



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los alimentos

Optimización de la obtención de alimentos texturizados para pacientes con disfagia

Optimization of texture modified food for dysphagia patients

Autor/es

José Luis Pérez Gallego

Director/es

D^a Sara Remón Oliver

D^a Ana Ferrer Mairal

Facultad de Veterinaria
2021

Agradecimientos

Quiero aprovechar unas breves líneas para dar las gracias a todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo:

En primer lugar, quería agradecerles a las directoras del trabajo Dra. Ana María Ferrer Mairal y Dra. Sara Remón Oliver por su dedicación, amabilidad y conocimientos. Han sido de gran ayuda y apoyo a la hora de realizar este Trabajo.

También quería agradecerle a todo el grupo de Investigación de Alimentos de Origen Vegetal de la Universidad de Zaragoza, por su paciencia y cercanía.

Agradecimientos a mi familia y a mis padres, José Ángel y Luisa, por todo el apoyo incondicional incluso en los peores días. Gracias por vuestra comprensión

Gracias también a todos mis compañeros de clase, que me han ayudado a poner una buena cara cada vez que surgían problemas.

Y, por último, un gran agradecimiento a mi abuelo José.

ÍNDICE

Resumen	3
Abstract.....	4
Antecedentes	5
1.Introducción	6
1.1. Disfagia y alimentos para disfagia.	6
1.2. Modificación de la textura y de la viscosidad de alimentos y bebidas.....	10
2. Objetivos y diseño del estudio	13
2.1. Objetivos	13
2.2. Desarrollo experimental	13
3. Material y métodos	16
3.1. Materiales	16
3.2. Preparación de muestras.....	16
3.3. Análisis instrumental	17
3.4 Análisis no instrumental	20
3.5 Análisis estadístico	21
4.Resultados.....	22
4.1. Texturización de brócoli	22
4.1.1 Efecto de la cocción y el procesado	22
4.1.2. Efecto de la adición de hidrocoloides a los purés de brócoli	28
4.2. Texturización de pan	33
4.2.1. Análisis de Perfil de Textura	33
4.2.2. Grado de sinéresis	36
4.2.3 Análisis sensorial	37
5.Conclusiones	39
6. Valoración personal.....	40
7. Bibliografía	41

Resumen

La disfagia es un síntoma con alta prevalencia entre personas de edad avanzada o que presentan algún tipo de daño neurológico. Se define como la dificultad del paso del bolo alimenticio de la boca al estómago, por lo que los pacientes pueden sufrir atragantamiento y a largo plazo, malnutrición. Una de las principales estrategias para mejorar la calidad de vida de estos pacientes es la modificación de la textura de los alimentos, existiendo diferentes grados de adaptación y técnicas para caracterizarlos. La adaptación de líquidos utilizando diferentes espesantes ha sido investigada con mayor profundidad que la de los alimentos sólidos.

El objetivo de este trabajo es optimizar la obtención de alimentos texturizados a partir de diferentes matrices sólidas. Se han seleccionado dos matrices con diferente estructura y composición (brócoli y pan) y se ha estudiado el efecto del tipo de cocinado y procesado. También se ha investigado el efecto de la incorporación de hidrocoloides como agentes texturizantes. Se han caracterizado los productos obtenidos instrumentalmente y sensorialmente.

Los resultados señalan la importancia de la incorporación del análisis instrumental en la preparación de alimentos dirigidos a personas aquejadas de disfagia ya que permiten diferenciar grados de texturización de forma más precisa que las escalas habitualmente utilizadas. En el caso del brócoli, se ha observado que tanto el método de cocinado, como el posterior procesado modifican las características físicas y sensoriales de los productos texturizados. Además, la incorporación de hidrocoloides (xantana y HPMC) favorece el control de la sinéresis manteniendo una textura óptima e induciendo ligeras modificaciones sensoriales. En el caso del pan, las muestras que presentan un perfil de textura, aroma y sabor más adecuado para personas que sufren disfagia son los texturizados de corteza tostada con la combinación de gelatina y xantana, si bien los catadores detectaron la aparición de sabores extraños.

En conclusión, es necesario investigar para optimizar, no sólo desde el punto de vista de la seguridad en la deglución, sino también nutricional y sensorialmente, los diferentes productos texturizados orientados a personas que sufren disfagia.

