{-1}$, significativamente diferente al resto de muestras, la presentó CMC a ambos niveles, mientras a nivel miel, NA mostró el mayor valor de viscosidad aparente a $10s^{-1}$, aunque similar a C, XG, y GG; a nivel pudin, NI, GG, y KG mostraron los valores más altos, seguidos de NA y TG.

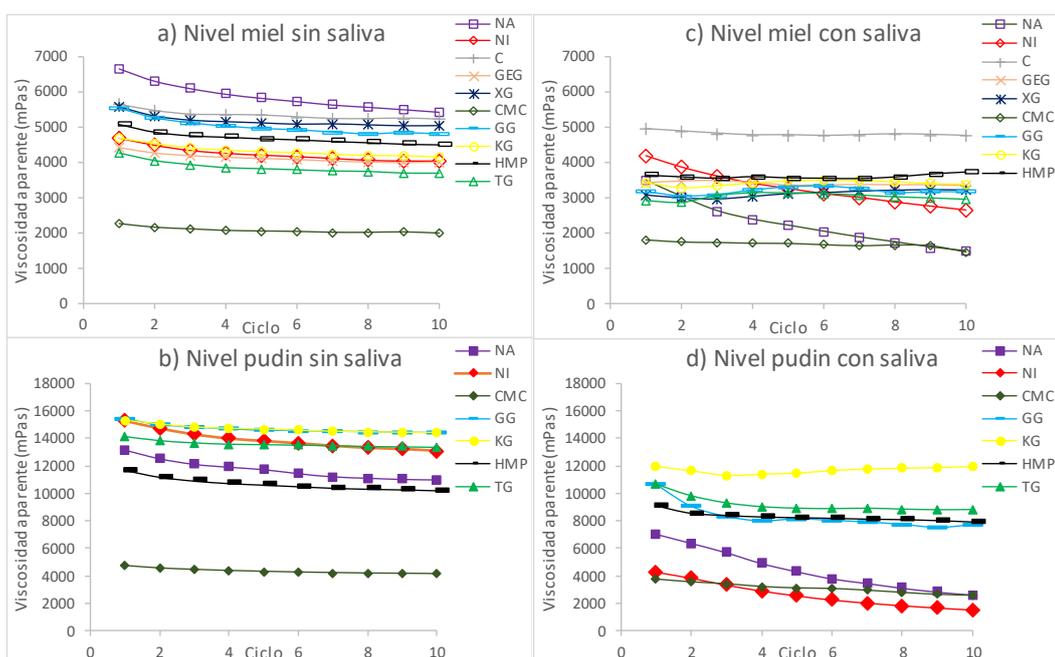


Figura 8. Evolución de la viscosidad aparente a $10s^{-1}$ (mPas) durante la etapa de distancia fija en los diferentes ciclos: a) Nivel miel sin saliva b) Nivel pudin sin saliva c) Nivel miel con saliva d) Nivel pudin con saliva.

En presencia de saliva, a ambos niveles, todos los parámetros medidos disminuyen respecto a las muestras sin saliva lo que puede atribuirse al efecto de dilución por la adición de saliva a la muestra. El mayor efecto de la saliva sobre los tres parámetros estudiados, a medida que aumentan los ciclos de masticación, se observa en las muestras NA y NI en ambos niveles. Ambas muestras presentan almidón en su composición y por tanto la disminución observada se atribuye a la degradación enzimática que la α -amilasa ejerce sobre los gránulos de almidón. Esto podría resultar alimentos con textura modificada menos seguros para pacientes con disfagia. De acuerdo con Ishihara et al. 2011, la saliva debería funcionar como aglutinante para formar el bolo y como lubricante para las partículas fragmentadas, haciendo que el bolo sea estructuralmente homogéneo y cohesivo. En las figuras 8a y 8b, se puede observar que los perfiles de C en ausencia y presencia de saliva no difieren significativamente, lo que podría indicar una menor miscibilidad con la

saliva indicando una falta de lubricación y homogeneidad del bolo, y, por lo tanto, un producto más difícil de tragar. Además, componentes más viscosos son más miscibles con la saliva que componentes más elásticos, por lo que muestras con mayor componente viscoso que elástico resultan más fáciles de tragar.

