



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL
MEDIO NATURAL

***EFECTO DE LA ADICIÓN DE ALMIDÓN
MODIFICADO Y MUCÍLAGO DE
SEMILLAS DE CHÍA EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS,
SENSORIALES Y DIGESTIVAS DE UN
PURÉ DE POLLO Y VERDURAS***

*TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
LOS ALIMENTOS*

ALUMNA: López Chuliá, Marina

TUTOR ACADÉMICO: Talens Oliag, Pau

TUTORAS EXPERIMENTALES: Ribes Llop, Susana

Gallego Ibáñez, Marta

Curso académico: 2020-2021

Valencia, junio 2021

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ALMIDÓN MODIFICADO Y MUCÍLAGO DE SEMILLAS DE CHÍA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, SENSORIALES Y DIGESTIVAS DE UN PURÉ DE POLLO Y VERDURAS

Resumen:

La disfagia es una enfermedad en la que se produce una reducción de la capacidad para deglutir. Esta condición suele aparecer en personas mayores y también puede darse en pacientes con patologías que afecten a las capacidades neurológicas, como el ictus o Parkinson. La dificultad para tragar supone un gran problema a la hora de consumir ciertos tipos de alimentos, tanto sólidos como líquidos. Los purés son la comida más segura para estas personas ya que presentan más viscosidad que un líquido, aumentando el tiempo de tránsito en la faringe y permitiendo así una mejor respuesta de los músculos cuando el bolo atraviesa este conducto. Al mismo tiempo, es fácil de controlar su viscosidad modificándola con hidrocoloides. En el presente trabajo se ha evaluado la influencia de la adición de almidón modificado (AM) y mucílago de semillas de chía (CSM) como espesantes, sobre el color, la textura, la reología, las propiedades sensoriales y de digestibilidad de un puré de pollo y verduras orientado a personas con disfagia. Ambos hidrocoloides se utilizaron para modificar la textura de las muestras a nivel pudín. Los resultados mostraron que la adición de AM y CSM aumentó la consistencia y firmeza del puré, además estas muestras presentaron un comportamiento de gel débil, considerándose apropiadas para pacientes disfágicos. La evaluación sensorial reflejó que la adición de AM y CSM a los purés no modificó el color, el sabor y la aceptación general, pero estas muestras presentaron la puntuación más alta en relación a la consistencia oral. Sin embargo, el puré elaborado con AM fue menos aceptado que el CSM en cuanto a adhesividad oral. El ensayo de masticación indicó que el puré con CSM mantuvo mejor la consistencia, la adhesividad y la viscosidad aparente en presencia de saliva, lo que facilitaría una deglución segura en pacientes con disfagia. Durante la digestión gastrointestinal simulada, el CSM mantuvo la mayor consistencia y viscosidad aparente durante las primeras etapas de la digestión, siendo la muestra menos afectada por la acción enzimática en las fases oral y gástrica. No obstante, la digestibilidad de las proteínas en el CSM no se vio comprometida, mientras que la tasa de digestión del almidón fue menor que la del AM y la muestra control. Los resultados del presente trabajo demuestran la importancia de estudiar las propiedades mecánicas, sensoriales y digestivas de los alimentos con textura modificada en el diseño de productos para personas con problemas de deglución, así como evidencia el potencial del CSM como espesante alternativo a los hidrocoloides comerciales.

Palabras clave: disfagia, espesantes, reología, masticación, análisis sensorial, digestión gastrointestinal *in vitro*.

Autora: Marina López Chuliá

Tutor académico: Pau Talens Oliag

Tutoras experimentales: Susana Ribes Llop y Marta Gallego Ibáñez

Valencia, junio 2021.

EFFECT OF THE ADDITION OF MODIFIED STARCH AND CHIA SEED MUCILAGE ON THE MECHANICAL, SENSORY AND DIGESTIVE PROPERTIES OF A CHICKEN AND VEGETABLES PUREE

Abstract:

Dysphagia is a disease in which the ability to swallow is reduced. This disorder is common in older people and can also appear in patients with pathologies that affect their neurological capacities, such as stroke or Parkinson's disease. Swallowing difficulty is a major problem when consuming certain types of food, both solids and liquids. Purees are the safest food for these people as their viscosity is higher than that of a liquid, increasing the transit time in the pharynx and allowing a better response of the muscles when the bolus passes through the throat. At the same time, it is easy to control viscosity of purees by modifying it with the use of hydrocolloids. In the present work, the influence of the addition of modified starch (AM) and chia seed mucilage (CSM) as thickeners on colour, texture, rheology, sensory, and digestibility properties of a chicken and vegetable puree for people with dysphagia has been evaluated. Both hydrocolloids were used to modify the texture of the samples for achieving a pudding level. The results showed that the addition of AM and CSM increased the consistency and firmness of the puree, and these samples showed a weak gel behaviour, making them suitable for dysphagic patients. Sensory evaluation showed that the addition of AM and CSM to the purees did not change the colour, taste, and acceptance of the purees, but these samples had the highest score in relation to oral consistency. However, the puree with AM was less acceptable than that with CSM in terms of oral adhesiveness. The mastication assay showed that the CSM puree maintained better consistency, adhesiveness, and apparent viscosity in the presence of saliva, which would facilitate a safe swallowing in patients with dysphagia. During simulated gastrointestinal digestion, CSM maintained the highest consistency and apparent viscosity during the early stages of digestion, being the sample least affected by enzymatic action during the oral and gastric phases. However, protein digestibility for this sample, was not compromised, whereas it showed a lower rate of starch digestion compared to the AM and control. The results of the present work demonstrate the importance of studying the mechanical, sensory, and digestive properties of texture-modified foods in the design of products for people with swallowing problems, as well as evidence the potential of CSM as an alternative thickener to commercial hydrocolloids.

Keywords: dysphagia, thickening agents, rheology, mastication assay, sensory analysis, *in vitro* gastrointestinal digestion.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Ministerio Español de Ciencia e Innovación la financiación de este trabajo a través del proyecto RTI2018-098842-B-100.

ÍNDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | ALIMENTOS CON TEXTURA MODIFICADA Y SU IMPORTANCIA EN PERSONAS CON DISFAGIA | 1 |
| 1.2 | USO DE HIDROCOLOIDES COMO ESPESANTES EN ATM..... | 3 |
| 1.2.1 | <i>Almidón modificado (AM)</i> | 4 |
| 1.2.2 | <i>Mucílago de las semillas de chía (CSM)</i> | 4 |
| 1.3 | NUTRICIÓN Y DIGESTIBILIDAD DE ATM..... | 4 |
| 2 | OBJETIVOS | 6 |
| 2.1 | OBJETIVO GENERAL | 6 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 6 |
| 3 | MATERIAL Y MÉTODOS..... | 7 |
| 3.1 | MATERIA PRIMA Y REACTIVOS..... | 7 |
| 3.2 | EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LAS SEMILLAS DE CHÍA (CSM)..... | 7 |
| 3.3 | PREPARACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS MUESTRAS..... | 8 |
| 3.4 | CARACTERIZACIÓN DEL COLOR Y TEXTURA DE LAS MUESTRAS | 9 |
| 3.5 | CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y VISCOELÁSTICA DE LAS MUESTRAS..... | 9 |
| 3.5.1 | <i>Determinación del comportamiento de flujo</i> | 10 |
| 3.5.2 | <i>Determinación de las propiedades viscoelásticas</i> | 10 |
| 3.6 | ENSAYO DE MASTICACIÓN | 10 |
| 3.7 | EVALUACIÓN SENSORIAL..... | 11 |
| 3.8 | DIGESTIÓN GASTROINTESTINAL IN VITRO..... | 11 |
| 3.9 | CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DIGERIDAS | 12 |
| 3.10 | ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD | 12 |
| 3.11 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 13 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 14 |
| 4.1 | CARACTERIZACIÓN DE COLOR Y TEXTURA..... | 14 |
| 4.2 | CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y VISCOELÁSTICA DE LAS MUESTRAS..... | 15 |
| 4.2.1 | <i>Determinación del comportamiento de flujo</i> | 15 |
| 4.2.2 | <i>Caracterización de las propiedades viscoelásticas</i> | 16 |
| 4.3 | ENSAYO DE MASTICACIÓN | 21 |
| 4.4 | EVALUACIÓN SENSORIAL..... | 24 |
| 4.5 | CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DIGERIDAS..... | 25 |
| 4.6 | DIGESTIBILIDAD PROTEICA..... | 28 |
| 5 | CONCLUSIONES | 31 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 32 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Ingredientes y cantidades empleadas para la elaboración del puré de pollo y verduras. | 8 |
| Tabla 2. Concentración de cada hidrocoloide (AM: Almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) incorporado al puré y viscosidad aparente (η_{app}) determinada a un gradiente de velocidad de 50 s^{-1} y a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ | 8 |
| Tabla 3. Concentración de electrolitos en los fluidos digestivos utilizados en la DGI simulada. | 11 |
| Tabla 4. Atributos y diferencia de color de las muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 14 |
| Tabla 5. Parámetros reológicos de la muestra de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 16 |
| Tabla 6. Parámetros viscoelásticos obtenidos de la determinación de la región viscoelástica lineal (LVR) del puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 18 |
| Tabla 7. Parámetros de las propiedades del gel de las muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 20 |
| Tabla 8. Parámetros viscoelásticos, a 1 Hz , de las diferentes muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 20 |
| Tabla 9. Parámetros reológicos de las distintas muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) y del efecto dilución. | 27 |
| Tabla 10. Concentración de proteínas solubles, péptidos solubles en $5\% \text{ TCA}$, grupos amino libres y azúcares reductores de los purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) sin digerir y en las diferentes fases de la digestión <i>in vitro</i> | 29 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Parámetros de textura del puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de semillas de chía) obtenidos en el ensayo de extrusión inversa. a) área bajo la curva, b) Fuerza máxima. Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$). | 15 |
| Figura 2. Dependencia a) del módulo elástico y b) módulo viscoso frente al esfuerzo para el puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía)..... | 17 |
| Figura 3. Dependencia del a) módulo elástico (G'), b) módulo viscoso (G''), y c) tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) frente a la frecuencia de los purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 19 |
| Figura 4. Representación de la fuerza normal frente al tiempo durante un ciclo de masticación (C = compresión; FG/S = distancia fija con gradiente de velocidad; D= descompresión). | 21 |
| Figura 5. Perfil de masticación típico para los diferentes purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía). | 22 |
| Figura 6. Evolución de a) fuerza máxima positiva y fuerza máxima negativa y b) viscosidad aparente medida a 10 s^{-1} durante los 10 ciclos de masticación simulada de los purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) con y sin saliva. | 23 |
| Figura 7. Puntuación media de los atributos sensoriales evaluados en el puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado y CSM: mucílago de semillas de chía). El asterisco (*) indica diferencias significativas entre las muestras ($p < 0,05$) ($n = 50$). | 24 |
| Figura 8. Curva de flujo para cada puré y efecto dilución (ED) en las diferentes fases de la digestión gastrointestinal <i>in vitro</i> : a) C, control, b) AM, almidón modificado y c) CSM, mucílago de las semillas de chía. | 26 |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|--------------------------------|--|
| ATM | Alimento con textura modificada |
| NDDTF | <i>National Dysphagia Diet Task Force</i> |
| η_{app} | Viscosidad aparente |
| ISDDI | <i>International Dysphagia Diet Standardisation Initiative</i> |
| AM | Almidón modificado |
| CSM | Mucílago de semillas de chía |
| SDS | Dodecilsulfato sódico |
| TNBS | Ácido trinitrobencenosulfónico |
| DNS | Ácido 3,5-dinitrosalicílico |
| BSA | Albúmina de suero bovina |
| TCA | Ácido tricloroacético |
| L* | Luminosidad |
| h_{ab}^* | Tono |
| C_{ab}^* | Croma o pureza |
| ΔE | Diferencias de color |
| σ | Esfuerzo cortante |
| σ_0 | Umbral de fluencia |
| $\dot{\gamma}$ | Gradiente de velocidad |
| K | Índice de consistencia |
| n | Índice de comportamiento al flujo |
| R² | Coefficiente de correlación |
| LVR | Región viscoelástica lineal |
| LAOS | Ensayo oscilatorio de gran amplitud |
| G'_{LVR} | Módulo elástico en la LVR |
| σ_{LVR} | Esfuerzo en la LVR |
| n' | Pendiente de $\ln G'_0$ |
| n'' | Pendiente de $\ln G''_0$ |
| G'_0 | Módulo elástico o de almacenamiento a 1 Hz |
| G''_0 | Módulo viscoso o de pérdida a 1 Hz |
| $G'_0 - G''_0$ | Fuerza del gel |
| SAOS | Ensayo oscilatorio de pequeña amplitud |
| η^* | Viscosidad compleja |
| G^* | Módulo complejo |
| G' | Módulo elástico o de almacenamiento |
| G'' | Módulo viscoso o de pérdida |
| Tan δ | Tangente del ángulo de fase (G''/G') |
| DGI | Digestión gastrointestinal |
| FSS | Fluido salival simulado |
| FGS | Fluido gástrico simulado |
| FIS | Fluido intestinal simulado |
| ED | Efecto dilución |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Alimentos con textura modificada y su importancia en personas con disfagia*

Alimento con textura modificada (ATM) es un término empleado para aquellos alimentos en los que se cambia su consistencia para obtener una textura más suave y/o una reducción en el tamaño de partícula, lo que permite reducir el riesgo de atragantamiento en las personas con problemas de deglución (Cichero, 2016). Estos productos incluyen desde líquidos a sólidos blandos, los cuales se obtienen mediante técnicas como el picado, triturado, licuado y espesado (Abu Zarim *et al.*, 2018; Cichero *et al.*, 2013; *IDDSI*, 2019). A la hora de evaluar el riesgo de atragantamiento, además de las texturas o formas de los alimentos también hay que tener en cuenta el motivo por el cual la persona tiene problemas de deglución. Aquellos individuos con un deterioro cognitivo o discapacidad intelectual tienen mayor riesgo de asfixia, aunque el riesgo en aquellos que tienen problemas por pérdida de dientes o reducción en la fuerza de masticación también es elevado (Chen, 2009; Samuels y Chadwick, 2006; Wick *et al.*, 2006). La dificultad a la hora de tragar se denomina disfagia, y se caracteriza por la disminución de la capacidad de deglución, experimentando dificultades tanto con alimentos sólidos como líquidos (Blanař *et al.*, 2019). Existen dos tipos de disfagia: la orofaríngea y la esofágica. La primera se manifiesta como una dificultad para iniciar la deglución, produciéndose tos, atragantamiento o aspiración en el individuo, y suele estar causada por afecciones neurológicas crónicas como el ictus, la enfermedad de Parkinson o la demencia. Los pacientes con disfagia esofágica pueden manifestar una sensación de atasco de los alimentos después de tragar. Esta afección está causada con mayor frecuencia por la enfermedad de reflujo gastroesofágico y los trastornos funcionales del esófago (Wilkinson *et al.*, 2021).

Según las Naciones Unidas, la población mundial mayor de 80 años representa más de 0,1 billones de personas actualmente, estimándose que en 2040 serán más de 0,3 billones (United Nations, 2019). Esto señala la urgente demanda en la producción de productos blandos y sabrosos que sean seguros y nutricionalmente buenos para las personas mayores (Aguilera y Park, 2016). Con el aumento de la edad se reduce la fuerza en la musculatura orofaríngea, y si a esto se le suma la pérdida de dientes y la xerostomía (cambios en el flujo de la saliva), la habilidad de ingerir correctamente comidas con consistencias duras y con texturas fibrosas se ve comprometida, aumentando el riesgo de atragantamiento. Es por ello que en estos casos, las texturas de los alimentos deben ser blandas e hidratadas, y se deben evitar texturas pegajosas, adhesivas y fibrosas que no se desintegren bien en la boca (Cichero, 2016). Los alimentos muy líquidos podrían suponer un peligro, ya que pueden provocar atragantamientos debido a que fluyen a altas velocidades ($0,1 - 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y los individuos no tienen el control ni el tiempo suficiente para cerrar la entrada de aire cuando el líquido llega a la laringe (Su *et al.*, 2018). El objetivo de los ATM es conseguir que se forme un bolo “seguro para tragar”, cohesivo y resbaladizo, que se desintegre y se mezcle en la boca solo con la lengua contra el paladar, sin necesidad de usar los dientes (Aguilera y Park, 2016; Cichero, 2016; Ishihara *et al.*, 2013).

Dentro de los ATM cabe destacar los purés, debido a que son una de las comidas más segura para las personas con problemas de deglución. Los purés presentan mayor viscosidad que un líquido y aumentan el tiempo de tránsito en la faringe, permitiendo una mejor respuesta de los músculos cuando el bolo llegue a la faringe (Vieira *et al.*, 2021). Además, la mayor ventaja es su facilidad a la hora de controlar la viscosidad, ya que es sencillo modificarla con hidrocoloides de acuerdo a las distintas necesidades de los individuos (Abu Zarim *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2017).