Abstract

Dysphagia is a highly prevalent symptom among elderly people or those with some type of neurological damage. It is defined as the difficulty of the passage of the food bolus from the mouth to the stomach, so that patients can suffer from choking and in the long term, malnutrition. One of the main strategies to improve the quality of life of these patients is the modification of the food texture, with different degrees of adaptation and techniques to characterize them. The adaptation of liquids using different thickeners has been investigated in greater depth than that of solid foods.

The objective of this work is to optimize the obtaining of textured foods from different solid matrices. Two matrices with different structure and composition (broccoli and bread) have been selected and the effect of the type of cooking and processing has been studied. The effect of incorporating hydrocolloids as texturizing agents has also been investigated. The products obtained instrumentally and sensory have been characterized.

The results indicate the importance of the incorporation of instrumental analysis in the preparation of foods aimed at people suffering from dysphagia, since they allow differentiating degrees of texturing more precisely than the scales commonly used. In the case of broccoli, it has been observed that both the cooking method and the subsequent processing modify the physical and sensory characteristics of textured products. Furthermore, the incorporation of hydrocolloids (xanthan and HPMC) favors the control of syneresis, maintaining an optimal texture and inducing slight sensory modifications. In the case of bread, the samples that present a more suitable texture, aroma and flavor profile for people suffering from dysphagia are the toasted crust textures with the combination of gelatin and xanthan, although the tasters detected the appearance of strange flavors.

In conclusion, it is necessary to research to optimize, not only from the point of view of safety in swallowing, but also nutritionally and sensory, the different textured products aimed at people suffering from dysphagia.

Antecedentes

Se estima que la disfagia afecta al 8% de la población mundial. Este trastorno, que a menudo se asocia a enfermedades neurodegenerativas, accidentes cerebrovasculares o cánceres de cabeza y cuello, también puede ocurrir en niños con trastornos congénitos o desarrollados. Está frecuentemente relacionada con la deshidratación y la desnutrición, y tiene consecuencias negativas para la calidad de vida y la participación en actividades sociales que implican comer y beber. Con el fin de mejorar tanto la nutrición como la integración social a través de la texturización de los alimentos, nace el proyecto **INDEED “INnovative tools for Diets oriented to Education and health Improvement in Dysphagia condition” 2020-1-ES01-KA204-083288 (“Herramientas innovadoras para dietas orientadas a la mejora de la formación y la salud en relación con la disfagia”)**.

Cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea y liderado por la Coordinadora de Personas con Discapacidad de la provincia de Huesca (CADIS Huesca), en INDEED (se integran un total de seis entidades pertenecientes a cinco países: además de CADIS y la Universidad de Zaragoza por España, completan el listado la universidad Klaipėdos Valstybinė Kolegija (Lituania), el centro de enseñanza secundaria Istituti Paritari Fermi (Italia), la Oficina para la Unión Europea y Asuntos Exteriores de Kocaeli (Turquía) y el Instituto IDEC (Grecia). Una asociación estratégica que aúna socios con experiencia técnica y clínica y en el campo de la educación de adultos innovadora, junto a miembros que ofrecerán apoyo en nutrición y alimentación, e inclusión social.

El objetivo principal de mejorar el manejo dietético de la disfagia orofaríngea a través de métodos de aprendizaje innovadores para tratar esta dolencia tanto para personas con disfagia, sus familias y sus cuidadores; como a profesionales que asisten a los primeros desde un punto de vista multidisciplinar (logopedas, personal de cocina, dietistas, estudiantes, etc.).

La Universidad de Zaragoza, en concreto del grupo de investigación GIAOVE del IA2 participa en el proyecto desarrollando mejoras en la texturización de alimentos, su adaptación para personas con disfagia y en la caracterización instrumental y sensorial de los alimentos texturizados.

El TFG que se presenta se ha integrado dentro del proyecto INDEED realizándose la adaptación y caracterización de dos matrices de alimentos para la inclusión en una dieta con disfagia.