Cuando los resultados instrumentales se analizan globalmente, se observa que C mostró una estructura de gel más fuerte comparado con el resto de las cremas de guisantes con textura modificada, presentando los mayores valores de dureza, gomosidad y G'_{LVR} , y menor n' ; que necesita de un mayor esfuerzo para el inicio de la ruptura del material (mayor $\sigma_{m\acute{a}x}$) pero que al presentar una baja flexibilidad (menor $\gamma_{m\acute{a}x}$) hace que la crema sea más frágil y pueda romperse fácilmente en fragmentos debido a los bajos valores de $\tan \delta$ y altos valores de área de histéresis. Asimismo, dada la estructura heterogénea, y la baja miscibilidad con la saliva, puede resultar no seguro para tragar en personas con problemas de disfagia. CMC presentó menor dureza, gomosidad, G'_{LVR} , $\sigma_{m\acute{a}x}$, y área de histéresis; mayor n' , y valores de $\tan \delta$ intermedios, lo que resulta en una estructura de gel más débil con una mayor contribución del componente viscoso, que mantiene mejor su estructura y que puede resultar en un bolo más fácil de tragar. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Sharma et al. 2017. GEG exhibió un comportamiento similar a C, con una diferencia menos marcada frente al resto de hidrocoloides, pero con menor FM-Ay un área de histéresis más baja, lo que podría resultar en la formación de un bolo que podría mantener mejor la estructura que C. NA y NI también se comportaron de manera próxima a C, con altos valores de dureza, gomosidad, G'_{LVR} , área de histéresis y punto de flujo, bajos valores de n' y $\tan \delta$, pero con un valor de $\sigma_{m\acute{a}x}$ intermedio y de $\gamma_{m\acute{a}x}$ relativamente alto. TG y KG mostraron un comportamiento próximo a CMC, con valores de $\tan \delta$ comparativamente más altos, lo que podría resultar en la formación bolo aún más fácil de tragar. XG y GG mostraron un comportamiento intermedio, aunque XG presentó una alta flexibilidad y un elevado esfuerzo para fluir (valores de $\gamma_{m\acute{a}x}$ y punto de flujo altos). Un comportamiento particular se observó con HMP que presentó una estructura de gel débil con una alta contribución del componente viscoso (bajos valores de $\sigma_{m\acute{a}x}$, G'_{LVR} , dureza, y altos valores de $\tan \delta$, n' y área de histéresis) cuando se aplican diferentes deformaciones, pero mostró una estructura más sólida cuando el material se encuentra en reposo, lo que quedó evidenciado por los altos valores de FM-C durante las etapas de compresión en los ciclos de masticación, a pesar de exhibir la menor viscosidad aparente a 10 s^{-1} . Sharma et al. 2017 reportó un comportamiento parecido para pures de zanahorias espesados con pectina, aunque con mayores valores de dureza y cohesividad.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos instrumentales del presente estudio confirman que distintos hidrocoloides difieren en su comportamiento viscoelástico independientemente de presentar valores de viscosidad aparente, a 50 s^{-1} y 25°C , equivalentes, por lo que es posible optimizar la

estructura de alimentos destinados a personas con problemas de disfagia, haciéndolos más fácil de tragar, mediante la modificación de su balance viscoelástico. En cremas de guisantes con texturas modificadas a nivel miel y pudín, esto puede alcanzarse utilizando hidrocoloides que aporten mayor componente viscoso y, por tanto, presenten mayor miscibilidad con la saliva, como, por ejemplo, CMC, TG y KG.

Con el fin de obtener una visión completa del comportamiento reológico de los hidrocoloides estudiados, sería interesante realizar un estudio de consumidores con pacientes que presenten problemas de disfagia, como así también evaluar la influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Además, es necesario investigar las propiedades de lubricación a través de ensayos tribológicos a fin de comprender el comportamiento de los diferentes hidrocoloides en la cavidad bucal, y, por tanto, evaluar su facilidad de deglución.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (España) por el apoyo financiero proporcionado a través del Proyecto RTI2018-098842-B-I00.

6. REFERENCIAS

- Alvarez, M. D., Fuentes, R., Guerrero, G., Canet, W. 2017. Characterization of commercial Spanish hummus formulation: Nutritional composition, rheology, and structure. *International Journal of Food Properties*, 20(4):845-863.
- Alvarez, M.D.; Canet W. 2013. Time-Independent and Time-Dependent Rheological Characterization of Vegetable-Based Infant Purees. *Journal of Food Engineering*, 114:449–464.
- Cichero, J.Y., Steele, C., Duivesteyn, J., Clavé, P., Chen, J., Kayashita, J., Dantas, R., Lecko, C., Speyer, R., Lam, P., Murray, J. 2013. The need for international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened liquids used in dysphagia management: foundations of a global initiative. *Curr. Phys. Med. Rehab. Rep.* 1: 280–291.
- Cichero, J. A. Y., Lam, P., Steele, C. M., Hanson, B., Chen, J., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Kayashita, J., Lecko, C., Murray, J., Pillay, M., Riquelme, L., Stanschus, S. 2017. Development of International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Fluids Used in Dysphagia Management: The IDDSI Framework. *Dysphagia*, 32:293–314.
- Chen, J. 2009. Food oral processing - a review. *Food Hydrocolloids*, 23(1):1-25.
- Chung, C., Degner, B., McClements, D. J. 2012. Instrumental mastication assay for textural assessment of semi-solid foods: Combined cyclic squeezing flow and shear viscometry. *Food Research International*, 49:161-169.
- Chung, C., Olson, K., Degner, B., McClements, D. J. 2013. Textural Properties of model food sauces: Correlation between simulated mastication and sensory evaluation methods. *Food Research International*, 51:310-320.
- Dolz, M., González, F., Delegido, J., Hernández, M. J., Pellicer, J. 2000. A time-dependent expression for thixotropic areas. Application to aerosil 100 hydrogels. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 89:790–797.
- Gallegos, C., Quinchia, L., Ascanio, G., Salinas-Vázquez, M. 2012. Rheology and dysphagia: an overview. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, 20:3-10.