En 2002, la Asociación Dietética Americana elaboró unas recomendaciones según las directrices de la National Dysphagia Diet (NDD) para describir los ATM (National Dysphagia Diet Task Force & American Dietetic Association, 2002). Para clasificar estos alimentos en base a su viscosidad, determinada a un gradiente de velocidad de 50 s^{-1} y a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, se sugirieron cuatro niveles de consistencia:

- Fino (*Thin*): 1-50 cP (o mPa·s)
- Tipo néctar (*Nectar-like*): 51-350 cP (o mPa·s)
- Tipo miel (*Honey-like*): 351-1.750 cP (o mPa·s)
- Cuchara o pudín espeso (*Spoon or Pudding thick*): >1.750 cP (o mPa·s).

Como se ha comentado anteriormente, los pacientes con disfagia deben consumir alimentos espesados para una deglución segura, ya que el paso del bolo alimenticio es más lento permitiéndoles controlar mejor su musculatura orofaríngea (Vieira *et al.*, 2021). Sin embargo, cabe remarcar que productos con viscosidades altas pueden provocar la formación de un bolo demasiado cohesivo, pudiendo causar una dificultad al tragar debido a la alta resistencia a una deformación por estiramiento (Ibañez *et al.*, 2019). Estos autores afirman que, como la cohesividad de un fluido está relacionada con su viscosidad extensional máxima, el valor de viscosidad aparente (η_{app}) puede ser usado como medida estándar para la elaboración de productos específicos para disfagia, aunque serían necesarios más estudios que aporten información complementaria sobre el proceso de deglución.

La clasificación elaborada por la NDDTF está basada en la η_{app} del producto medida a un único gradiente de velocidad (50 s^{-1}) y a una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, la η_{app} no es el único parámetro relacionado con el tránsito del bolo alimenticio cuando se evalúa la textura de productos seguros para personas con disfagia (Ibañez *et al.*, 2019). Se ha demostrado que la adición de espesantes no solamente produce un aumento de la η_{app} , sino que también provoca cambios en la consistencia y en la cohesividad (Vieira *et al.*, 2021). Por esta razón, es importante el estudio de diferentes parámetros reológicos además de la η_{app} , sobre todo aquellos que determinan el comportamiento viscoelástico del producto, ya que el equilibrio entre el componente elástico y viscoso del fluido es lo que va a determinar la cohesividad del alimento en el masticado, algo que muchos autores destacan como el parámetro reológico clave y dominante en la deglución (Abu Zarim *et al.*, 2018; Herranz *et al.*, 2021; Ishihara *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2017; Syahariza y Yong, 2017). Asimismo, la deglución es un proceso dinámico que depende de la fuerza aplicada y puede alcanzar gradientes de velocidad desde 5 hasta 1.000 s^{-1} (Herranz *et al.*, 2021). Por ello, estos autores consideran necesario el estudio de la η_{app} a diferentes gradientes de velocidad para así estudiar una mejor representación del proceso de deglución. Además, el empleo de otros ensayos como los barridos de oscilación de pequeña

amplitud proporcionan información sobre los cambios en la estructura interna de los alimentos producida por la adición de los hidrocoloides, permitiendo un mejor conocimiento sobre lo que ocurre en la deglución (Moret-Tatay *et al.*, 2015).

En 2013 se creó una comisión llamada *International Dysphagia Diet Standardisation Initiative* (IDDSI) para desarrollar una terminología general internacional y ayudar a determinar las necesidades de los individuos que sufren disfagia. Este organismo creó un marco completo de definiciones detalladas para ATM en el que diferencia 8 niveles, donde las bebidas ocupan los niveles 0-4 y las comidas los niveles 3-7, además de establecer la terminología para la descripción de texturas en bebidas y alimentos (IDDSI, 2019). Según afirma la IDDSI, los niveles que desarrollaron están respaldados por métodos simples de medición que pueden ser empleados por personas con disfagia, cuidadores, médicos, profesionales e industria alimentaria interesada en confirmar el nivel de textura de un alimento. Sin embargo, la industria alimentaria necesita un análisis reológico completo para el desarrollo de un nuevo producto espesado que garantice que sea adecuado para este colectivo, como son curvas de flujo y ensayos oscilatorios, permitiendo así determinar el comportamiento del producto aplicando diferentes magnitudes de fuerzas (Hadde y Chen, 2019; Vieira *et al.*, 2021).

1.2 *Uso de hidrocoloides como espesantes en ATM*

Los hidrocoloides son empleados en la industria alimentaria para mejorar la consistencia y la cohesividad, reduciendo también la sinéresis en los ATM (Sharma y Duizer, 2019). Estos espesantes alimentarios son comercializados en forma de polvo para que pueda añadirse fácilmente a bebidas o comidas blandas como purés, y suelen estar compuestos por almidón de maíz modificado o gomas naturales (Moret-Tatay *et al.*, 2015; Newman *et al.*, 2016). En la elaboración de productos para personas con disfagia es muy importante conocer el comportamiento de los hidrocoloides para así seleccionar el más adecuado según el producto. Los hidrocoloides otorgan viscosidad a los alimentos ya que forman una red de gel reticulado, en el que las cadenas poliméricas de los alimentos se entrecruzan, provocando el espesamiento de la matriz. En los sistemas diluidos estas cadenas se mueven libremente, por lo que es menos probable que se formen redes densas (Munialo *et al.*, 2020). Esto es lo que ocurre cuando el alimento se introduce en la boca, ya que al mezclarse con la saliva provoca una disminución de la viscosidad. Este efecto es más notable en los hidrocoloides a base de almidón, porque la α -amilasa presente en la saliva hidroliza el almidón provocando que el producto deje de ser tan espeso (Woolnough *et al.*, 2010). Las gomas naturales son polisacáridos también muy empleadas para espesar alimentos, y se suelen usar solas o en combinación con almidones modificados. Las gomas no son hidrolizadas en la cavidad oral y, por ello, en los últimos años han cobrado mayor interés debido a su elevada estabilidad (Yang *et al.*, 2021). Sin embargo, cuando las gomas se usan a cierta concentración puede darse un entrecruzamiento inespecífico que provocaría un aumento de la pegajosidad, lo que puede perjudicar a la capacidad de deglución (Munialo *et al.*, 2020). Los hidrocoloides también tienen un impacto en la microestructura del alimento, la ruptura de las partículas, la fuerza necesaria para deformar el alimento durante la masticación, la lubricación del bolo y el recubrimiento percibido en boca (Sharma y Duizer, 2019). Por esta razón, es importante el estudio de los cambios en las

propiedades reológicas y sensoriales resultantes de la modificación de la textura de los alimentos mediante la adición de hidrocoloides.

1.2.1 *Almidón modificado (AM)*

El almidón es el material de almacenamiento de las plantas, se encuentra en forma de gránulos cuyo tamaño dependerá del tipo de planta. Está compuesto por dos α -glucanos: la amilosa, que es lineal, y la amilopectina, que se encuentra ramificada (Ptaszek *et al.*, 2009). Los gránulos de almidón absorben grandes cantidades de agua durante el proceso de gelatinización, donde una parte de la amilosa difunde fuera del gránulo provocando un aumento de la viscosidad de la matriz (Aguilera y Park, 2016). El almidón puede ser sometido a modificaciones previas que afectarán a sus propiedades funcionales, como puede ser una pregelatinización o una hidrólisis parcial, y entonces pasa a denominarse almidón modificado (AM). Estos procesos hacen que el AM tenga características más deseables que el almidón normal para la industria, ya que son más resistentes, capaces de gelatinizar aunque la matriz esté fría o también pueden reducir la exudación en productos congelados (Hadde y Chen, 2019; Singh *et al.*, 2007). El AM es ingrediente usual en la industria alimentaria, principalmente el procedente del maíz, y puede aportar diferentes características a la matriz, pero comúnmente es empleado como estabilizador en la fabricación y almacenamiento del alimento o como agente espesante.

1.2.2 *Mucílago de las semillas de chía (CSM)*

Las semillas de chía y su mucílago constituyen un ingrediente nutricional y funcionalmente prometedor para la industria alimentaria y farmacéutica debido a su enorme potencial como espesante natural y vegano (Brütsch *et al.*, 2019). Tras remojar las semillas de chía en agua, estas exudan un gel mucilaginoso transparente con un alto contenido de ácido urónico que se mantiene unido a la semilla (Ribes *et al.*, 2021; Tavares *et al.*, 2018; Velázquez-Gutiérrez *et al.*, 2015). El mucílago de las semillas de chía (CSM) es un polisacárido complejo de alto peso molecular. En concreto, es un heteropolisacárido aniónico soluble en agua que se ha identificado como polímero de β -D-xilopiranosil, α -D-glucopiranosil y ácido 4-O-metil- α -D-glucopiranosilurónico (Lázaro *et al.*, 2018). El CSM puede actuar como fuente de fibra dietética aportando hidratación, o como grasa aportando viscosidad a varios alimentos. Al ser una fuente de fibra dietética soluble, tiene un impacto en la digestión y absorción de nutrientes, así como en el transporte del bolo alimenticio debido a su capacidad de formar soluciones viscosas y retener agua (Vera *et al.*, 2020). Por estas características, cada vez más, se está estudiando el uso de CSM como hidrocoloide en productos para personas con disfagia. Además, se ha demostrado que el comportamiento viscoelástico se puede ajustar en función de la concentración de CSM, pudiendo dar a la industria alimentaria el poder de adaptar las propiedades del gel al producto que se quiera elaborar (Brütsch *et al.*, 2019).

1.3 *Nutrición y digestibilidad de ATM*

Uno de los problemas más comunes en personas que presentan problemas de deglución es la malnutrición debido a la limitada alimentación. De hecho, en un reciente estudio realizado por Blanař *et al.* (2019) se determinó que cerca del 40% de los pacientes con disfagia estaban en riesgo de malnutrición. Las deficiencias en energía y nutrientes se deben principalmente a la

disminución en la ingesta de alimentos resultante de cambios fisiológicos y/o reducción del apetito en el individuo. Además, las necesidades de algunos nutrientes como proteínas, vitamina C o calcio aumentan en personas de mayor edad debido a sus importantes funciones en el mantenimiento de los huesos o masa muscular, recuperación de enfermedades y mantenimiento de la funcionalidad (Bauer *et al.*, 2013; Lutz *et al.*, 2019). La malnutrición en estos pacientes puede aparecer debido a que se evitan las dietas con texturas duras, lo que incluiría alimentos ricos en proteína y hierro como carne, aves, pescado, semillas..., y en vitaminas y minerales como fruta y verdura cruda (Aguilera y Park, 2016; Blanař *et al.*, 2019; Cichero, 2016; Cichero *et al.*, 2013). Wright *et al.* (2005) mostraron en su investigación que las personas con una dieta formada por ATM pueden tener una ingesta de energía y proteína menor que aquellos con una dieta normal. Además, las personas cuya dieta está formada principalmente por purés pueden sufrir malnutrición debido a la dilución de nutrientes durante el proceso de modificación de textura (Hotaling, 1992). La formulación y el procesado de los ATM afecta a la organización estructural de los nutrientes presentes en el alimento, lo que a su vez modifica su liberación de la matriz e influye en los procesos de digestión y absorción. Varios trabajos han evaluado las propiedades reológicas de purés de verduras, carne o pescado espesados con hidrocoloides para personas con disfagia (Abu Zarim *et al.*, 2018; Herranz *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2017, 2020; Talens *et al.*, 2021), pero además es interesante evaluar la digestibilidad de los nutrientes. En este sentido, el estudio de Damuleviciene *et al.* (2018) indica que un tratamiento efectivo para la disfagia, y que prevenga la malnutrición, requiere ATM con la cantidad adecuada de proteínas. Se establece el concepto de proteína “rápida o lenta”, relativo a la velocidad de digestibilidad proteica, lo que se considera un factor limitante en la desnutrición. Estos autores observaron que la adición de hidrocoloide, en su caso goma de Konjac, a bebidas podría disminuir la tasa de proteólisis durante la digestión gastrointestinal. Esta disminución puede ocurrir debido a que la gelificación provocada por los hidrocoloides dificulta la capacidad de las enzimas para acceder e hidrolizar las proteínas que forman parte de la conformación en gel (Chen *et al.*, 2018). Por otra parte, está demostrado que el proceso de formación del bolo alimenticio es uno de los principales determinantes de la posterior digestibilidad de nutrientes, ya que su trituración y dilución con la saliva afectarán a su comportamiento posterior. Lo que ocurre cuando hay una adición de hidrocoloide es que las propiedades adhesivas, lubricantes y estructurales de este modificarán las del bolo, provocando posibles cambios en la digestibilidad del alimento (Gidley, 2013). Como reporta este autor, estos cambios influirán en la mezcla, dilución y transporte en el estómago, por ejemplo, por gelificación de los hidrocoloides en las condiciones de acidez del estómago. Esto provocará una ralentización del vaciado gástrico, prolongando la liberación de nutrientes y generando un efecto saciante (Gouseti *et al.*, 2014). Ya que la adición de un hidrocoloide puede afectar a la posterior digestión del alimento, a la hora de elaborar un producto para personas mayores con disfagia es necesario evaluar no sólo las propiedades mecánicas del alimento, sino también cómo afecta el cambio de viscosidad a la digestibilidad de los nutrientes del alimento, principalmente de las proteínas debido a que su déficit es el más común en este colectivo (Bauer *et al.*, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo general*

El objetivo general de este trabajo es evaluar el efecto de la adición de almidón modificado y mucílago de semillas de chía sobre las propiedades mecánicas, sensoriales y de digestibilidad de un puré de pollo y verduras con textura modificada.

2.2 *Objetivos específicos*

Para conseguir este objetivo general, se plantearon diferentes objetivos específicos:

- Evaluar cómo afecta la adición de ambos espesantes al color, propiedades texturales y comportamiento reológico del puré.
- Caracterizar el comportamiento viscoelástico de los distintos purés.
- Simular la masticación en boca en presencia y ausencia de saliva.
- Evaluar las propiedades sensoriales.
- Evaluar el comportamiento reológico de la matriz durante una digestión gastrointestinal simulada.
- Evaluar la digestibilidad *in vitro* de proteínas y almidón.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 *Materia prima y reactivos*

Los ingredientes para elaborar el puré de pollo y verduras se compraron en un supermercado local (Valencia, España). Los hidrocoloides utilizados fueron almidón de maíz modificado (Nutavant®) y mucílago de chía. Nutavant®, es un espesante comercial empleado por personas con problemas de deglución, y se compró en una farmacia local (Valencia, España). El mucílago de chía fue extraído en el laboratorio directamente de las semillas de la chía, las cuales fueron adquiridas en un supermercado local (Valencia, España).

Las enzimas α -amilasa de páncreas porcino Tipo VI-B, pepsina gástrica porcina y pancreatina del páncreas porcino, así como el extracto de bilis porcina, mucina tipo II de estómago porcino, colorante azul de Coomassie G-250, bifosfato de sodio, fosfato disódico, dodecilsulfato sódico (SDS), ácido trinitrobenzenosulfónico (TNBS), ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), albúmina de suero bovina (BSA), L-tirosina, L-leucina y glucosa se adquirieron en Sigma-Aldrich, Co. (St. Louis, MO, EE. UU.). El ácido tricloroacético (TCA), ácido fosfórico, etanol 95%, tartrato de sodio, potasio tetrahidrato, cloruro potásico (>99%), fosfato monopotásico (>99%), bicarbonato de sodio, cloruro de magnesio hexahidrato, carbonato de amonio, cloruro de sodio y cloruro de calcio dihidrato fueron proporcionados por Sharlab, S.L. (Sentmenat, Barcelona, España).

3.2 *Extracción del mucílago de las semillas de chía (CSM)*

El mucílago de las semillas de chía se extrajo siguiendo el protocolo descrito por Ribes *et al.* (2021) con ligeras modificaciones. Las semillas fueron sumergidas en agua destilada (ratio 3:30 (p/p)) y se mezclaron con ayuda de un robot de cocina (Thermomix™31, Vorwerk MSL, España) a 60 °C durante 3 h. Seguidamente, la mezcla se centrifugó (Centrifuge 5804 R, Eppendorf AG, Hamburgo, Alemania) a 20 °C y 10.000 rpm durante 10 min. El mucílago obtenido se liofilizó (LyoQuest-55, Telstar, Terrassa, España) y se almacenó a temperatura ambiente hasta su utilización.

3.3 Preparación y optimización de las muestras

El puré de pollo y verduras se preparó con los ingredientes descritos en la Tabla 1, los cuales se cocinaron a 100 °C durante 50 min en un robot de cocina (Thermomix TM31, Vorwerk MSL, España).