1.Introducción

1.1. Disfagia y alimentos para disfagia.

La disfagia es un síntoma que se refiere a la dificultad o molestia durante la progresión del bolo alimenticio desde la boca hasta el estómago (Rofes et al., 2011). Los pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular u otro tipo de daño neurológico presenta comúnmente esta condición. Alrededor del 33% de todos los pacientes con ictus y hasta el 50% de todos los pacientes con afecciones neurológicas han sufrido disfagia sufren disfagia (Aslam y Vaezi, 2013). La disfagia también puede ser una consecuencia del tratamiento en pacientes con cáncer de cabeza y cuello (Rofes et al., 2011). Además, la disfagia es prevalente entre las personas mayores, con un porcentaje del 13% entre las personas que tienen entre 65 y 70 años de edad, un 16% entre los que tienen entre 70 y 79 años, un 33% entre de 70 a 79 años, y un 33% entre los que tienen ≥ 80 años (Sungsinchai et al., 2019).

Los pacientes con disfagia tienen un mayor riesgo de atragantamiento y aspiración de alimentos al comer o beber. Esto puede conducir a una serie de complicaciones, como la infección pulmonar que dan lugar a una hospitalización prolongada, fragilidad, susceptibilidad a otras enfermedades, ansiedad e incluso una menor tasa de supervivencia (Icht et al., 2018). Los pacientes disfágicos también tienen una tendencia a sufrir pérdida de peso pérdida, desnutrición y deshidratación. Por lo tanto, es crítico para estos pacientes consumir alimentos que sean fáciles de masticar y seguros de tragar. La ingestión de alimentos de textura modificada y líquidos espesados es una de las alternativas para las personas con disfagia (Cichero et al., 2013).

La modificación de la textura se realiza para mejorar la calidad y la seguridad de los alimentos para personas con disfagia. El termino de alimentos texturizados o alimentos con textura modificada se refiere a los alimentos con textura blanda y este ablandamiento puede deberse a una modificación física o química para reducir el riesgo de atragantamiento (Cichero et al., 2013).

La textura de los alimentos recomendada para las dietas de disfagia debe ser blanda, húmeda, elástica, suave y fácil de tragar (Yoshioka et al., 2016). Deben evitarse las texturas pegajosas y adhesivas, así como los líquidos finos evitar ya que estas texturas pueden hacer que los residuos de alimentos se acumulen en la orofaringe y pueden provocar la aspiración después de la deglución (Park, Kim, Lee y Park, 2017).

Clasificación de los alimentos para la disfagia

De acuerdo con el marco de la Iniciativa Internacional de Estandarización de la Dieta para la Disfagia (IDDSI), una iniciativa mundial que recomienda la aplicación de una terminología estandarizada en todo el mundo, las dietas para la disfagia pueden clasificarse en ocho niveles (de 0 a 7) (ver figura 1). La prueba de flujo con jeringa clasifica los niveles IDDSI de 0 a 3 en función de la velocidad de flujo. La prueba del tenedor, por otro lado, se utiliza mejor para evaluar los alimentos de niveles 4 a 7 (Cichero et al., 2017; IDDSI, 2016).

Hay que tener en cuenta que la presión ejercida por la lengua humana durante la deglución es de unos 17 kPa (Steele et al., 2014), lo que equivale a la presión ejercida por los alimentos de niveles 4 a 7. Por lo tanto, son los alimentos clasificados en los niveles 4 a 7 los que se consideran alimentos de textura modificada para pacientes disfágicos o alimentos texturizados (Sungsinchai et al., 2019).

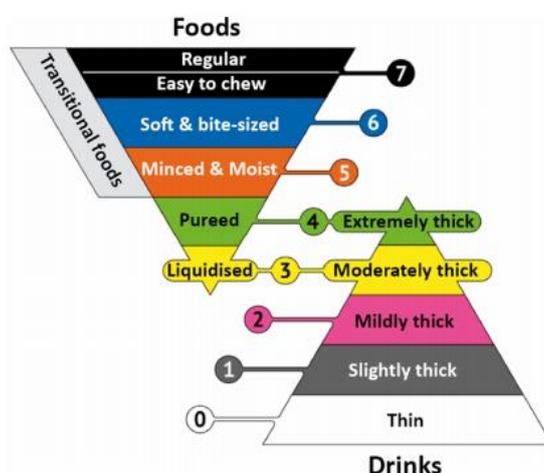


Figura 1. Clasificación por niveles de textura de la IDDSI

El nivel 4 (puré) no requiere masticación, pero es lo suficientemente cohesivo suficiente para mantener su forma en una cuchara; los alimentos de nivel 4 incluyen productos como el puré de patata, el puré de zanahoria y el puré de aguacate.