- Garcia, J. M., Chambers, E., Matta, Z., Clark, M. 2005. Viscosity measurements of nectar- and honey-thick liquids: Product, liquid, and time comparisons. *Dysphagia*, 20(4):325-335.
- Hanson, B., Cox, B., Kaliviotis, E., Smith, C.H. 2012a. Effects of saliva on starch thickened drinks with acidic and neutral pH. *Dysphagia*, 27:427-435.
- Hanson, B., O'Leary, M. T., Smith, C.H. 2012b. The effect of saliva on the viscosity of thickened drinks. *Dysphagia*, 27:10-19.
- Harris, M., Edgar, M., Meghji, S. 1997. Saliva: Its secretion, composition and functions. In: *Clinical oral science*. London: Butterworth Heinemann.
- Huang, M., Kennedy, J. F., Li, B., Xu, X., Xie, B. J. 2007. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymers*, 69(3):411-418.
- Ikeda, S., Nishinari, K. 2001. "Weak gel"-type rheological properties of aqueous dispersions of non-aggregated k-carrageenan helices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49:4436-4441.
- Irani, M., Razavi, S. M. A., Abdel-Aal, E. S. M., Hucl, P., Patterson, C. A. 2019. Viscoelastic and textural properties of canary seed starch gels in comparison with wheat starch gel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124:270–281.
- Ishihara, S., Nakauma, M., Funami, T., Odake, S., Nishinari, K. 2011. Swallowing profiles of food polysaccharide gels in relation to bolus rheology. *Food Hydrocolloids*, 25(5):1016-1024
- Jiang, B.; Li, W.; Hu, X.; Wu, J.; Shen, Q. 2015. Rheology of Mung Bean Starch Treated by High Hydrostatic Pressure. *International Journal of Food Properties*, 18:81–92.
- Leonard, R. J., White, C., McKenzie, S., & Belafsky, P. C. 2014. Effects of bolus rheology on aspiration in patients with dysphagia. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(4):590-594.
- Mackley, M. R., Tock, C., Anthony, R., Butler, S. A., Chapman, G., Vadillo, D.C. 2013. The rheology and processing behavior of starch and gum-based dysphagia thickeners. *Journal of Rheology*, 57(6):1533–1553.
- Martino, R., Foley, N., Bhogal, S., Diamant, N., Speechley, M., Teasell, R. 2005. Dysphagia after stroke: Incidence, diagnosis, and pulmonary complications. *Stroke*, 36(12):2756-2763.
- Moret-Tatay, A., Rodríguez-García, J., Martí-Bonmatí, E., Hernando, I., Hernández, M. J. 2015. Commercial thickeners used by patients with dysphagia: Rheological and structural behaviour in different food matrices. *Food Hydrocolloids*, 51:318-326.
- National Dysphagia Diet: Standardization for Optimal Care. 2002. Chicago: American Diet Association.
- Okechukwu, P.E., Rao, M.A. 1999. Literature values of rheological properties of foods. En: Rao, M. A (ed). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods –Principles and Applications*. Aspen publishers, Gaithersburg, MD, USA, 255–317.
- Sharma, M., Kristo, E., Corredig, M., Duizer, L. 2017. Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures. *Food Hydrocolloids*, 63:478-487.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd Ed. Freeman Press: East Lansing, MI.
- Tárrega, A., Durán, L., Costell, E. (2004). Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. *International Dairy Journal*, 14, 4, 345-353
- Torres, O., Yamada, A., Rigby, N. M., Hanawa, T., Kawano, Y., Sarkar, A. 2019. Gellan gum: A new member in the dysphagia thickener family. *Biotribology*, 17:8-18.
- Van Hecke, E., Nguyen, P.U., Clause, D., Lanoiselle, J. L. 2012. Flow behaviour of carrot puree: modelling the influence of time, temperature and potato flakes addition. *International Journal of Food Science and Technology*, 47:177–185.
- Van Vliet, T. 2002. On the relation between texture perception and fundamental mechanical parameters for liquids and time dependent solids. *Food Quality and Preference*, 13(4):227-236.
- Yousefi, A. R., Razavi, S. M. A. 2015. Dynamic rheological properties of wheat starch gels as affected by chemical modification and concentration. *Starch/Staerke*, 67:567–576.
- Zargaraan, A., Rastmanesh, R., Fadavi, G., Zayeri, F., Mohammadifar, M. A. 2013. Rheological aspects of dysphagia-oriented food products: a mini review. *Food Science Hum. Wellness*, 2:173-178.