Tabla 1. Ingredientes y cantidades empleadas para la elaboración del puré de pollo y verduras.

| Ingredientes | Cantidad (%) |
|---------------|--------------|
| Agua | 56,5 |
| Pollo | 15 |
| Zanahoria | 12 |
| Aceite | 6 |
| Cebolla | 5 |
| Judías verdes | 3,5 |
| Sal | 2 |

Después de la cocción, el caldo fue retirado y el resto de los ingredientes fueron triturados hasta obtener una mezcla homogénea mediante el uso del robot de cocina (velocidad 10, 1-2 min) y una batidora de mano (1 min). A continuación, la textura de las muestras fue modificada mediante la incorporación de los hidrocoloideos al puré, previamente atemperado en un baño de agua a 70 °C. Las muestras se homogeneizaron con una varilla magnética hasta lograr una dispersión uniforme, y se almacenaron 24 h a 4 °C hasta su caracterización. Las muestras fueron optimizadas hasta obtener una viscosidad aparente (η_{app}), a 50 s⁻¹ y 25 °C, próxima a 2400 mPa·s (nivel pudín). Para ello se hizo uso de un reómetro KinexusPro+ (Malvern Instruments Ltd., MA, EE. UU.) equipado con una geometría placa-placa (PLC61/PU40) y con control de temperatura. La concentración (% p/p) de cada hidrocoloide empleado para preparar las muestras con consistencia nivel pudín, así como sus η_{app} determinadas a 25 °C con un gradiente de velocidad de 50 s⁻¹ se presentan en la Tabla 2. El puré de pollo y verduras al que no se añadió hidrocoloide se usó como muestra control. Se prepararon dos lotes independientes de cada muestra de puré.

Tabla 2. Concentración de cada hidrocoloide (AM: Almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) incorporado al puré y viscosidad aparente (η_{app}) determinada a un gradiente de velocidad de 50 s⁻¹ y a 25 °C.

| Tipo de muestra | Concentración hidrocoloide (% p/p) | η_{app} (mPa·s) |
|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Control | - | 895 ± 13 ^b |
| AM | 1,5 | 2417 ± 52 ^a |
| CSM | 1 | 2444 ± 91 ^a |

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$).

3.4 Caracterización del color y textura de las muestras

Para la determinación de los parámetros de color se utilizó un espectrocolorímetro Konica Minolta CM-700d (Tokio, Japón), con el que se registraron los espectros de reflexión de las diferentes muestras. Las condiciones de medida fueron: iluminante D65 y observador 10°. Tras la calibración del equipo se colocaron las muestras en una cubeta de 2 cm de espesor. A partir del espectro de reflexión se determinaron las coordenadas de color en el espacio CIE L*a*b*, calculando los valores de tono (h_{ab}^*) y croma o pureza (C_{ab}^*) mediante las ecuaciones (1) y (2).

$$\text{Tono} = h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

$$\text{Croma} = C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

Las diferencias de color (ΔE) provocadas por la adición de los hidrocoloides en comparación con la muestra control fueron calculadas mediante la ecuación (3).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

La textura de las muestras se determinó mediante una prueba de extrusión inversa (*Back extrusion*) con un analizador de textura TA.XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido). Las muestras se vertieron en un recipiente de vidrio, hasta 40 mm de altura, y se empleó una sonda cilíndrica de 35 mm de diámetro para presionar las muestras a una profundidad de 12 mm, con una velocidad de 2 mm/s. El área bajo la curva se utilizó como un indicador de consistencia de las muestras, mientras que el pico de fuerza máxima fue utilizado como indicador de la firmeza de las muestras (Yang *et al.*, 2020).

Ambas determinaciones se realizaron a 37 °C, atemperando las muestras en un baño de agua durante 30 min, y por duplicado.

3.5 Caracterización reológica y viscoelástica de las muestras

La caracterización reológica y viscoelástica de las muestras se realizó mediante un reómetro con geometría placa-placa, tal y como se indica en la sección 3.3, siguiendo el método descrito por Talens *et al.* (2021) con ligeras modificaciones. 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. Además, se aplicó una fina capa de aceite de silicona para evitar pérdidas de agua por evaporación. Las muestras se mantuvieron durante 2 min en reposo a fin de relajar su estructura y equilibrar la temperatura de trabajo. Todos los ensayos se realizaron a 37 °C con el objetivo de evaluar el comportamiento de las muestras a la temperatura presente en la cavidad oral (Laguna *et al.*, 2017). Cada medición se realizó por duplicado.

3.5.1 *Determinación del comportamiento de flujo*

El comportamiento del flujo en régimen estacionario de las muestras de puré de pollo y verduras se evaluó mediante el análisis de sus curvas de flujo. Para ello, las muestras fueron sometidas a un gradiente de velocidad de 0,1 a 100 s⁻¹ durante 5 min. Los datos de las curvas de flujo de la muestra control y de las muestras espesadas con AM y CSM se ajustaron al modelo de Ostwald-de Waele (ley de potencia) y al modelo de Hershel-Bulkley, mediante las ecuaciones (4) y (5).

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (5)$$

donde σ es el esfuerzo cortante (Pa), σ_0 el umbral de fluencia (Pa), $\dot{\gamma}$ el gradiente de velocidad (s⁻¹), K es el índice de consistencia (Pa·sⁿ), y n es el índice de comportamiento al flujo (adimensional). La bondad del ajuste se evaluó utilizando el coeficiente de correlación (R²).

3.5.2 *Determinación de las propiedades viscoelásticas*

Las propiedades viscoelásticas de las muestras se evaluaron mediante ensayos viscoelásticos lineales y no lineales. Para determinar los límites de la región viscoelástica lineal (LVR) y caracterizar las propiedades viscoelásticas no lineales de las muestras, se realizó un ensayo oscilatorio de gran amplitud (LAOS). La prueba de barrido de esfuerzo se realizó dentro de un rango de esfuerzo de 0,1 a 100 Pa a 1 Hz, obteniendo el módulo elástico en la LVR (G'_{LVR}) y el esfuerzo en la LVR (σ_{LVR}) (Talens *et al.*, 2021).

Las propiedades viscoelásticas en la LVR fueron caracterizadas mediante un ensayo oscilatorio de pequeña amplitud (SAOS), usando un rango de frecuencias desde 0,1 a 10 Hz con un valor de esfuerzo de 1 Pa (fijado dentro de la LVR). Mediante el software de análisis de datos (rSpace for Kinexus software) se registraron los cambios en la viscosidad compleja (η^*), módulo complejo (G*), módulo elástico o de almacenamiento (G'), módulo viscoso o de pérdida (G'') y tangente del ángulo de fase (Tan $\delta = G''/G'$).

3.6 *Ensayo de masticación*

El ensayo de masticación, empleado para simular el proceso de masticación oral, se llevó a cabo utilizando un reómetro con geometría placa-placa, tal y como se indica en la sección 3.3. Para ello, se siguió el método desarrollado por Chung *et al.* (2012) en el que la muestra situada entre los dos platos paralelos es comprimida, sometida a un gradiente de velocidad de 10 s⁻¹ y descomprimida durante un número de ciclos determinado. Este proceso simula el movimiento de la lengua y el paladar, y el deslizamiento de la lengua contra el paladar durante la masticación oral de alimentos semisólidos. El ensayo se llevó a cabo a 37 °C y tuvo una duración de 10 ciclos de compresión y descompresión. A fin de evaluar el efecto de la saliva durante el procesado oral de los alimentos, el ensayo se realizó en presencia y ausencia de saliva artificial. La saliva artificial empleada en el ensayo de masticación se preparó de acuerdo con la composición descrita por Minekus *et al.* (2014) con ligeras modificaciones, ya que se añadió un 3% de mucina para simular más óptimamente la viscosidad de la saliva (Sarkar *et al.*, 2009). La enzima α -amilasa se añadió

para alcanzar una actividad de 75 U/mL. La saliva artificial se añadió a la muestra en una ratio 1:1 (v/p) y se incubó 2 minutos a 37 °C para simular las condiciones de la digestión oral (Minekus *et al.*, 2014). La medición se realizó por duplicado.

Tanto para los ensayos con y sin saliva, se registró la evolución de la fuerza máxima positiva (medida de consistencia) y la fuerza máxima negativa (medida de adhesividad), así como la η_{app} medida a un gradiente de 10 s⁻¹.

3.7 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de los purés de pollo y verduras fue realizada por un panel de catadores no entrenado, compuesto por 30 mujeres y 20 hombres. Los catadores fueron seleccionados en base a su interés por los alimentos diseñados para personas con disfagia, disponibilidad, y ausencia de alergias o intolerancias alimentarias, siguiendo la guía *IFST Guidelines for Ethical and Professional Practices for the Sensory Analysis of Foods* (IFST, 2020). La muestra control y las dos muestras espesadas fueron evaluadas mediante el uso de una escala hedónica de 9 puntos (UNE-ISO 11136:2014), siendo los atributos evaluados el color, sabor, consistencia oral, adhesividad oral y aceptación general. Las muestras se mantuvieron en un baño de agua a 37 °C hasta el inicio de la evaluación sensorial. Se presentaron aproximadamente 10 g de puré en vasos de plástico de 25 mL, codificando cada uno de ellos con un número aleatorio de tres dígitos. También se proporcionó a cada panelista un vaso con agua para enjuagarse la boca entre muestras, evitando de esa forma el posible regusto.

3.8 Digestión gastrointestinal *in vitro*

La digestión gastrointestinal (DGI) *in vitro* fue realizada siguiendo el método estandarizado INFOGEST (Brodkorb *et al.*, 2019; Minekus *et al.*, 2014). La preparación del fluido salival simulado (FSS), el fluido gástrico simulado (FGS) y el fluido intestinal simulado (FIS) se realizó siguiendo el protocolo de Minekus *et al.* (2014). En la Tabla 3 se indican las concentraciones de electrolitos utilizadas para la elaboración de los fluidos digestivos. La DGI fue realizada por duplicado para cada muestra.

Tabla 3. Concentración de electrolitos en los fluidos digestivos utilizados en la DGI simulada.

| Electrolito | Concentración (mM) | | |
|---|--------------------|------|------|
| | FSS | FGS | FIS |
| KCl | 15,1 | 6,9 | 6,8 |
| KH ₂ PO ₄ | 3,7 | 0,9 | 0,8 |
| NaHCO ₃ | 13,6 | 25 | 85 |
| NaCl | - | 47,2 | 38,4 |
| MgCl ₂ (H ₂ O) ₆ | 0,15 | 0,1 | 0,33 |
| (NH ₄) ₂ CO ₃ | 0,06 | 0,5 | - |
| CaCl ₂ (H ₂ O) ₂ | 1,5 | 0,15 | 0,6 |

Para simular la fase oral se añadió FSS (pH 7) y α -amilasa salival (75 U/mL) a la muestra en una ratio 1:1 (p/v). La mezcla fue agitada a 40 rpm durante 2 minutos a 37 °C usando un Intell-

Mixer™ RM-2 (ELMI Ltd., Riga, Latvia) y una incubadora Selecta (JP Selecta, S.A., Barcelona, España). En la etapa gástrica, el bolo oral obtenido en la primera etapa fue diluido 1:1 (v/v) con FGS y pepsina gástrica (2000 U/mL). El pH fue ajustado a 3 con HCl (1 M) y la mezcla fue incubada en agitación durante 2 horas a 37 °C. Para la simulación de la fase intestinal se diluyó el quimo gástrico obtenido con FIS (pH 7) que contenía sales biliares (10 mM) y pancreatina (basado en la actividad de la tripsina para conseguir 100 U/mL) en una ratio 1:1 (v/v). El pH fue ajustado a 7 con NaOH (1 M) y la muestra fue incubada en agitación durante 2h a 37 °C como se describió anteriormente. Las muestras fueron colocadas en hielo inmediatamente tras la digestión. Una parte de la muestra resultante se utilizó directamente para el análisis reológico, la parte restante se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 min, se recogió el sobrenadante y se almacenó a -20 °C para los siguientes análisis.

3.9 Caracterización de las muestras digeridas

La caracterización reológica de las muestras digeridas se realizó empleando un Reómetro KinexusPro+ (Malvern Instruments Ltd., MA, EE. UU.) equipado con una geometría de cilindros concéntricos (C25/PC25) con control de temperatura, siguiendo el mismo método que el indicado en la sección 3.5.1. La muestra se colocó en el cilindro inferior y el cilindro superior se bajó hasta alcanzar un espacio entre cilindros de 1 mm. El tiempo de relajación fue de 2 minutos. Las propiedades reológicas de los purés de pollo y verduras digeridos se caracterizaron analizando el comportamiento de flujo en régimen estacionario a través de las curvas de flujo a 37 °C. Se obtuvieron las curvas de flujo entre 0,1 y 100 s⁻¹ durante 300 s. Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald-de Waele (ley de potencia), como se ha explicado en la sección 3.5.1. Con los parámetros obtenidos se calculó la η_{app} a 10 s⁻¹ para cada muestra. Este gradiente de velocidad fue seleccionado con el objetivo de simular el gradiente de velocidad que tiene lugar durante la digestión (Lentle *et al.*, 2007). La bondad del ajuste al modelo se evaluó mediante el coeficiente de correlación R².

Para evaluar si los cambios en las propiedades reológicas de las muestras digeridas eran debidos a las acciones enzimáticas o al efecto de la dilución, se realizaron blancos en los que el volumen resultante de la adición de enzimas y fluidos digestivos fue sustituido por agua.

3.10 Ensayos de digestibilidad

El contenido total de proteínas solubles se determinó siguiendo el método descrito por Bradford (1976). Para la preparación del reactivo de Bradford se preparó una disolución con 40 mg del colorante Coomassie Blue G-250, 20 mL de etanol 95% y 40 mL de ácido fosfórico 85%, que posteriormente se aforó con H₂O bidestilada hasta 400 mL. Esta disolución se filtró con un papel de filtro Whatman nº 1 y se guardó en oscuridad hasta su posterior uso. Para el análisis de proteínas solubles, 40 µL de muestra se mezclaron con 2 mL de reactivo de Bradford, se incubaron durante 5 min a temperatura ambiente, y se midió la absorbancia a 595 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Helios Zeta, Thermo Scientific, Reino Unido). Los resultados se expresaron como mg de proteína seroalbúmina bovina (BSA) por g de muestra, y para ello se realizó una curva patrón de BSA a concentraciones de 0 a 1 mg/mL.

La determinación de la concentración de péptidos solubles en TCA se llevó a cabo siguiendo la metodología empleada por Ketnawa y Ogawa (2019). A 150 μ L de muestra se añadieron 1350 μ L de TCA (5%, p/v) y se agitó en vórtex. Tras mantener la mezcla durante 1 h a 4 °C, se centrifugó a 8.000 rpm durante 10 min y finalmente se midió la absorbancia del sobrenadante a 280 nm. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de L-tirosina por g de muestra, a partir de una curva patrón de L-tirosina a concentraciones de 0 a 1 mg/mL.

La concentración de grupos amino libres se midió empleando el método TNBS descrito por Adler-Nissen (1979). Para la determinación se mezclaron 25 μ L de muestra, preparada en SDS 1%, con 400 μ L de tampón de fosfato sódico (0,2 M, pH 8,2) y 200 μ L de TNBS (0,1%, v/v), se agitó y calentó a 50 °C durante 60 min. Pasado este tiempo se añadieron 400 μ L de HCl (0,1 N) para parar la reacción y se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente para luego medir la absorbancia a 340 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de L-leucina por g de muestra a partir de una curva patrón de L-leucina a concentraciones de 0 a 5 mM preparada en SDS 1%.

Para la determinación de la concentración de azúcares reductores se siguió el método del DNS descrito por Miller (1959) y empleado por Gwala *et al.* (2019). La solución de DNS se obtuvo mezclando 1 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico disuelto en 50 mL de H₂O bidestilada con 30 g de tartrato de sodio y potasio tetrahidrato y 20 mL de NaOH (2M), aforando la mezcla hasta 100 mL con H₂O bidestilada. Para el ensayo se añadieron 500 μ L de solución de DNS a 50 mL de muestra, y se hirieron durante 5 minutos en un baño de agua a 100 °C. Tras enfriar los tubos en un baño de hielo, se añadieron 4,5 mL de H₂O bidestilada y se mezcló por inmersión. Finalmente, se leyó la absorbancia a 540 nm en el espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de glucosa por g de muestra a partir de una curva patrón de glucosa a concentraciones de 0 a 14 mg/mL.

Todas las medidas se realizaron por duplicado. Los controles de la digestión, que contenían todas las enzimas y bilis (sin muestra), se analizaron en paralelo y los valores obtenidos fueron sustraídos de los de las muestras.