El nivel 5 (picado y húmedo) representa los alimentos blandos y húmedos con/sin líquido fino separado; pueden ser visibles pequeños grumos (de 2 a 4 mm de tamaño) dentro de los alimentos y se requiere una masticación mínima. Los alimentos del nivel 5 incluyen productos como carne y pescado picados, puré de frutas cereales totalmente ablandados y arroz (no pegajoso ni glutinoso).

Los alimentos del nivel 6 (blandos y del tamaño de un bocado) se pueden triturar/romper con la presión de un tenedor, una cuchara o unos palillos y son blandos, tiernos y húmedos, pero no

tienen un líquido delgado separado; es necesario masticar para esta clase de alimentos, que incluyen la carne tierna cocida, el pescado cocido y verduras hervidas o al vapor.

El nivel 7 son los alimentos normales con varias texturas (por ejemplo, duros, crujientes y naturalmente blandos).

Caracterización instrumental de los alimentos para la disfagia

Para la caracterización de los productos orientados a disfagia pueden utilizarse métodos empíricos, métodos fundamentales y métodos sensoriales. Entre los métodos empíricos, pueden citarse los basados en los test de expansión lineal, el consistómetro de Bostwick o los métodos propuestos por la IDDSI que ya han sido comentados.

En cuanto a los métodos fundamentales, pueden aplicarse ensayos reológicos con reómetros rotacionales, reómetros extensionales, tribómetros o texturómetros. Estos últimos han cobrado interés en los últimos años por la facilidad de uso y la versatilidad de los equipos.

Los parámetros de textura que se utilizan para caracterizar los alimentos texturizados son: dureza, adhesividad, cohesión, firmeza, fracturabilidad (mordibilidad), elasticidad, viscosidad (aplicada sólo a los líquidos) y el límite de elasticidad (National Dysphagia Diet Task Force, 2002). De todos ellos, la dureza, la adhesividad y la cohesividad son los que mimetizan mejor la percepción de la textura sensorial (Sungsinchai et al., 2019)

La dureza se define como la fuerza necesaria para conseguir una determinada deformación del alimento en el primer bocado (Nishinari, Fang, y Rosenthal, 2019). La adhesividad se define como la fuerza necesaria para eliminar el material que se adhiere a la boca durante la alimentación normal (Park y Han, 2016), mientras que la cohesividad se define como la capacidad de los alimentos de formar un conjunto unido y resistir la compresión (Inamoto et al., 2018).

Al llevar los alimentos a la boca, la masticación comienza con el primer bocado de alimento sólido o semisólido y se lleva a cabo mediante la oclusión forzada de los bordes opuestos de los incisivos superiores e inferiores incisivos (etapa i) (Sungsinchai et al., 2019) como se muestra en la Figura 2. El alimento se reduce a partículas durante la masticación (etapa ii), y la saliva es secretada por la cavidad oral para ayudar a lubricar y prevenir la irritación en la boca. Esta etapa está relacionada con el comportamiento tribológico de los alimentos cuando se mezclan con la saliva en la superficie oral, lo que se conoce como granulación (etapa iii) (Sungsinchai et al., 2019). Aunque la dureza de los alimentos disminuye al aumentar número de ciclos de masticación (Nakagawa et al., 2014), los alimentos duros semisólidos no se suelen desintegrar y

pueden presentar un alto riesgo de aspiración por los pacientes disfágicos. La formación del bolo (etapa iv) implica el moldeado de las partículas de alimentos y saliva y dado que la saliva se segrega continuamente en la cavidad oral, la reología del bolo se altera con el tiempo (Stokes et al., 2013). Durante el proceso de deglución (etapa v), el bolo se sitúa en la superficie dorsal de la lengua y luego es impulsado hacia el esófago a través de la faringe (Nakagawa et al., 2014). Tras el proceso de deglución (fase vi), una mayor adherencia del bolo alimenticio puede aumentar el riesgo de residuos faríngeos por su pegajosidad (Nakagawa et al., 2014). Por el contrario, una cohesividad excesivamente baja del bolo alimenticio aumenta el riesgo de residuos orales y de aspiración (Nakagawa et al., 2014).

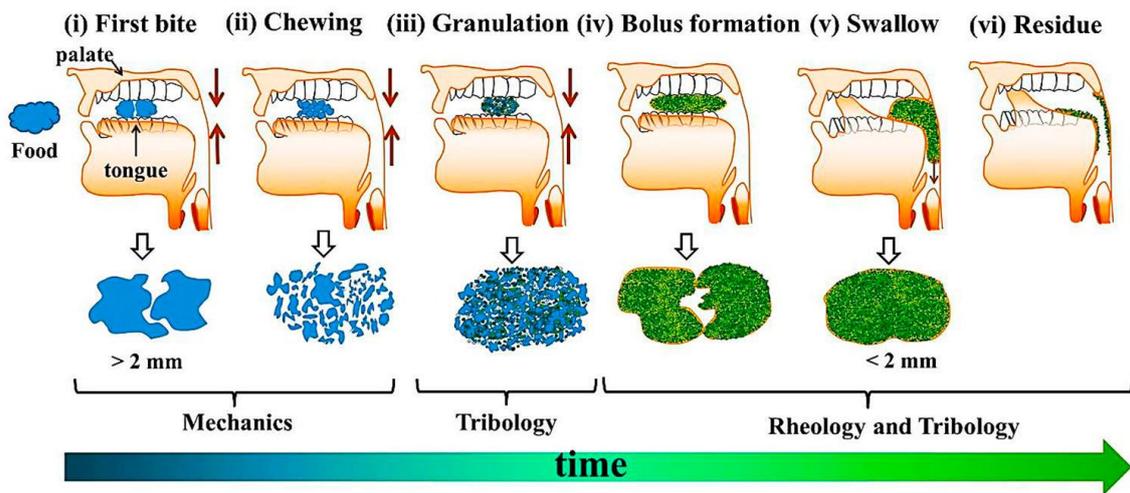


Figura 2: Procesado oral de alimentos sólidos o semisólidos (Sungsinchai et al., 2019)

Los alimentos de textura modificada o los alimentos semisólidos (por ejemplo, jaleas, pudines y purés) pueden comprimirse fácilmente entre la lengua y el paladar duro o pueden tragarse fácilmente sin masticar siendo adecuados para las dietas para disfagia. Las dietas de disfagia deben tener una dureza y una adhesividad baja para facilitar la masticación, pero una cohesividad alta para una deglución adecuada reduciendo los residuos en la orofaringe, y evitando la aspiración (Inamoto et al, 2018).

También se utiliza la gomosidad, cuando queremos tener en cuenta el efecto de varias propiedades texturales. La gomosidad se define como el producto de la dureza y la cohesión y es la energía necesaria para desintegrar el alimento hasta que pueda ser tragado (Nishinari y Fang, 2018). La gomosidad es una característica de los alimentos semisólidos alimentos semisólidos con un menor grado de dureza y un mayor grado de cohesividad, características que son adecuadas para los alimentos para la disfagia.

La clasificación de los alimentos para la disfagia, teniendo en cuenta las propiedades texturales de los alimentos es necesaria para poder proporcionar a las personas con disfagia unos alimentos más adecuados, contribuyendo así a su seguridad y salud (Momosaki et al., 2013)

Existen 2 clasificaciones de alimentos teniendo en cuenta estos criterios:

- El ministerio de Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar (2009) de Japón utiliza la dureza, la adhesividad y la cohesividad pueden utilizarse para clasificar alimentos en tres clases (I, II y III) de acuerdo con la "Food para usos dietéticos especiales para pacientes disfágicos" (Tokifuji et al., 2013; Yoshioka et al., 2016).

- La Conferencia de Alimentos de Atención de Japón (2016) ha establecido el concepto de alimentos de diseño universal en el que los alimentos se clasifican en cuatro niveles (1,2,3 y 4) en función de su dureza y la viscosidad (Park et al., 2017).

Aunque la cohesión es también una característica clave de los alimentos de textura modificada textura, hay muy pocos informes sobre la consideración de la cohesividad en relación con estos criterios. Sólo algunas condiciones de la producción de dietas para la disfagia a base de carne como las reportadas por Yoshioka et al. (2016) podrían citarse para utilizar la cohesividad como criterio.