3.11 *Análisis estadístico*

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y test LSD (Least significant difference) de Fisher utilizando el software Statgraphics Centurion XVII (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, EE. UU). Los resultados se expresaron como la media de las repeticiones \pm desviación estándar, y las diferencias se consideraron estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de color y textura

El color es uno de los parámetros que más influye en relación a la valoración de un producto por parte del consumidor, ya que afecta a las expectativas de palatabilidad de los alimentos (Wadhwa y Capaldi-Phillips, 2014). La Tabla 4 presenta los atributos de color, calculados con las coordenadas en el espacio CIEL*a*b* de cada muestra, además de la diferencia de color de cada muestra espesada frente al control.

Tabla 4. Atributos y diferencia de color de las muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

| Tipo de muestra | L* | h _{ab} * | C _{ab} * | ΔE |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Control | 70,71 ± 0,50 ^a | 76,32 ± 0,04 ^b | 39,89 ± 0,67 ^a | - |
| AM | 69,46 ± 0,12 ^b | 76,31 ± 0,19 ^b | 39,11 ± 0,36 ^{ab} | 1,56 ± 0,82 ^b |
| CSM | 65,69 ± 0,20 ^c | 77,36 ± 0,03 ^a | 38,20 ± 0,02 ^b | 5,35 ± 0,87 ^a |

Luminosidad, L*; croma, C_{ab}*; tono, h_{ab}*; y diferencia de color, ΔE. Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$).

Los purés elaborados con AM y CSM presentaron valores de L* y C_{ab}* ligeramente inferiores a los de la muestra control, siendo más marcado cuando se utilizó CSM como agente espesante. Asimismo, la muestra control y la preparada con AM no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en cuanto a los valores de h_{ab}*, mientras que estos valores fueron ligeramente superiores en los purés que contenían CSM. Además, el puré preparado con CSM presentó la ΔE más elevada. Los resultados observados en el caso de la muestra elaborada con CSM podrían explicarse por la presencia de pigmentos naturales o sustancias tánicas procedentes del tegumento de las semillas de chía (Koocheki *et al.*, 2009).

La textura también es un factor importante puesto que determina la preferencia de los consumidores por los alimentos (Yang *et al.*, 2020). En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de la textura del puré de pollo y verduras control y con textura modificada a 37 °C. Angioloni y Collar (2009) describen el área bajo la curva como una medida de la consistencia del alimento, y el pico de fuerza máxima como una medida de la firmeza del alimento. Por lo tanto, a mayor área máxima, mayor será la consistencia de la muestra y, a mayor fuerza máxima, más firme será el producto.

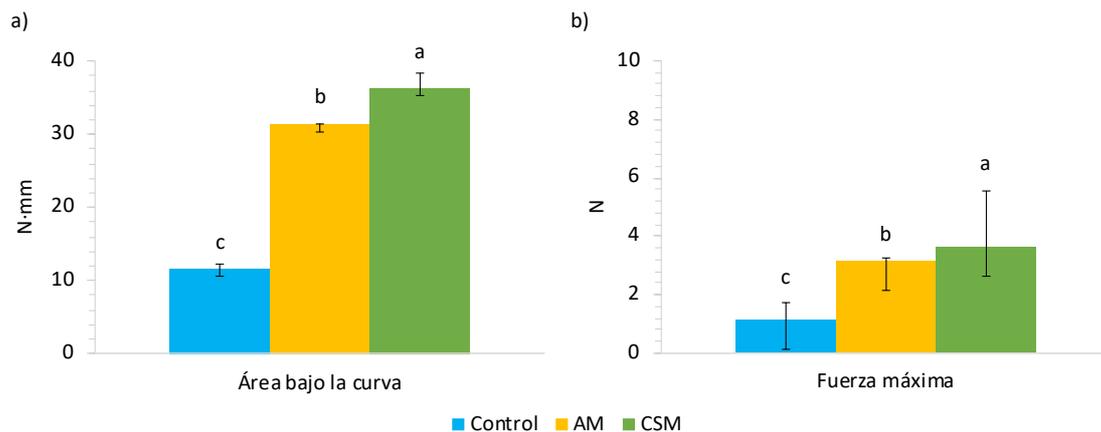


Figura 1. Parámetros de textura del puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de semillas de chía) obtenidos en el ensayo de extrusión inversa. a) área bajo la curva, b) Fuerza máxima. Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$).

En cuanto a los parámetros de textura, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las distintas muestras estudiadas. Los purés elaborados con AM y CSM presentaron valores de área y fuerza máxima más elevados que la muestra control, siendo considerados, por tanto, los purés más consistentes y firmes. Según Alpizar-Reyes *et al.* (2018), la mayor consistencia y firmeza de los purés con textura modificada podría atribuirse a una mayor capacidad de unión al agua de los hidrocoloides como consecuencia del aumento de las interacciones intermoleculares. Cabe remarcar que, entre las muestras espesadas, el puré elaborado con CSM presentó los valores más elevados de área y fuerza máxima, probablemente debido a la capacidad de las partículas de CSM hidratadas de reducir la movilidad de la matriz y aumentar su consistencia y firmeza (Ribes *et al.*, 2021).

4.2 Caracterización reológica y viscoelástica de las muestras

4.2.1 Determinación del comportamiento de flujo

La Tabla 5 presenta los resultados obtenidos de la prueba de comportamiento de flujo en régimen estacionario de las diferentes muestras de puré de pollo y verduras a 37 °C. Los valores de η_{app} se presentan tanto a 10 s⁻¹ como a 50 s⁻¹ debido a la importancia de medir la η_{app} a bajos gradientes de velocidad, ya que un aumento transitorio de la η_{app} del bolo se acompaña de una disminución del gradiente de velocidad asociada al procedimiento de deglución (Herranz *et al.*, 2021; Meng *et al.*, 2005). La η_{app} de las muestras (a 10 s⁻¹ y 50 s⁻¹) fue mayor en el caso de los purés elaborados con AM y CSM, pudiendo atribuirse este efecto al mayor contenido de sólidos totales resultante de la adición de hidrocoloides (Alpizar-Reyes *et al.*, 2018). Asimismo, los valores de η_{app} de las tres muestras fueron menores a mayor gradiente de velocidad. Este resultado podría ser debido a la ruptura de las moléculas como consecuencia de las fuerzas hidrodinámicas generadas y al aumento de la alineación de las moléculas de los hidrocoloides (Izidoro *et al.*, 2008). Herranz *et al.* (2021) obtuvieron resultados similares en productos comerciales específicos para disfagia.

Tabla 5. Parámetros reológicos de la muestra de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

| Tipo de muestra | η_{app} a 10 s^{-1} (mPa·s) | η_{app} a 50 s^{-1} (mPa·s) | n | K (Pa·s ⁿ) | R ² |
|-----------------|---|---|-----------------------------|-------------------------|----------------|
| Control | 2155 ± 75 ^c | 736 ± 30 ^b | 0,332 ± 0,004 ^b | 10,0 ± 0,3 ^c | 0,992 |
| AM | 6646 ± 20 ^a | 2086 ± 25 ^a | 0,347 ± 0,007 ^{ab} | 22,7 ± 0,3 ^b | 0,999 |
| CSM | 6288 ± 19 ^b | 2104 ± 25 ^a | 0,354 ± 0,005 ^a | 24,3 ± 0,1 ^a | 0,997 |

Viscosidad aparente a 10 s^{-1} y 50 s^{-1} , η_{app} ; índice de comportamiento de flujo, n; índice de consistencia, K; coeficiente de correlación, R².

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$).

El umbral de fluencia (σ_0) es el mínimo esfuerzo requerido para que un material empiece a fluir, y está relacionado con la ruptura de la estructura interna de la muestra (Augusto *et al.*, 2012). Autores como Wei *et al.* (2021) consideran este parámetro como un criterio reológico a tener en cuenta en el desarrollo de alimentos destinados a personas con problemas de deglución, ya que es capaz de predecir el procesamiento oral del bolo. Así pues, el σ_0 de los purés elaborados con AM y CSM como agentes espesantes, calculado con el modelo de Hershel-Bulkley, alcanzó valores cercanos a 12 Pa. Este resultado indicaría un aumento del esfuerzo mínimo necesario para que la muestra empiece a fluir tras la adición de los hidrocoloides al puré, lo que podría atribuirse a la capacidad de los espesantes para proporcionar cohesión entre las partículas (Wei *et al.*, 2021). Asimismo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las distintas muestras evaluadas en relación a los valores del coeficiente de consistencia (K) e índice de comportamiento de flujo (n). Como era de esperar, los purés espesados mostraron mayores valores de K que el control, siendo más marcado en el caso del puré elaborado con CSM. Esto podría ser debido a la mayor capacidad de unión al agua de los espesantes por el aumento las interacciones intermoleculares (Alpizar-Reyes *et al.*, 2018). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el ensayo de textura. Además, todos los valores de n fueron inferiores a 1, lo que confirma el comportamiento de flujo no newtoniano. Ambas muestras espesadas podrían considerarse apropiadas para personas con problemas de deglución o disfagia por reducir el riesgo de aspiración al conferir al sistema neuromuscular un mayor tiempo de respuesta para cerrar la epiglotis (Nishinari *et al.*, 2019). Talens *et al.* (2021) observaron resultados similares en cremas de guisantes espesadas para pacientes disfágicos.

4.2.2 Caracterización de las propiedades viscoelásticas

La caracterización de las propiedades viscoelásticas no lineales de las muestras y la determinación de los límites de la región viscoelástica lineal (LVR) se realizaron mediante ensayos de barrido de esfuerzo. Sharma *et al.* (2017) observaron que los purés de zanahoria con textura modificada diseñados tenían viscosidades similares a un gradiente de velocidad de 50 s^{-1} . Sin embargo, estas muestras presentaban diferencias en sus propiedades viscoelásticas. Por ello, se considera importante el estudio de la región viscoelástica no lineal de un producto destinado a pacientes con disfagia, ya que durante la masticación y deglución ocurren grandes deformaciones que tendrían lugar fuera de la LVR (Sharma *et al.*, 2017).

La Figura 2 presenta los cambios en el módulo elástico (G') y módulo viscoso (G'') de las diferentes muestras de puré de pollo y verduras frente al esfuerzo aplicado a 37 °C. Las curvas reflejaron la baja contribución de G'' a las propiedades viscoelásticas de las muestras, con una G' mayor a G'' en toda la LVR, lo que evidenció el comportamiento típico de sistemas viscoelásticos débiles. Además, tras superar la LVR, los valores de G' de todas las muestras disminuyeron a medida que aumentaba el esfuerzo aplicado. Por el contrario, todos los purés mostraron un ligero aumento de los valores de G'' que disminuyeron tras aplicar mayores niveles de esfuerzo. Un comportamiento similar fue observado por Sharma *et al.* (2017) en purés de zanahoria , y por Talens *et al.* (2021) en cremas de guisantes. Estos autores atribuyeron dicho comportamiento a la formación de microgrietas en la estructura del gel de las muestras y a la fricción entre las placas del reómetro en el sitio de la grieta, dando lugar a una liberación de energía y, en consecuencia, al aumento de los valores de G'' .

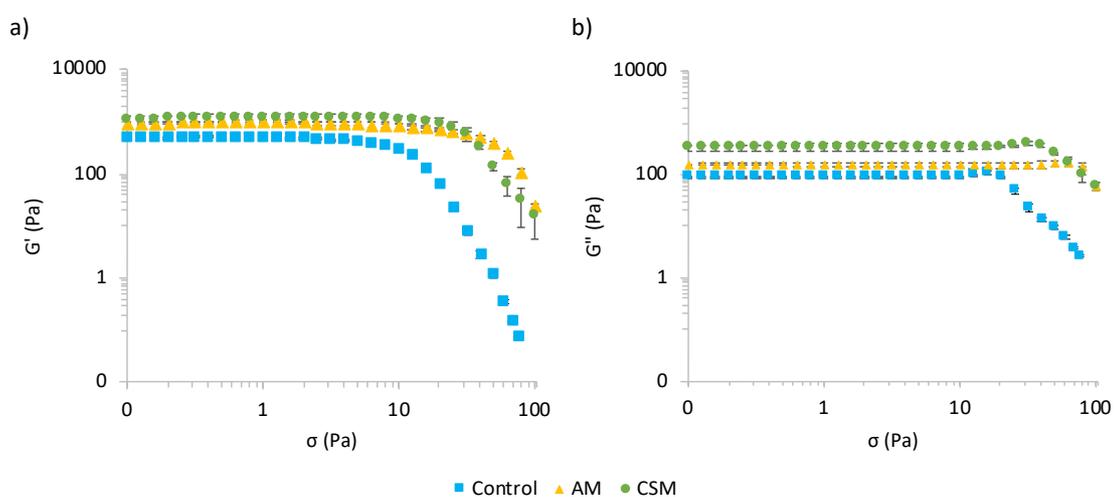


Figura 2. Dependencia a) del módulo elástico y b) módulo viscoso frente al esfuerzo para el puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

La Tabla 6 presenta los parámetros viscoelásticos G'_{LVR} y σ_{LVR} de las muestras obtenidos a partir del ensayo LAOS realizado a 37 °C. G'_{LVR} se relaciona con la rigidez del material, mientras que el parámetro σ_{LVR} se refiere a la estabilidad estructural del producto (Herranz *et al.*, 2021; Talens *et al.*, 2021). La muestra control presentó el valor G'_{LVR} más bajo, considerándose por tanto el producto menos rígido. Por el contrario, la muestra elaborada con CSM mostró mayor rigidez a pesar de que no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los purés con textura modificada. Estos resultados coinciden con los observados por Talens *et al.* (2021) al estudiar la rigidez del material de las cremas de guisantes espesadas con distintos hidrocoloides. En cuanto al parámetro σ_{LVR} , el puré preparado con CSM como agente espesante mostró el valor más alto, pero se no observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre la muestra control y la espesada con AM. Estos resultados mostraron que el puré preparado con CSM presentaba una mejor estabilidad estructural que el puré control y el espesado con AM. Según Timilsena *et al.* (2015), la estructura del puré elaborado con CSM podría estar reforzada por la formación de agrupaciones iónicas dentro de la estructura tridimensional de la matriz.

Tabla 6. Parámetros viscoelásticos obtenidos de la determinación de la región viscoelástica lineal (LVR) del puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

| Tipo de muestra | G'_{LVR} (Pa) | σ_{LVR} (Pa) |
|-----------------|------------------|---------------------|
| Control | 505 ± 13^b | $1,591 \pm 0,001^b$ |
| AM | 975 ± 78^a | $1,591 \pm 0,004^b$ |
| CSM | 1219 ± 218^a | $3,171 \pm 0,006^a$ |

Valor del módulo elástico en la LVR, G'_{LVR} ; valor de esfuerzo en la LVR, σ_{LVR} .

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$).

Con el objetivo de caracterizar las propiedades viscoelásticas lineales de las distintas muestras se realizó el ensayo SAOS. La Figura 3 presenta la dependencia del módulo elástico (G'), del módulo viscoso (G'') y de la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) en función de la frecuencia a 37 °C. Las curvas obtenidas mostraron la baja contribución de G'' a las propiedades viscoelásticas de los purés, con una G' mayor a G'' en toda la LVR, evidenciando el comportamiento de gel débil de las muestras (Sharma *et al.*, 2017). Este comportamiento fue descrito también por Capitani *et al.* (2015) y Talens *et al.* (2021) en dispersiones acuosas con mucílago de semillas de chía y crema de guisantes espesada con distintos hidrocoloides, respectivamente. Asimismo, la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta = G''/G'$) proporciona información sobre el equilibrio de G' y G'' de un material (Sharma *et al.*, 2017). Valores de $\tan \delta$ por debajo de 0,1 indican geles fuertes, mientras que valores entre 0,1 y 1 indican geles débiles (Irani *et al.*, 2019). Todas las muestras exhibieron valores de $\tan \delta$ entre 0,14 y 0,34 en todo el rango de frecuencias estudiado, confirmando el comportamiento de gel débil (Sharma *et al.*, 2017).

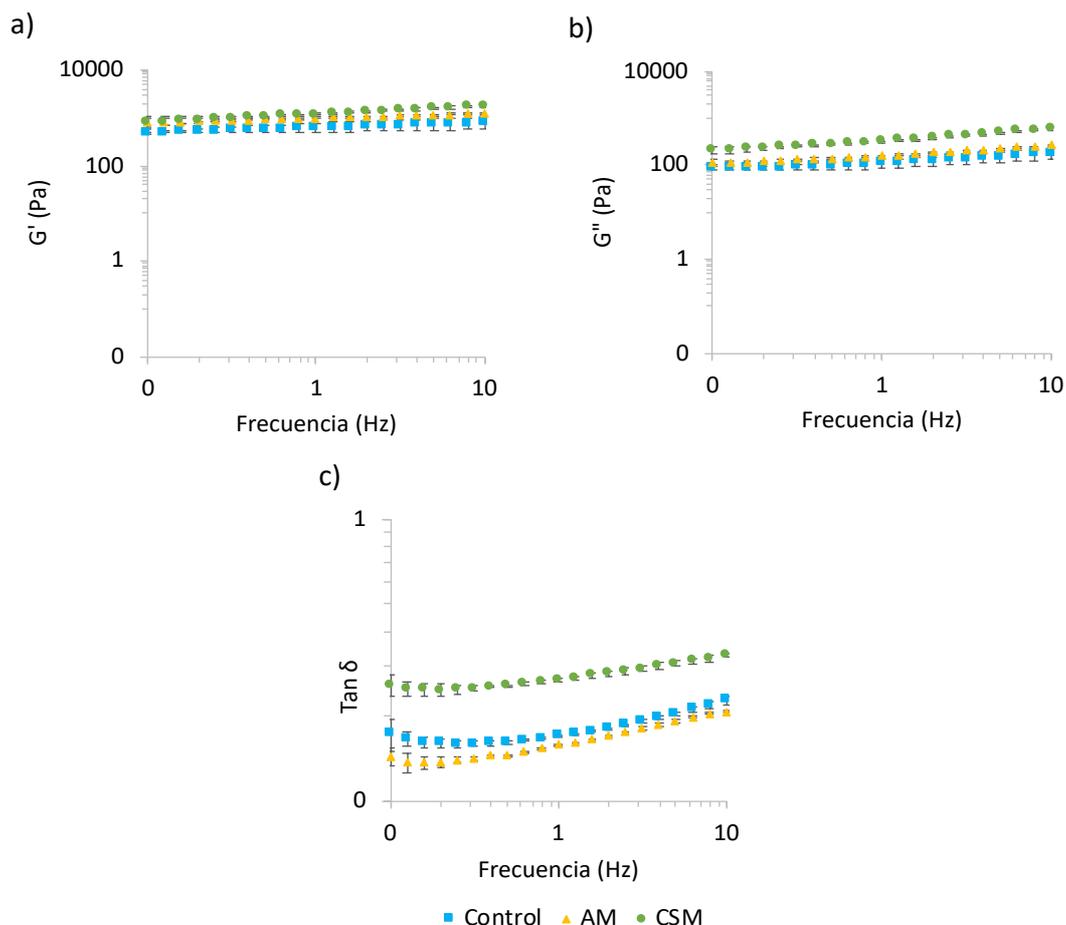


Figura 3. Dependencia del a) módulo elástico (G'), b) módulo viscoso (G''), y c) tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) frente a la frecuencia de los purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chíá).

Desde un punto de vista estructural, las pendientes (n' y n'') de las curvas $\ln G'_0$ y $\ln G''_0$ frente a la frecuencia, también pueden utilizarse como criterio para evaluar las propiedades del gel, ya que están relacionadas con la estabilidad del mismo. Cabe remarcar que la pendiente (n' y n'') en geles verdaderos es igual a 0, mientras que en geles débiles y soluciones concentradas tiene valores positivos (Alvarez *et al.*, 2017; Irani *et al.*, 2019). Así pues, en un gel verdadero, G' y G'' muestran el mismo cambio proporcional frente a la frecuencia, mientras que en uno débil ambos módulos presentan mayores dependencias de la frecuencia (Alvarez *et al.*, 2017). La Tabla 7 muestra los parámetros de las propiedades del gel de las diferentes muestras de puré obtenidas a 37 °C. Todas las muestras analizadas presentaron valores de n' y n'' entre $0,10 \pm 0,04$ y $0,23 \pm 0,05$, lo que podría atribuirse al comportamiento de geles débiles (Irani *et al.*, 2019). Estos datos junto con los valores de G' más altos que los de G'' en el rango de frecuencias evaluadas, refuerzan el carácter de gel débil de los purés. Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los reportados por Sharma *et al.* (2017) en purés de zanahoria espesados. En relación a la dureza del gel ($G'_0 - G''_0$) es importante indicar que este parámetro refleja la fuerza de las interacciones moleculares. Tal y como puede observarse en la Tabla 7, las muestras espesadas presentaron una mayor dureza del gel que la muestra control, indicando una mayor interacción molecular como consecuencia de la adición de AM y CSM a la matriz.

Tabla 7. Parámetros de las propiedades del gel de las muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

| Tipo de muestra | G' | | G'' | | G' ₀ - G'' ₀ |
|-----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|------------------------------------|
| | n' | R ² | n'' | R ² | |
| Control | 0,10 ± 0,06 ^a | 0,970 | 0,17 ± 0,04 ^a | 0,950 | 518 ± 94 ^b |
| AM | 0,10 ± 0,04 ^a | 0,978 | 0,19 ± 0,02 ^a | 0,982 | 845 ± 40 ^a |
| CSM | 0,17 ± 0,07 ^a | 0,981 | 0,23 ± 0,05 ^a | 0,988 | 873 ± 25 ^a |

Módulo elástico, G'; módulo viscoso, G''; pendiente, n' y n''; fuerza del gel, G'₀-G''₀; y, coeficiente de correlación, R²

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré control y con textura modificada ($p < 0,05$).

Para una mejor interpretación de los resultados y así poder compararlos fácilmente, la Tabla 8 presenta las propiedades viscoelásticas de las muestras obtenidas a 1 Hz en el ensayo SAOS. Según Murata *et al.* (2008) esta frecuencia simularía las condiciones orales dadas en la masticación, permitiendo así una mayor similitud con el proceso real. Como se ha observado anteriormente, G' es mayor que G'' para todas las muestras y la Tan δ presenta valores entre 0,1 y 0,2, lo que confirma el comportamiento de gel débil (Sharma *et al.*, 2017). Si el valor de Tan δ se encuentra en el rango de 0,1 y 1, el producto podría considerarse como apropiado para pacientes con disfagia (Talens *et al.*, 2021). Asimismo, el módulo complejo (G*) es una medida de la rigidez del material (Herranz *et al.*, 2021) y la viscosidad compleja (η*) es una medida de la resistencia a fluir del material (Talens *et al.*, 2021). Como era de esperar, los purés espesados mostraron mayor rigidez que la muestra control. A pesar de que no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras espesadas, el puré preparado con CSM mostró los valores más elevados de G*. Este resultado podría atribuirse a la estructura en forma de red creada por las moléculas del polisacárido (Timilsena *et al.*, 2015). Por último, las muestras espesadas también presentaron los valores de resistencia al flujo más altos, siendo mayor en el puré con CSM debido al aumento de las fuerzas de cohesión internas provocadas por la adición de este hidrocoloide (Ribes *et al.*, 2021). Estos resultados concuerdan con los valores de G'_{LVR} obtenidos en el ensayo LAOS.

Tabla 8. Parámetros viscoelásticos, a 1 Hz, de las diferentes muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

| Tipo de muestra | G' (Pa) | G'' (Pa) | η* (Pa s) | G* (Pa) | Tan δ |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| Control | 633 ± 132 ^b | 108 ± 23 ^c | 102 ± 21 ^b | 643 ± 134 ^b | 0,170 ± 0,001 ^b |
| AM | 1000 ± 25 ^a | 159 ± 4 ^b | 161 ± 4 ^a | 1013 ± 26 ^a | 0,1588 ± 0,0004 ^c |
| CSM | 1200 ± 13 ^a | 323 ± 1 ^a | 198 ± 2 ^a | 1242 ± 13 ^a | 0,269 ± 0,004 ^a |

Módulo elástico, G'; módulo viscoso, G''; viscosidad compleja, η*; módulo complejo, G*; tangente del ángulo de fase, Tan δ.

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras de puré de pollo y verduras con textura modificada ($p < 0,05$).

4.3 Ensayo de masticación

El ensayo de masticación simulada combina fenómenos de compresión y de cizalla al flujo en un único instrumento. La muestra es comprimida, sometida a un gradiente de velocidad, y descomprimada por dos platos paralelos durante un número determinado de ciclos, simulando así los movimientos y el deslizamiento de la lengua contra el paladar (Chung *et al.*, 2012). La Figura 4 muestra una representación de las etapas de un ciclo de masticación obtenido para el puré de pollo y verduras.

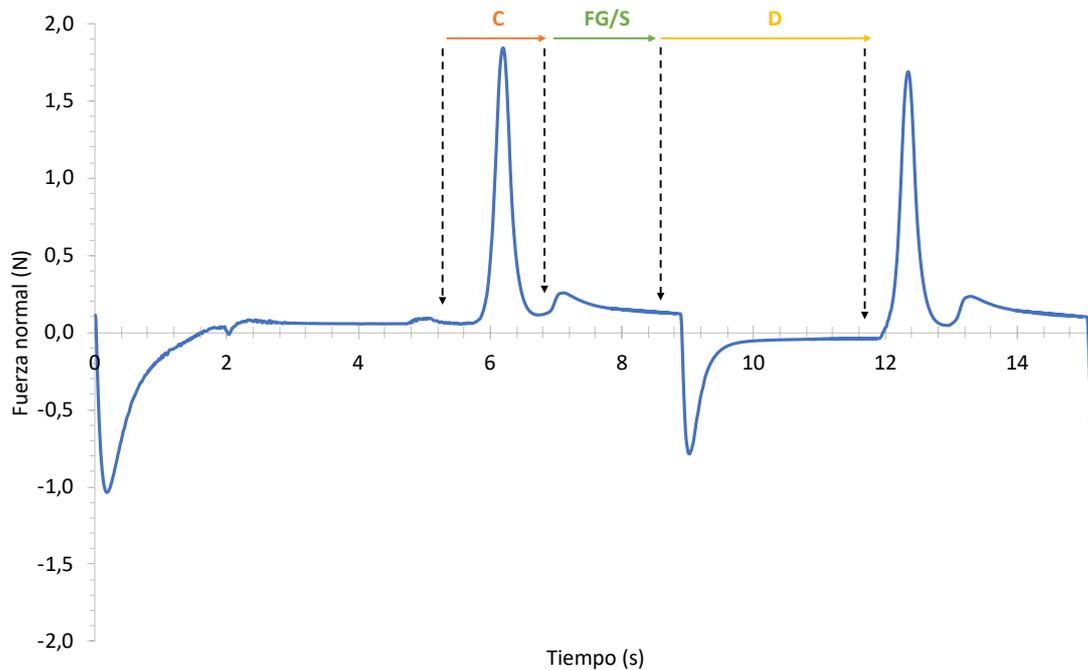


Figura 4. Representación de la fuerza normal frente al tiempo durante un ciclo de masticación (C = compresión; FG/S = distancia fija con gradiente de velocidad; D= descompresión).

Cada ciclo consta de tres etapas: 1) compresión, 2) distancia fija y 3) descompresión. En la primera etapa el plato baja hasta dejar una distancia entre platos de 1 mm, comprimiendo el producto. En este punto, el equipo mide la fuerza ejercida por el alimento, obteniéndose el denominado pico de fuerza máxima. Este dato se usa como medida de la “consistencia” del material ya que simula la compresión producida por la lengua frente al paladar. A continuación, manteniendo esa distancia de 1 mm, se aplica un gradiente de velocidad de 10 s^{-1} para simular el deslizamiento de la lengua con el paladar. Al aplicar este gradiente es posible determinar la η_{app} de la muestra y observar su evolución a lo largo de la masticación. Por último, en la etapa de descompresión, el plato vuelve a una altura de 3 mm para imitar la separación de la lengua del paladar. Aquí se vuelve a medir la fuerza, pero en ese caso es denominada fuerza normal negativa, que va aumentando conforme el plato se separa de la muestra. Este valor se relaciona con medida de la “adhesividad” del material. Este proceso se repite durante un número de ciclos determinado que dependerá del movimiento en la boca típico (número de masticaciones) de cada alimento (Chung *et al.*, 2012).

En la Figura 5 se presenta un perfil de masticación típico de 10 ciclos para las tres muestras de puré sin adición de saliva.

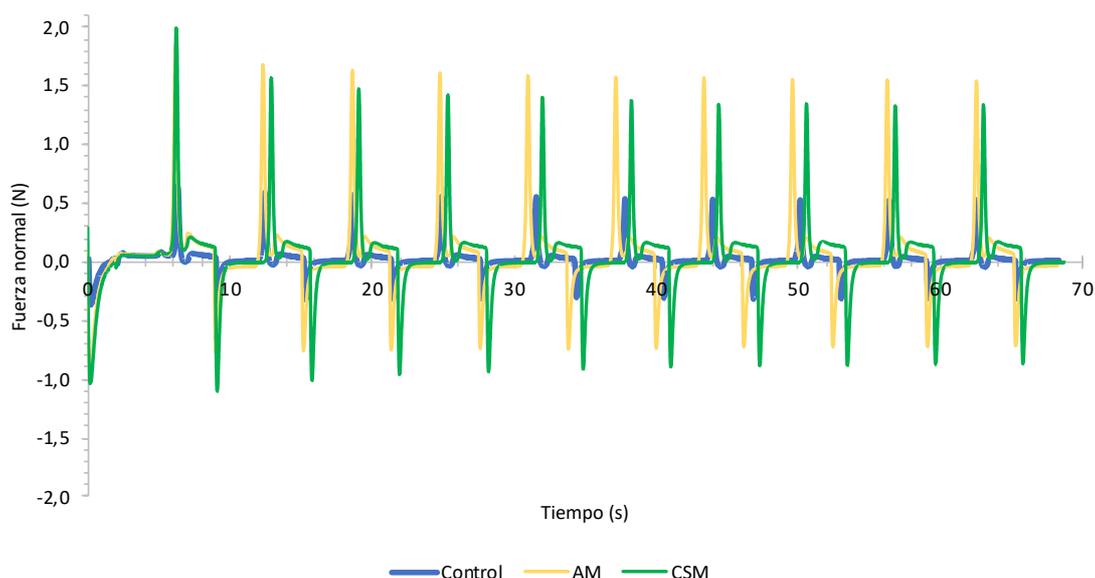


Figura 5. Perfil de masticación típico para los diferentes purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía).

Los resultados indicaron perfiles de masticación diferentes para los distintos purés. Como puede observarse, tanto el pico de fuerza máxima positiva como el pico de fuerza máxima negativa para la muestra control están muy por debajo de los valores obtenidos en las muestras espesadas. Comparando estos últimos, la mayor altura de pico de fuerza máxima del puré elaborado con AM indicó una mayor consistencia, mientras que la mayor fuerza máxima negativa del puré preparado con CSM reflejó una mayor adhesividad.

La saliva es un factor muy importante en la etapa oral de la digestión, ya que participa en la formación en el bolo y en la percepción de las propiedades sensoriales del alimento (Sharma *et al.*, 2020). Es un fluido formado mayoritariamente por agua que contiene sales, mucina y enzimas como la α -amilasa. Estos componentes pueden ocasionar cambios en la reología y en la estructura de la muestra (Chen, 2015). Para las personas con disfagia es primordial el efecto de la saliva porque otorga cohesividad al bolo, ya que se encarga de rellenar los huecos entre las pequeñas partículas formadas en la masticación evitando la desintegración de este (Mosca y Chen, 2017). Además, la saliva posee capacidad de lubricar el bolo y también la cavidad oral, facilitando así la deglución (Ishihara *et al.*, 2011). Por ello, es interesante realizar el ensayo de masticación tanto en presencia como en ausencia de saliva.

La Figura 6 muestra la evolución, durante los 10 ciclos del ensayo de masticación simulada, de la fuerza máxima positiva y de la fuerza máxima negativa, relacionadas con la consistencia y adhesividad respectivamente, además de la evolución de la η_{app} a un gradiente de 10 s^{-1} para todas las muestras en ausencia y en presencia de saliva.

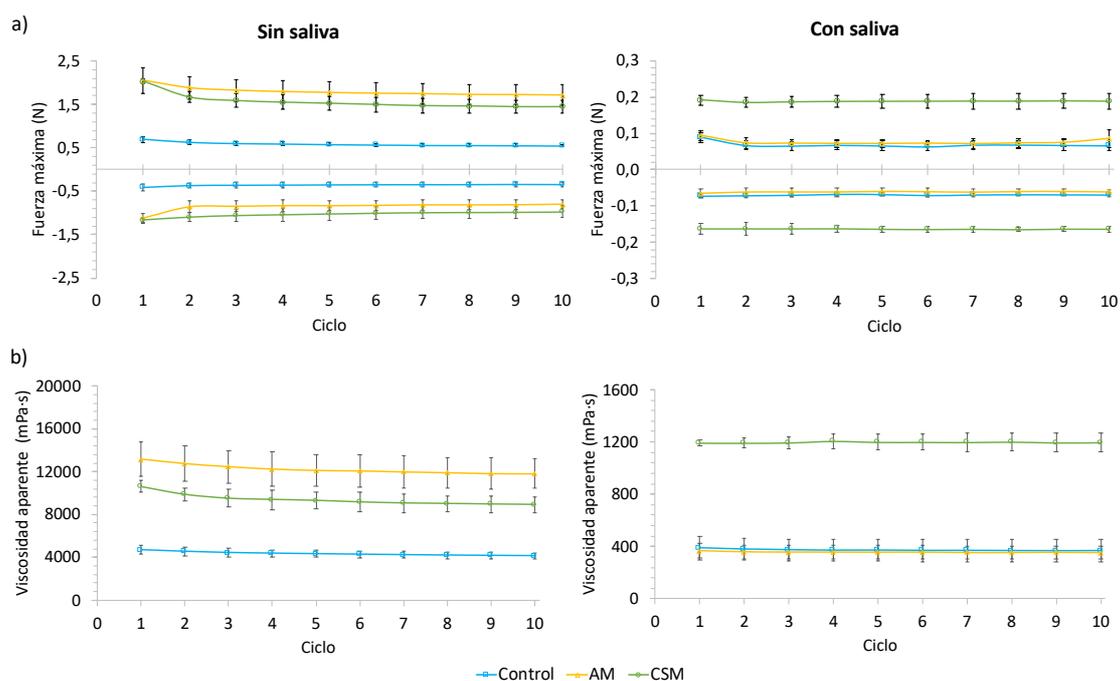


Figura 6. Evolución de a) fuerza máxima positiva y fuerza máxima negativa y b) viscosidad aparente medida a 10 s^{-1} durante los 10 ciclos de masticación simulada de los purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) con y sin saliva.