En cuanto a la información disponible sobre las propiedades reológicas de las dietas / alimentos listos para usar utilizados para el manejo de la disfagia se centra en la viscosidad. Recientemente, diferentes autores han destacado recientemente la necesidad de una información reológica más completa sobre productos listos para usar para pacientes disfágicos (Gallegos et al., 2021).

Recientemente, se ha incorporado el estudio de la saliva en las propiedades reológicas y texturales de los productos para disfagia con el fin de reproducir de una manera más efectiva el procesado oral de los alimentos. Los estudios realizados hasta el momento han incluido bebidas espesadas (Turcanu et al., 20218), algunos espesantes comerciales (Lee et al., 2016; Moret-Tatay et al., 2015) y recientemente en productos comerciales listos para suministrar a pacientes aquejados de disfagia (Herranz et al., 2021).

1.2. Modificación de la textura y de la viscosidad de alimentos y bebidas

Desde hace varias décadas se ha investigado para el diseño de texturas que garanticen una deglución segura en situación de disfagia. En la actualidad, el estudio sobre la modificación de alimentos líquidos se encuentra bastante desarrollado. Existen numerosas investigaciones sobre

la modificación de la viscosidad en líquidos mediante el uso de hidrocoloides, tanto para uso en personas con disfagia como en otros ámbitos como la impresión 3D de alimentos (Huang et al., 2020). Sin embargo, la modificación de alimentos sólidos está mucho menos investigada. Se han ensayado diferentes novedosos métodos para modificar la textura de este tipo de alimentos, basados en la aplicación de altas presiones, campos de pulsos eléctricos, ultrasonidos y radiaciones, además de la impresión 3D. Sin embargo, el triturado y posterior incorporación de hidrocoloides u otros ingredientes sigue siendo la principal vía para obtener alimentos aptos para personas con disfagia (Sungsinchai et al., 2019).

Proteínas, carbohidratos y lípidos son los constituyentes más importantes en el diseño de alimentos de textura modificada, a través de la formación de geles, mousses, emulsiones, etc. (Lesmes y McClements, 2009; Quinchia et al., 2011; Funami, 2016). Las proteínas globulares se despliegan y desnaturalizan cuando son calentadas, aumentando la viscosidad de los líquidos (ej., en bebidas proteicas). Posteriormente se agregan y forman estructuras gelificadas. Los lípidos, fundamentalmente los triglicéridos, por su capacidad de cristalizar, forman agregados incorporando grasa en estado líquido forman una matriz plástica que puede contribuir al desarrollo de texturas para disfagia (Marangoni & Wedjedorp, 2012). También la formación de oleogeles, fase líquida lipídica atrapada en una red gelificada tiene utilidad para la generación de texturas modificadas.

Los polisacáridos se utilizan para espesar dispersiones acuosas alimentarias, estabilizar emulsiones y espumas y como agentes gelificantes (Funami et al., 2012). En el desarrollo de alimentos orientados a disfagia se utilizan gomas y almidones como agentes espesantes, combinados en los productos comerciales con dextrinas como agentes encapsulantes de nutrientes, antioxidantes, enzimas y flavor. (Ray et al., 2016). También se ha investigado la incorporación de fibra a los alimentos de textura modificada, como los derivados de la celulosa o el almidón resistente (Elleuch et al., 2011).

Para la modificación de la textura y viscosidad en instituciones, y en menor medida, a nivel doméstico se utilizan dos grandes familias de espesantes en el manejo de la disfagia: espesantes derivados del almidón y espesantes basados en gomas (Cichero, 2013).

Los espesantes basados en almidón, como el almidón de maíz, de patata y de tapioca incrementan la viscosidad del fluido en el cual se dispersan (Giura et al., 2021). No obstante, presentan algunas limitaciones por afectar a las características sensoriales (sabor a almidón, textura granulosa y turbidez), la falta de estabilidad con el tiempo (aumenta la viscosidad con el tiempo) y la aparición de residuos (Cichero, 2013; Vilardell et al., 2016). Además, se ha descrito

que en contacto con amilasa salivar, la viscosidad puede verse afectada, causando problemas de seguridad en la deglución. Los almidones modificados que han sido desarrollados últimamente mejoran las características de los almidones nativos. El almidón como espesante ha sido evaluado en puré de zanahorias (Sharma et al., 2017), en puré de guisantes (Talens et al., 2021) y en diferentes bebidas (Yang y Lin, 2021).