No se observó un gran cambio en los valores de los parámetros conforme avanzaba el número de ciclos, sino que solo se evidenció una pequeña disminución en el paso del primer al segundo ciclo en el ensayo realizado sin saliva para las muestras espesadas. Esto es debido a que, al ser el producto un puré, la estructura ha sido rota en el proceso de elaboración, por lo que en la masticación no se produce una gran transformación mecánica de la matriz. En el caso del ensayo sin saliva, la consistencia, adhesividad y η_{app} de las muestras espesadas fueron significativamente mayores que las del puré control, sin encontrarse diferencias significativas entre AM y CSM ($p > 0.05$). Esto podría ser debido a que los gránulos de almidón en el AM y las fibras presentes en CSM podrían formar redes hidratadas e hinchadas que actúan como relleno en la matriz alimentaria, dando fuerza a las propiedades de la red (Fabek *et al.*, 2014; Morell *et al.*, 2015). Los datos del ensayo de masticación en presencia de saliva presentados en la Figura 6, mostraron una reducción de todos los parámetros en todos los purés. Este hecho se debería principalmente al efecto dilución que provoca la adición de saliva. Al contrario que ocurrió con las muestras sin saliva, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la muestra elaborada con AM y la muestra control, pero sí entre las muestras espesadas, siendo la disminución de los parámetros más notable en el caso del AM. Este efecto se puede atribuir a la acción de la enzima α -amilasa de la saliva en la hidrólisis del almidón, que es el componente del que está formado el espesante AM. Aunque inicialmente ambos purés espesados presentaran la misma η_{app} , la capacidad espesante de uno de ellos es debida al almidón de su composición y al mezclarse con la saliva, la acción enzimática afecta mucho más a este puré que al modificado con CSM. De esta forma, el puré elaborado con CSM presentó mayores valores de consistencia, adhesividad y η_{app} cuando se añadió la saliva. Las muestras más viscosas resultan ser más

miscibles con la saliva, generando así un bolo más homogéneo (Talens *et al.*, 2021), por lo que el puré espesado con CSM podría facilitar la deglución en pacientes con disfagia.

4.4 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se emplea para evaluar los atributos percibidos por los sentidos humanos (Wendin *et al.*, 2010). Como indica Sharma *et al.* (2017), el estudio de propiedades sensoriales es relativamente nuevo en las investigaciones sobre productos para disfagia, siendo muy pocos los autores que incluyen estos ensayos en sus experimentos. La percepción sensorial también es una herramienta esencial en la industria alimentaria si se desea comercializar un alimento, ya que es una forma de determinar la aceptación de los consumidores.

Por ello, el objetivo de esta evaluación sensorial es determinar la aceptación sensorial del producto por parte del consumidor, además de poder complementar con datos sobre su percepción. La Figura 7 presenta la puntuación promedio de los distintos atributos evaluados en las muestras de puré de pollo y verduras control y con textura modificada. No se observaron diferencias significativas en la aceptabilidad del producto por parte de los consumidores en relación al color, sabor y aceptación general de las muestras. Las muestras espesadas con AM y CSM presentaron la puntuación más alta en cuanto a consistencia oral, mientras que el puré elaborado con AM mostró la puntuación más baja en relación a la adhesividad oral.

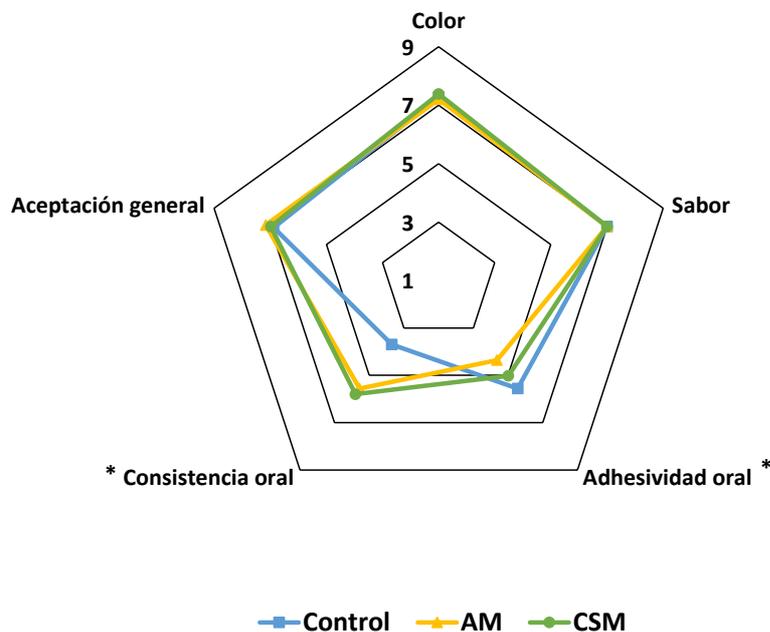


Figura 7. Puntuación media de los atributos sensoriales evaluados en el puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado y CSM: mucílago de semillas de chía). El asterisco (*) indica diferencias significativas entre las muestras ($p < 0,05$) ($n = 50$).

4.5 Caracterización reológica de las muestras digeridas

Los agentes espesantes utilizados en los ATM pueden modificar la η_{app} del quimo gástrico e intestinal. En este caso, la adición al puré de AM y de CSM, que tiene en su composición fibras solubles y proteínas, pueden afectar a las propiedades reológicas de la muestra durante la digestión debido al comportamiento de los hidrocoloides y su interacción con las moléculas de la matriz alimentaria. La incorporación de fluidos digestivos provoca un aumento de volumen y por tanto un efecto dilución, que junto con las condiciones del tracto digestivo (enzimas, cambios en el pH y fuerza iónica) pueden afectar a las propiedades de estos espesantes y producir cambios en la reología de las muestras (Chen *et al.*, 2020).

Para poder estudiar los cambios reológicos de las muestras durante la DGI simulada se obtuvieron las curvas de flujo a 37 °C tras la etapa oral, gástrica e intestinal, las cuales se presentan en la Figura 8. Además, para poder estudiar el efecto dilución (ED) durante el proceso de DGI, se obtuvieron las curvas de flujo de las muestras diluidas con agua y sin ninguna enzima, las cuales también se representan en la Figura 8. Todas las muestras presentaron un comportamiento no newtoniano pseudoplástico y los parámetros reológicos obtenidos con el modelo de la ley de potencia están presentados en la Tabla 9. Las curvas de flujo y los valores de η_{app} calculados a un gradiente de 10 s^{-1} mostraron cómo la η_{app} de todas las muestras iba disminuyendo conforme avanzaba la digestión. Esta disminución podría ocurrir por dos causas, el ED de la muestra mencionado anteriormente o la acción de las enzimas digestivas. Comparando los datos para las muestras digeridas con los obtenidos por ED, se observaron diferencias significativas en los valores de η_{app} para las muestras con AM en la etapa oral y en la gástrica, así como en los valores para el CSM en la etapa gástrica. Esto indicó que además del ED, las condiciones gastrointestinales (enzimas, pH y sales biliares) provocarían una disminución adicional de la η_{app} . En cuanto a los parámetros reológicos de las muestras, en la Tabla 9 se puede observar que CSM presenta mayores valores de η_{app} y de K en la etapa oral y en la gástrica frente a los valores de AM y del control, tanto en las muestras digeridas como en las diluidas. Esto indica que el puré espesado con CSM sería el menos afectado por las condiciones de la digestión simulada durante las dos primeras fases de esta. Esto puede deberse al entrecruzamiento formado entre las fibras, agua y proteínas, que forman una estructura de red relativamente compacta que afecta a las propiedades reológicas del puré con CSM (García-Salcedo *et al.*, 2018). Esta estructura de red densa formada por el CSM podría dificultar el acceso y acción de las enzimas, manteniendo mejor la consistencia en la fase oral y en la gástrica (Camara *et al.*, 2020; Lázaro *et al.*, 2018). Los cambios físicos y las diferencias en la viscosidad de las fibras solubles durante la digestión puede estar determinado por el tipo de fibra, su concentración y sus propiedades físico-químicas, además de por la etapa de la digestión (ED, actividad enzimática, pH y fuerza iónica) (Fabek *et al.*, 2014; Vera *et al.*, 2019). Además, la capacidad de las fibras de mantener más tiempo la η_{app} durante la digestión puede tener efectos beneficiosos como la ralentización de la digestión de nutrientes, dando sensación de saciedad o la reducción del colesterol y de los niveles de glucosa en sangre (Kendall *et al.*, 2010). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras para ningún parámetro reológico en la etapa intestinal de la DGI, ni en las digeridas ni en las diluidas. Estos resultados confirmarían que el ED es lo que principalmente provoca la reducción de η_{app} y K en el final de la DGI simulada.

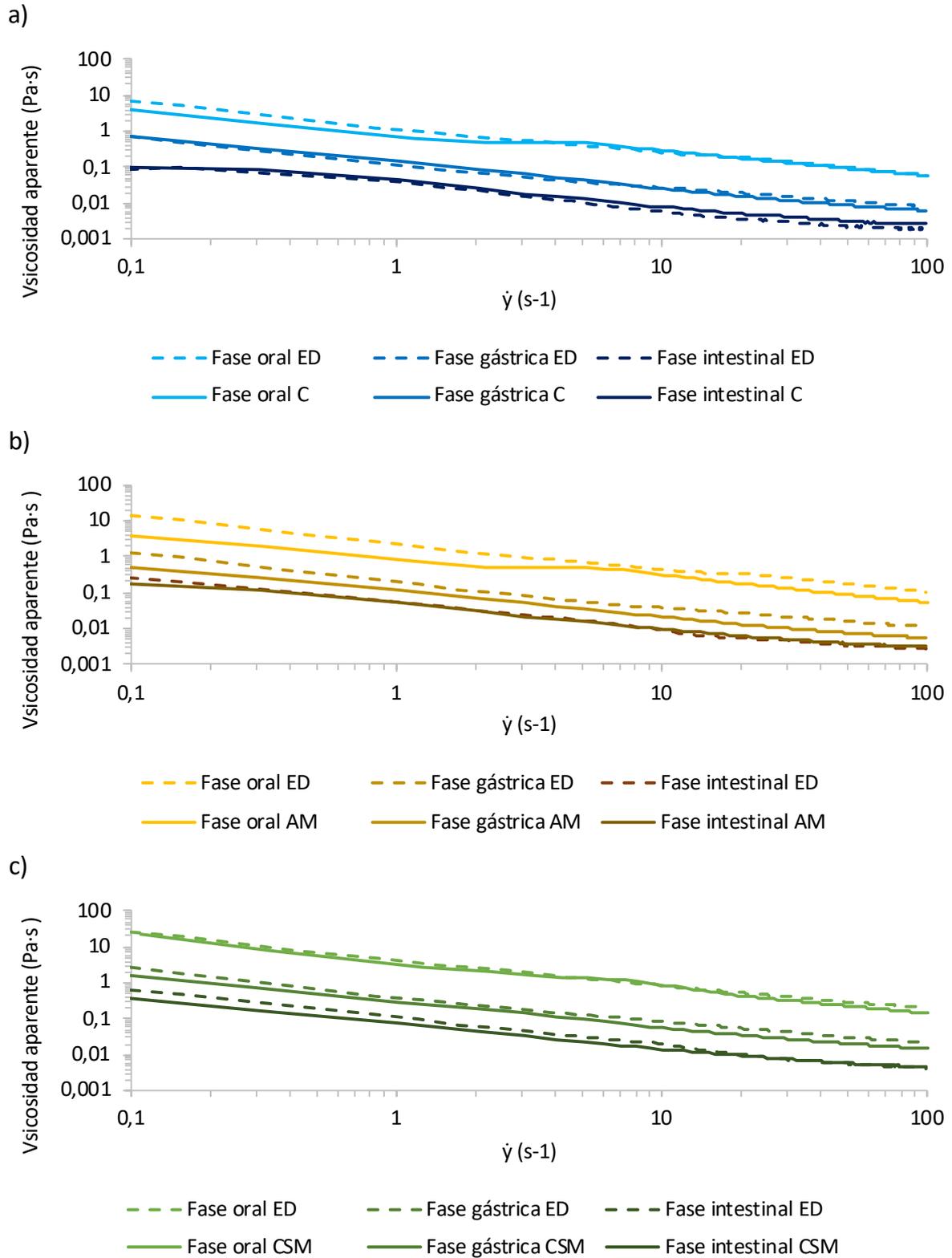


Figura 8. Curva de flujo para cada puré y efecto dilución (ED) en las diferentes fases de la digestión gastrointestinal *in vitro*: a) C, control, b) AM, almidón modificado y c) CSM, mucílago de las semillas de chía.

Tabla 9. Parámetros reológicos de las distintas muestras de puré control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) y del efecto dilución.

| MUESTRA DIGERIDA | | | | |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Fase de digestión | Parámetro | Tipo de muestra | | |
| | | Control | AM | CSM |
| Etapa oral | η_{app} (mPa·s) | 270 ± 16 ^{Ab} | 244 ± 17 ^{Ab} | 690 ± 102 ^{Aa} |
| | n | 0,34 ± 0,06 ^{Aa} | 0,33 ± 0,02 ^{Aa} | 0,28 ± 0,02 ^{Aa} |
| | K (Pa·s ⁿ) | 1,2 ± 0,2 ^{Ab} | 1,135 ± 0,018 ^{Ab} | 3,6 ± 0,7 ^{Aa} |
| | R ² | 0,97 | 0,96 | 0,97 |
| Etapa gástrica | η_{app} (mPa·s) | 24 ± 5 ^{Bb} | 19 ± 5 ^{Bb} | 57 ± 5 ^{Ba} |
| | n | 0,36 ± 0,05 ^{Aa} | 0,40 ± 0,07 ^{Aa} | 0,36 ± 0,02 ^{Aa} |
| | K (Pa·s ⁿ) | 0,10 ± 0,03 ^{Bb} | 0,08 ± 0,03 ^{Bb} | 0,25 ± 0,03 ^{Ba} |
| | R ² | 0,97 | 0,97 | 0,98 |
| Etapa intestinal | η_{app} (mPa·s) | 5 ± 4 ^{Ba} | 7 ± 5 ^{Ba} | 13 ± 5 ^{Ba} |
| | n | 0,7 ± 0,3 ^{Aa} | 0,6 ± 0,3 ^{Aa} | 0,49 ± 0,12 ^{Aa} |
| | K (Pa·s ⁿ) | 0,02 ± 0,02 ^{Ba} | 0,02 ± 0,02 ^{Ba} | 0,04 ± 0,03 ^{Ba} |
| | R ² | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| EFEECTO DILUCIÓN | | | | |
| Fase de digestión | Parámetro | Tipo de muestra | | |
| | | Control | AM | CSM |
| Etapa oral | η_{app} (mPa·s) | 288 ± 9 ^{Ac} | 518 ± 17 ^{Ab} | 895 ± 2 ^{Aa} |
| | n | 0,349 ± 0,002 ^{Aa} | 0,334 ± 0,005 ^{Aa} | 0,330 ± 0,013 ^{Aa} |
| | K (Pa·s ⁿ) | 1,29 ± 0,05 ^{Ac} | 2,40 ± 0,11 ^{Ab} | 4,19 ± 0,13 ^{Aa} |
| | R ² | 0,9 | 0,98 | 0,98 |
| Etapa gástrica | η_{app} (mPa·s) | 27 ± 4 ^{Bc} | 41 ± 4 ^{Bb} | 87 ± 4 ^{Ba} |
| | n | 0,45 ± 0,06 ^{Aa} | 0,41 ± 0,05 ^{Aa} | 0,37 ± 0,03 ^{Aa} |
| | K (Pa·s ⁿ) | 0,10 ± 0,03 ^{Bb} | 0,16 ± 0,03 ^{Bb} | 0,37 ± 0,05 ^{Ba} |
| | R ² | 0,99 | 0,97 | 0,98 |
| Etapa intestinal | η_{app} (mPa·s) | 4 ± 4 ^{Ca} | 4 ± 4 ^{Ca} | 15 ± 6 ^{Ca} |
| | n | 0,8 ± 0,6 ^{Aa} | 0,8 ± 0,6 ^{Aa} | 0,34 ± 0,05 ^{Aa} |
| | K (Pa·s ⁿ) | 0,013 ± 0,018 ^{Ba} | 0,013 ± 0,018 ^{Ba} | 0,07 ± 0,03 ^{Ca} |
| | R ² | 0,96 | 0,96 | 0,88 |

Viscosidad aparente a 10 s⁻¹, η_{app} ; índice de comportamiento de flujo, n; índice de consistencia, K; coeficiente de correlación, R².

La letra mayúscula indica diferencias significativas entre las fases (digestión oral, gástrica e intestinal) dentro de la misma muestra de puré ($p < 0,05$), mientras que la letra minúscula indica diferencias significativas entre las muestras de puré sin y con textura modificada (control, AM y CSM) dentro de la misma fase ($p < 0,05$).

4.6 Digestibilidad proteica

Como se ha visto en el apartado anterior, la adición de espesantes puede provocar cambios en la matriz alimentaria y, por lo tanto, en la estructura del quimo. Estas modificaciones estructurales pueden afectar a la acción enzimática que ocurre durante la digestión, por lo que la digestión y la absorción de nutrientes puede verse afectada (Singh *et al.*, 2015; Turgeon y Rioux, 2011). Los primeros cambios durante la DGI *in vitro* se dan en la fase oral, donde la α -amilasa, que es la enzima principal presente en la saliva, inicia la hidrólisis del almidón. Así mismo, la interacción de la saliva con el alimento puede desencadenar la formación de nuevos componentes, complejos y microestructuras. Incluso en alimentos blandos como los purés que requieren una mínima masticación y permanecen poco tiempo en la boca antes de ser tragados, pueden darse ciertos cambios físicos y bioquímicos que determinarán la posterior digestión (Mao y Miao, 2015; Mosca y Chen, 2017). Tras la deglución, el bolo llega al estómago donde tiene lugar la siguiente fase, que es la digestión gástrica. El ambiente ácido y la activación de la pepsina hace que comience la proteólisis o degradación de proteínas. En la última fase, las peptidasas que se encuentran en el intestino, principalmente la tripsina y la quimotripsina, completan la digestión de las proteínas liberando péptidos de diferentes tamaños y aminoácidos libres. El intestino delgado también contiene enzimas lipasa y amilasa pancreática, que se encargan de la hidrólisis de los lípidos y de continuar con la degradación del almidón respectivamente, además de coenzimas, bilis y sales inorgánicas (Gropper y Smith, 2012).

Para evaluar la digestibilidad de las muestras y el efecto de los hidrocoloides empleados, se evaluó la hidrólisis de proteínas y de almidón a lo largo de la DGI para cada tipo de puré. La proteólisis ocurrida en las muestras de puré se evaluó determinando los contenidos de proteínas solubles, péptidos solubles en TCA y grupos amino libres antes y durante las diferentes fases de la digestión. Los resultados obtenidos en estos ensayos se muestran en la Tabla 10. Cabe mencionar que la fracción proteica soluble en TCA al 5% comprendería pequeños péptidos (menores de 10 residuos) y aminoácidos libres (Chen *et al.*, 2010), mientras que la medida de grupos amino libres incluye los grupos amino disponibles tanto de proteínas como de péptidos y aminoácidos (Adler-Nissen, 1979). Analizando los datos obtenidos se observa que las muestras de purés sin digerir no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en cuanto a la cantidad de proteína total soluble. Sin embargo, CSM presentó los mayores valores de péptidos (1,94 mg/g), los cuales podrían proceder de las proteínas que contiene este hidrocoloide. Conforme avanzó la digestión se observó un aumento de la solubilidad de proteínas y una liberación gradual de péptidos solubles y aminoácidos. En general, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los contenidos de proteínas solubles y de grupos amino libres entre las muestras de puré. Si analizamos cada una de las fases durante la digestión, se puede observar que después de la fase oral disminuyó notablemente la solubilidad de las proteínas. En esta fase no se espera que ocurra una proteólisis, así que este efecto podría deberse a una agregación de proteínas causada por su interacción con la amilasa salival (Crosara *et al.*, 2018). Tras la fase gástrica, no se observaron diferencias en la cantidad de proteínas solubles y grupos amino libres entre las muestras de puré, mientras que la cantidad de péptidos solubles en TCA aumentó ligeramente en CSM. Como se ha comentado anteriormente, hay que considerar que los péptidos más largos que se van liberando durante la fase gástrica no serían incluidos cuando medimos los péptidos solubles en 5% TCA. Tras la etapa intestinal, AM presentó los mayores

valores de péptidos (3,21 mg/g frente a 2,7 mg/g en el control y CSM), lo que representa que se duplicó la concentración de péptidos entre el puré con AM sin digerir y tras acabar la digestión. En la muestra control se observó un incremento similar mientras que en CSM se incrementó menos de 1,5 veces la concentración al comparar la muestra antes y después de la DGI simulada.

Tabla 10. Concentración de proteínas solubles, péptidos solubles en 5% TCA, grupos amino libres y azúcares reductores de los purés control y con textura modificada (AM: almidón modificado, CSM: mucílago de las semillas de chía) sin digerir y en las diferentes fases de la digestión *in vitro*.

| Parámetro | Fase de digestión | Tipo de muestra | | |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | Control | AM | CSM |
| Proteínas (mg/g) | Antes | 0,668 ± 0,102 ^{Ba} | 0,687 ± 0,016 ^{Ba} | 0,6 ± 0,0 ^{Ba} |
| | Oral | 0 ± 0 ^{Ca} | 0,015 ± 0,013 ^{Ca} | 0,01 ± 0,08 ^{Ca} |
| | Gástrica | 0,719 ± 0,018 ^{Ba} | 0,74 ± 0,04 ^{Ba} | 0,68 ± 0,06 ^{Ba} |
| | Intestinal | 2,46 ± 0,07 ^{Aa} | 2,81 ± 0,27 ^{Aa} | 2,594 ± 0,117 ^{Aa} |
| Péptidos (mg/g) | Antes | 1,25 ± 0,14 ^{Dc} | 1,59 ± 0,03 ^{Cb} | 1,943 ± 0,012 ^{Ca} |
| | Oral | 1,65 ± 0,03 ^{Cb} | 1,63 ± 0,04 ^{Cb} | 1,84 ± 0,06 ^{Da} |
| | Gástrica | 2,25 ± 0,04 ^{Ba} | 2,07 ± 0,06 ^{Bb} | 2,318 ± 0,019 ^{Ba} |
| | Intestinal | 2,691 ± 0,104 ^{Ab} | 3,21 ± 0,06 ^{Aa} | 2,745 ± 0,009 ^{Ab} |
| Grupos amino libres (mg/g) | Antes | 1,116 ± 0,002 ^{Ca} | 0,949 ± 0,004 ^{Cb} | 1,06 ± 0,05 ^{Ca} |
| | Oral | 1,115 ± 0,019 ^{Cb} | 1,21 ± 0,03 ^{Cab} | 1,26 ± 0,05 ^{Ca} |
| | Gástrica | 2,37 ± 0,06 ^{Ba} | 2,5 ± 0,4 ^{Ba} | 2,469 ± 0,002 ^{Ba} |
| | Intestinal | 4,41 ± 0,12 ^{Aa} | 4,35 ± 0,17 ^{Aa} | 4,4 ± 0,3 ^{Aa} |
| Azúcares reductores (mg/g) | Antes | 3,5 ± 0,3 ^{Dc} | 4,91 ± 0,04 ^{Db} | 5,48 ± 0,13 ^{Ca} |
| | Oral | 16,5 ± 0,4 ^{Cc} | 20,8 ± 0,3 ^{Ca} | 17,7 ± 0,0 ^{Bb} |
| | Gástrica | 20,1 ± 0,3 ^{Bab} | 23,5 ± 0,7 ^{Ba} | 18,8 ± 1,9 ^{Bb} |
| | Intestinal | 45,60 ± 0,08 ^{Ab} | 58,67 ± 0,08 ^{Aa} | 48,7 ± 1,8 ^{Ab} |

La letra mayúscula indica diferencias significativas entre las fases (antes de la digestión, digestión oral, gástrica e intestinal) dentro de la misma muestra de puré ($p < 0,05$), mientras que la letra minúscula indica diferencias significativas entre las muestras de puré sin y con textura modificada (control, AM y CSM) dentro de la misma fase ($p < 0,05$).

Como se ha comentado anteriormente, la estructura de red densa y compacta del CSM podría dificultar el acceso de las enzimas y los jugos digestivos, afectando a la digestibilidad de las proteínas (Camara *et al.*, 2020; Lázaro *et al.*, 2018). No obstante, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras en el contenido de grupos amino libres obtenido después de la etapa gástrica e intestinal, obteniendo valores cercanos a 4,4 mg/g al final de la DGI simulada, lo que indicaría que la digestibilidad proteica no fue comprometida con la adición de hidrocoloides a las muestras de puré.

Las modificaciones provocadas en la estructura del bolo debido a las interacciones de los hidrocoloides con la matriz también pueden afectar a la hidrólisis del almidón durante la digestión, lo que fue determinado y expresado como contenido en azúcares reductores (Tabla 10). El puré espesado con AM mostró los valores más altos de azúcares reductores en la fase oral e intestinal, lo cual sería lo esperado ya que debido a su composición es hidrolizado por las amilasas. En cambio, si se comparan los valores entre las muestras sin digerir y al final de la DGI, el control presentó una tasa de digestión 13 veces mayor que el AM y CSM, que presentaron incrementos de 12 y 8,8 veces, respectivamente. Las interacciones de los hidrocoloides con el alimento podrían ralentizar la digestión de carbohidratos y afectar a la absorción de glucosa. En general, el alcance de la digestión disminuye conforme aumenta el grado de modificación de almidón, y la mayor parte de los almidones modificados empleados en alimentos no son totalmente digeridos (Singh *et al.*, 2010; Wolf *et al.*, 1999). En cuanto al CSM, la disminución en la ratio de digestibilidad de proteínas y difusión de la glucosa podría estar relacionado con la viscosidad aportada por las fibras dietéticas solubles, lo que podría ralentizar la hidrólisis enzimática y la digestibilidad (Chen *et al.*, 2020).

5 CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron que la adición de los hidrocoloides AM y CSM al puré de pollo y verduras, para aportarle una consistencia nivel pudín, otorgó diferentes características a la matriz. En cuanto al color, se observó una pérdida de luminosidad en los purés espesados, principalmente en el caso de la muestra elaborada con CSM. La caracterización de las propiedades mecánicas reflejó que la adición de estos hidrocoloides aumentó la consistencia y la firmeza del puré, y ambos presentaron comportamiento de gel débil, características buscadas en productos para personas con disfagia. La adición de AM a la muestra otorgaría una mayor pseudoplasticidad, haciéndola más fácil de tragar, mientras que la muestra con CSM sería más estable y miscible con la saliva. La evaluación sensorial mostró que la adición de ambos espesantes no modificó el color, el sabor ni la aceptación general, sin embargo, estas muestras obtuvieron la mayor puntuación en relación a la consistencia oral. En cambio, para la adhesividad oral, el puré con AM fue menos aceptado que el CSM. El ensayo de masticación reflejó que, pese a que ambos purés con textura modificada presentaron inicialmente el mismo nivel de consistencia a un gradiente de 50 s^{-1} a 25 °C , el CSM mantuvo mejor la consistencia, adhesividad y η_{app} que el AM en las condiciones orales (37 °C y en presencia de saliva), por lo que esta muestra podría ser tragada de forma más segura por personas con disfagia. Durante la DGI simulada, el CSM mantuvo la mayor consistencia y η_{app} durante las fases oral y gástrica, lo que indicaría que esta muestra se ve menos afectada por las enzimas digestivas en las primeras etapas de la digestión. Sin embargo, la digestibilidad de las proteínas no se vio comprometida, mientras que la tasa de digestión del almidón fue inferior a la del AM y el control. En general, las interacciones entre los hidrocoloides y la matriz alimentaria determinan las características del bolo en el proceso de deglución, las propiedades reológicas y la liberación de nutrientes durante la posterior digestión. Los resultados de este trabajo muestran la importancia de estudiar las propiedades mecánicas, sensoriales y digestivas de los ATM en el diseño de productos para personas con problemas de deglución, así como el potencial del CSM como espesante alternativo a los hidrocoloides comerciales.

6 BIBLIOGRAFÍA

- ABU ZARIM, N., ZAINUL ABIDIN, S., & ARIFFIN, F. (2018). Rheological studies on the effect of different thickeners in texture-modified chicken rendang for individuals with dysphagia. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4522-4529. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3386-5>
- ADLER-NISSEN, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(6), 1256-1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>
- AGUILERA, J. M., & PARK, D. J. (2016). Texture-modified foods for the elderly: Status, technology and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.001>
- ALPIZAR-REYES, E., ROMÁN-GUERRERO, A., GALLARDO-RIVERA, R., VARELA-GUERRERO, V., CRUZ-OLIVARES, J., & PÉREZ-ALONSO, C. (2018). Rheological properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage obtained by spray-drying as a novel source of hydrocolloid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 817-824. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.048>
- ALVAREZ, 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. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1186692>
- ANGIOLONI, A., & COLLAR, C. (2009). Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 742-748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.04.005>
- AUGUSTO, P. E. D., CRISTIANINI, M., & IBARZ, A. (2012). Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.015>
- BAUER, J., BIOLO, CEDERHOLM, CESARI, CRUZ-JENTOFT, MORLEY, & PHILLIPS. (2013). *Evidence-Based Recommendations for Optimal Dietary Protein Intake in Older People: A Position Paper From the PROT-AGE Study Group*. 18.
- BLANAŘ, V., HÖDL, M., LOHRMANN, C., AMIR, Y., & EGLSEER, D. (2019). Dysphagia and factors associated with malnutrition risk: A 5-year multicentre study. *Journal of Advanced Nursing*, 75(12), 3566-3576. <https://doi.org/10.1111/jan.14188>
- BRADFORD, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- BRODKORB, A., EGGER, L., ALMINGER, M., ALVITO, P., ASSUNÇÃO, R., BALLANCE, S., BOHN, T.,

- BOURLIEU-LACANAL, C., BOUTROU, R., CARRIÈRE, F., CLEMENTE, A., CORREDIG, M., DUPONT, D., DUFOUR, C., EDWARDS, C., GOLDING, M., KARAKAYA, S., KIRKHUS, B., FEUNTEUN, S. L., RECIO, I. (2019). INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *NATURE PROTOCOLS*, 14, 24.
- BRÜTSCH, L., J. STRINGER, F., KUSTER, S., J. WINDHAB, E., & FISCHER, P. (2019). Chia seed mucilage – a vegan thickener: Isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration. *Food & Function*, 10(8), 4854-4860. <https://doi.org/10.1039/C8FO00173A>
- CAMARA, GERALDI, M. V., OKURO, P. K., MAROSTICA JUNIOR, M. R., DA CUNHA, R. L., RODRIGUES POLLONIO, M. A., & KAROLINE. (2020). Satiety and *in vitro* digestibility of low saturated fat Bologna sausages added of chia mucilage powder and chia mucilage-based emulsion gel. *Journal of Functional Foods*, 65. <https://bv.fapesp.br/en/publicacao/176042/satiety-and-in-vitro-digestibility-of-low-saturated-fat-bolo/>
- CAPITANI, M. I., CORZO-RIOS, L. J., CHEL-GUERRERO, L. A., BETANCUR-ANCONA, D. A., NOLASCO, S. M., & TOMÁS, M. C. (2015). Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *Journal of Food Engineering*, 149, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.043>
- CHEN, J. (2009). Food oral processing—A review. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.013>
- CHEN, C. C., SHIH, Y. C., CHIOU, P. W. S., & YU, B. (2010). Evaluating Nutritional Quality of Single Stage- and Two Stage-fermented Soybean Meal. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(5), 598-606.
- CHEN, GUO, L., NSOR-ATINDANA, J., GOFF, H. D., ZHANG, W., MAO, J., & ZHONG, F. (2020). The effect of viscous soluble dietary fiber on nutrient digestion and metabolic responses I : *In vitro* digestion process. *Food Hydrocolloids*, 107, 105971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105971>
- CHEN, J. (2015). Food oral processing: Mechanisms and implications of food oral destruction. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 222-228. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.012>
- CHEN, X., MCCLEMENTS, D. J., ZHU, Y., ZOU, L., LI, Z., LIU, W., CHENG, C., GAO, H., & LIU, C. (2018). Gastrointestinal Fate of Fluid and Gelled Nutraceutical Emulsions: Impact on Proteolysis, Lipolysis, and Quercetin Bioaccessibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(34), 9087-9096. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03003>
- CHUNG, C., DEGNER, B., & MCCLEMENTS, D. J. (2012). Instrumental mastication assay for texture assessment of semi-solid foods: Combined cyclic squeezing flow and shear viscometry. *Food Research International*, 9.
- CICHERO. (2016). Adjustment of Food Textural Properties for Elderly Patients: FOOD TEXTURE

- PROPERTIES SUITABLE FOR THE ELDERLY. *Journal of Texture Studies*, 47(4), 277-283. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12200>
- CICHERO, J. A. Y., STEELE, C., DUIVESTEIN, 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. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 1(4), 280-291. <https://doi.org/10.1007/s40141-013-0024-z>
- CROSARA, K. T. B., ZUANAZZI, D., MOFFA, E. B., XIAO, Y., MACHADO, M. A. DE A. M., & SIQUEIRA, W. L. (2018). Revealing the Amylase Interactome in Whole Saliva Using Proteomic Approaches. *BioMed Research International*, 2018, NA-NA.
- DAMULEVICIENE, G., LESKAUSKAITE, D., KNASIENE, J., KERSIENE, M., STREIMIKYTE, P., EISINAITE, V., & LESAUSKAITE, V. (2018). Digestibility of texture modified protein-based beverages for elderly people with oropharyngeal dysphagia. *Clinical Nutrition*, 37, S60-S61. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.06.1257>
- FABEK, H., MESSERSCHMIDT, S., BRULPORT, V., & GOFF, H. D. (2014). The effect of *in vitro* digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion. *Food Hydrocolloids*, 35, 718-726. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.007>
- GARCÍA-SALCEDO, Á. J., TORRES-VARGAS, O. L., DEL REAL, A., CONTRERAS-JIMÉNEZ, B., & RODRIGUEZ-GARCIA, M. E. (2018). Pasting, viscoelastic, and physicochemical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) flour and mucilage. *Food Structure*, 16, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.03.004>
- GIDLEY, M. J. (2013). Hydrocolloids in the digestive tract and related health implications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18(4), 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.04.003>
- GOUSETI, O., JAIME-FONSECA, M. R., FRYER, P. J., MILLS, C., WICKHAM, M. S. J., & BAKALIS, S. (2014). Hydrocolloids in human digestion: Dynamic in-vitro assessment of the effect of food formulation on mass transfer. *Food Hydrocolloids*, 42, 378-385. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.004>
- GROPPER, S. S., & SMITH, J. L. (2012). *Advanced Nutrition and Human Metabolism*.
- GWALA, S., WAINANA, I., PALLARES PALLARES, A., KYOMUGASHO, C., HENDRICKX, M., & GRAUWET, T. (2019). Texture and interlinked post-process microstructures determine the *in vitro* starch digestibility of Bambara groundnuts with distinct hard-to-cook levels. *Food Research International*, 120, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.022>
- HADDE, E. K., & CHEN, J. (2019). Shear and extensional rheological characterization of thickened fluid for dysphagia management. *Journal of Food Engineering*, 245, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.007>

- HERRANZ, B., CRIADO, C., POZO-BAYÓN, M. Á., & ÁLVAREZ, M. D. (2021). Effect of addition of human saliva on steady and viscoelastic rheological properties of some commercial dysphagia-oriented products. *Food Hydrocolloids*, *111*, 106403. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106403>
- HOTALING, D. L. (1992). Nutritional considerations for the pureed diet texture in dysphagic elderly. *Dysphagia*, *7*(2), 81-85. <https://doi.org/10.1007/BF02493438>
- IBAÑEZ, F. C., GÓMEZ, I., MERINO, G., & BERIAIN, M. J. (2019). Textural characteristics of safe dishes for dysphagic patients: A multivariate analysis approach. *International Journal of Food Properties*, *22*(1), 593-606. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1597881>
- IDDSI. (2019). International dysphagia diet standardization initiative. <https://iddsi.org/>
- IFST Guidelines for Ethical and Professional Practices for the Sensory Analysis of Foods. (2013). Recuperado 22 de febrero de 2021, de <https://www.ifst.org/sites/default/files/IFST%20Guidelines%20for%20Ethical%20and%20Professional%20Practices%20for%20the%20Sensory%20Analysis%20of%20Foods.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.216>
- ISHIHARA, S., NAKAO, S., NAKAUMA, M., FUNAMI, T., HORI, K., ONO, T., KOHYAMA, K., & NISHINARI, K. (2013). Compression Test of Food Gels on Artificial Tongue and Its Comparison with Human Test. *Journal of Texture Studies*, *44*(2), 104-114. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.022>
- IZIDORO, D. R., SCHEER, A. P., SIERAKOWSKI, M.-R., & HAMINIUK, C. W. I. (2008). Influence of green banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). *LWT - Food Science and Technology*, *41*(6), 1018-1028. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.009>
- KENDALL, C. W. C., ESFAHANI, A., & JENKINS, D. J. A. (2010). The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloids*, *24*(1), 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.08.002>
- KETNAWA, S., & OGAWA, Y. (2019). Evaluation of protein digestibility of fermented soybeans and changes in biochemical characteristics of digested fractions. *Journal of Functional Foods*, *52*, 640-647. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.046>
- KOOCHEKI, A., TAHERIAN, A. R., RAZAVI, S. M. A., & BOSTAN, A. (2009). Response surface

- methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2369-2379. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.06.014>
- LAGUNA, L., FARRELL, G., BRYANT, M., MORINA, A., & SARKAR, A. (2017). Relating rheology and tribology of commercial dairy colloids to sensory perception. *Food & Function*, 8(2), 563-573. <https://doi.org/10.1039/C6FO01010E>
- LÁZARO, H., PUENTE DÍAZ, L., ZÚNIGA, M. C., & MUÑOZ, L. A. (2018). Assessment of rheological and microstructural changes of soluble fiber from chia seeds during an in vitro micro-digestion. *Lwt-Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.052>
- LENTLE, R. G., JANSSEN, P. W. M., ASVARUJANON, P., CHAMBERS, P., STAFFORD, K. J., & HEMAR, Y. (2007). High definition mapping of circular and longitudinal motility in the terminal ileum of the brushtail possum *Trichosurus vulpecula* with watery and viscous perfusates. *Journal of Comparative Physiology B*, 177(5), 543-556. <https://doi.org/10.1007/s00360-007-0153-8>
- LUTZ, M., PETZOLD, G., & ALBALA, C. (2019). Considerations for the Development of Innovative Foods to Improve Nutrition in Older Adults. *Nutrients*, 11(6), 1275. <https://doi.org/10.3390/nu11061275>
- MAO, L., & MIAO, S. (2015). Structuring Food Emulsions to Improve Nutrient Delivery During Digestion. *Food Engineering Reviews*, 7, 439-451. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9108-0>
- MENG, Y., RAO, M. A., & DATTA, A. K. (2005). Computer Simulation of the Pharyngeal Bolus Transport of Newtonian and Non-Newtonian Fluids. *Food and Bioprocess Processing*, 83(4), 297-305. <https://doi.org/10.1205/fbp.04209>
- MILLER, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- MINEKUS, M., ALMINGER, M., ALVITO, P., BALLANCE, S., BOHN, T., BOURLIEU, C., CARRIÈRE, F., BOUTROU, R., CORREDIG, M., DUPONT, D., DUFOUR, C., EGGER, L., GOLDING, M., KARAKAYA, S., KIRKHUS, B., LE FEUNTEUN, S., LESMES, U., MACIERZANKA, A., MACKIE, A., ... BRODKORB, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food Funct.*, 5(6), 1113-1124. <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>
- MORELL, P., HERNANDO, I., LLORCA, E., & FISZMAN, S. (2015). Yogurts with an increased protein content and physically modified starch: Rheological, structural, oral digestion and sensory properties related to enhanced satiating capacity. *Food Research International*, 70, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.024>
- MORET-TATAY, A., RODRÍGUEZ-GARCÍA, MARTÍ-BONMATÍ, HERNANDO, & HERNÁNDEZ. (2015). Commercial thickeners used by patients with dysphagia: Rheological and structural behaviour in different food matrices. *Food Hydrocolloids*, 9.

- MOSCA, & CHEN. (2017). Food-saliva interactions: Mechanisms and implications. *Trends in Food Science & Technology*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700202547>
- MUNIALO, C. D., KONTOGIORGOS, V., EUSTON, S. R., & NYAMBAYO, I. (2020). Rheological, tribological and sensory attributes of texture-modified foods for dysphagia patients and the elderly: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 1862-1871. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14483>
- MURATA, H., HAMADA, T., & SADAMORI, S. (2008). Relationship between viscoelastic properties of soft denture liners and clinical efficacy. *Japanese Dental Science Review*, 44(2), 128-132. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2008.06.001>
- NATIONAL DYSPHAGIA DIET TASK FORCE & AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. (2002). *National dysphagia diet: Standardization for optimal care*. American Dietetic Association.
- NEWMAN, R., VILARDELL, N., CLAVÉ, P., & SPEYER, R. (2016). Effect of Bolus Viscosity on the Safety and Efficacy of Swallowing and the Kinematics of the Swallow Response in Patients with Oropharyngeal Dysphagia: White Paper by the European Society for Swallowing Disorders (ESSD). *Dysphagia*, 31(2), 232-249. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9696-8>
- NISHINARI, K., TURCANU, M., NAKAUMA, M., & FANG, Y. (2019). Role of fluid cohesiveness in safe swallowing. *Npj Science of Food*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0038-8>
- PTASZEK, A., BERSKI, W., PTASZEK, P., WITCZAK, T., REPELEWICZ, U., & GRZESIK, M. (2009). Viscoelastic properties of waxy maize starch and selected non-starch hydrocolloids gels. *Carbohydrate Polymers*, 76(4), 567-577. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.11.023>
- RIBES, S., PEÑA, N., FUENTES, A., TALENS, P., & BARAT, J. M. (2021). Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage as a fat replacer in yogurts: Effect on their nutritional, technological, and sensory properties. *Journal of Dairy Science*, S0022030220310870. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19240>
- SAMUELS, R., & CHADWICK, D. D. (2006). Predictors of asphyxiation risk in adults with intellectual disabilities and dysphagia. *Journal of Intellectual Disability Research: JIDR*, 50(Pt 5), 362-370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2005.00784.x>
- SARKAR, A., SINGH, H., & GOH, K. (2009). Colloidal stability and interactions of milk-protein-stabilized emulsions in an artificial saliva. *Food Hydrocolloids*, 23(5), 1270-1278. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.008>
- SHARMA, M., & DUIZER, L. (2019). Characterizing the Dynamic Textural Properties of Hydrocolloids in Pureed Foods—A Comparison Between TDS and TCATA. *Foods*, 8(6), 184. <https://doi.org/10.3390/foods8060184>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>

SHARMA, M., PICO, J., MARTINEZ, M. M., & DUIZER, L. (2020). The dynamics of starch hydrolysis and thickness perception during oral processing. *Food Research International*, 134, 109275. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109275>

SINGH, H., YE, A., & FERRUA, M. J. (2015). Aspects of food structures in the digestive tract. *Current Opinion in Food Science*, 3, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.06.007>

SINGH, J., DARTOIS, A., & KAUR, L. (2010). Starch digestibility in food matrix: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 168-180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.001>

SINGH, J., KAUR, L., & MCCARTHY, O. J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.02.006>

SU, M., ZHENG, G., CHEN, Y., XIE, H., HAN, W., YANG, Q., SUN, J., LV, Z., & CHEN, J. (2018). Clinical applications of IDDSI framework for texture recommendation for dysphagia patients. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 2-10. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12306>

SYAHARIZA, Z. A., & YONG, H. Y. (2017). Evaluation of rheological and textural properties of texture-modified rice porridge using tapioca and sago starch as thickener. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1586-1591. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9538-x>

TALENS, P., CASTELLS, M. L., VERDÚ, S., BARAT, J. M., & GRAU, R. (2021). Flow, viscoelastic and masticatory properties of tailor made thickened pea cream for people with swallowing problems. *Journal of Food Engineering*, 292, 110265. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110265>

TAVARES, L. S., JUNQUEIRA, L. A., DE OLIVEIRA GUIMARÃES, Í. C., & DE RESENDE, J. V. (2018). Cold extraction method of chia seed mucilage (*Salvia hispanica* L.): Effect on yield and rheological behavior. *Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 457-466. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2954-4>

TIMILSENA, Y. P., ADHIKARI, R., KASAPIS, S., & ADHIKARI, B. (2015). Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 991-999. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.09.040>

TURGEON, S. L., & RIOUX, L.-E. (2011). Food matrix impact on macronutrients nutritional properties. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1915-1924. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.026>

UNE-ISO 11136:2014 *Sensory analysis. Methodology. General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area.* (2014).

- UNITED NATIONS. (2019). *World Population Prospects, Population Division*.
<https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/80plus/900>
- VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, S. K., FIGUEIRA, A. C., RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E., ROMÁN-GUERRERO, A., CARRILLO-NAVAS, H., & PÉREZ-ALONSO, C. (2015). Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Carbohydrate Polymers*, *121*, 411-419.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.068>
- VERA, N., LAGUNA, L., ZURA, L., & MUÑOZ, L. A. (2020). A Comparative Study of the Physical Changes of Two Soluble Fibers during In Vitro Digestion. *Proceedings*, *53*(1), 21.
<https://doi.org/10.3390/proceedings2020053021>
- VERA, N., LAGUNA, L., ZURA, L., PUENTE, L., & MUÑOZ, L. A. (2019). Evaluation of the physical changes of different soluble fibres produced during an in vitro digestion. *Journal of Functional Foods*, *62*, 103518. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103518>
- VIEIRA, J. M., ANDRADE, C. C. P., SANTOS, T. P., OKURO, P. K., GARCIA, S. T., RODRIGUES, M. I., VICENTE, A. A., & CUNHA, R. L. (2021). Flaxseed gum-biopolymers interactions driving rheological behaviour of oropharyngeal dysphagia-oriented products. *Food Hydrocolloids*, *111*, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106257>
- WADHERA, D., & CAPALDI-PHILLIPS, E. D. (2014). A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eating Behaviors*, *15*(1), 132-143.
<https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.11.003>
- WEI, Y., GUO, Y., LI, R., MA, A., & ZHANG, H. (2021). Rheological characterization of polysaccharide thickeners oriented for dysphagia management: Carboxymethylated curdlan, konjac glucomannan and their mixtures compared to xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, *110*, 106198. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106198>
- WENDIN, K., EKMAN, S., BÜLOW, M., EKBERG, O., JOHANSSON, D., ROTHENBERG, E., & STADING, M. (2010). Objective and quantitative definitions of modified food textures based on sensory and rheological methodology. *Food & Nutrition Research*, *54*(1), 5134.
<https://doi.org/10.3402/fnr.v54i0.5134>
- WICK, R., GILBERT, J. D., & BYARD, R. W. (2006). Café coronary syndrome-fatal choking on food: An autopsy approach. *Journal of Clinical Forensic Medicine*, *13*(3), 135-138.
<https://doi.org/10.1016/j.jcfm.2005.10.007>
- WILKINSON, J. M., CODIPILLY, D. C., & WILFAHRT, R. P. (2021). Dysphagia: Evaluation and Collaborative Management. *American Family Physician*, *103*(2), 97-106.
- WOLF, B. W., BAUER, L. L., & FAHEY, G. C. (1999). Effects of chemical modification on *in vitro* rate and extent of food starch digestion: An attempt to discover a slowly digested starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(10), 4178-4183.
<https://doi.org/10.1021/jf9813900>

- WOOLNOUGH, J. W., BIRD, A. R., MONRO, J. A., & BRENNAN, C. S. (2010). The Effect of a Brief Salivary α -Amylase Exposure During Chewing on Subsequent *in Vitro* Starch Digestion Curve Profiles. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(8), 2780-2790. <https://doi.org/10.3390/ijms11082780>
- WRIGHT, L., COTTER, D., HICKSON, M., & FROST, G. (2005). Comparison of energy and protein intakes of older people consuming a texture modified diet with a normal hospital diet. *Journal of Human Nutrition and Dietetics: The Official Journal of the British Dietetic Association*, 18(3), 213-219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2005.00605.x>
- YANG, H., TSAI, C.C., JIANG, J.-S., & HUA, C.C. (2021). Rheological and Textural Properties of Apple Pectin-Based Composite Formula with Xanthan Gum Modification for Preparation of Thickened Matrices with Dysphagia-Friendly Potential. *Polymers*, 13(6), 873. <https://doi.org/10.3390/polym13060873>
- YANG, H.W., DAI, H.D., HUANG, W.C., & SOMBATNGAMWILAI, T. (2020). Formulations of dysphagia-friendly food matrices with calorie-dense starchy thickeners and their stability assessments. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(6), 3089-3102. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00549-3>