Por otra parte, las gomas son hidrocoloides que presentan propiedades ligantes con el agua y otros fluidos, aumentando la viscosidad. Se les atribuye algunas características diferentes a las del almidón, como la capacidad de formar texturas uniformes, menor afección del sabor, mayor estabilidad, no se ven afectados por la amilasa y generan menor proporción de residuo. Las más comunes son goma xantana, goma guar, carragenanos y goma tara (Fernández et al., 2014), pero también se utilizan ágar, carboximetilcelulosa, pectinas, gelatina, goma konjac y semillas de lino.

Entre ellas, la goma xantana es una de las más utilizadas, ya que proporciona elevada viscosidad aun a bajas concentraciones, es estable frente a cambios de temperatura y presenta bastante fuerza iónica (Giura et al., 2021). Se ha ensayado en diferentes matrices como zumos, leche, agua, patés, purés de verduras, etc (Pant et al., 2021; Sharma et al., 2017; Ross et al., 2019; Talens et al., 2021).

No obstante, además de las características del agente espesante, en esta modificación de la viscosidad y de la textura influye también las características de la matriz alimentaria objetivo.

Todavía son limitados los estudios publicados relacionados con el uso y efecto de hidrocoloides en alimentos de textura modificada (Zarim et al., 2018; Ilhamto et al., 2014; Sharma et al., 2017; Tobin, 2014; Talens et al., 2021; Pematilleke et al., 2021).

Las matrices vegetales se caracterizan por una textura fibrosa y en algunos casos de doble textura, debido a las diferentes partes anatómicas de la planta. En algunos casos, los procesos de cocinado ayudan a ablandar el alimento, pero es necesario el uso de hidrocoloides para aumentar la homogeneidad y evitar la sinéresis, tal y como describe (Sharma et al., 2016). En otros casos, se ha optado por realizar una congelación previa al triturado con el objetivo de disminuir el tamaño de partícula (Tobin, 2014).

Otra de las matrices problemáticas en la adaptación de textura son las matrices amiláceas. En la gran mayoría de casos, la cocción de estos alimentos los ablanda y facilita su texturización (Huang et al., 2020). Sin embargo, dentro de este grupo de alimentos se encuentra el pan, que por sus características es de gran riesgo para personas con disfagia, debido a su dureza y baja

humedad. Recientemente se ha publicado un estudio (Amoah et al., 2021) en el que se analizan las propiedades de deglución de panes enriquecidos en población senior, pero no existen estudios específicos sobre panes adaptados a situación de disfagia.

2. Objetivos y diseño del estudio

2.1. Objetivos

El objetivo principal es optimizar el proceso de texturización de dos matrices alimentarias (brócoli y pan) orientadas a la alimentación de personas con problemas de masticación y deglución. De este objetivo parcial se derivan una serie de objetivos parciales que son los siguientes:

- Evaluar el efecto del cocinado y procesado en las características de los alimentos texturizados y su adecuación en dietas para disfagia.
- Investigar el uso de hidrocoloides en diferentes matrices orientadas al desarrollo de alimentos para situación de disfagia
- Caracterizar mediante métodos objetivos el procesado oral de los alimentos texturizados desarrollados.
- Proporcionar herramientas de análisis de los alimentos texturizados que permitan caracterizar en mayor medida el procesado oral de los mismos, complementando las escalas IDDSI.

2.2. Desarrollo experimental

Para el trabajo se seleccionaron 2 matrices alimentarias de origen vegetal con composición y procesado oral muy diferente y por tanto con diferente estrategia de adecuación para usuarios con disfagia. Las dos matrices fueron brócoli y pan de masa madre.

Para la consecución de los objetivos fue necesario realizar un desarrollo experimental consistente en 3 ensayos (2 sobre brócoli y uno sobre el pan).

Ensayo 1. Texturización del Brócoli: Evaluación y selección de métodos de cocción y procesado

En primer lugar, se evaluaron distintos tipos de cocción y procesado, tal y como se indica en la figura 3.

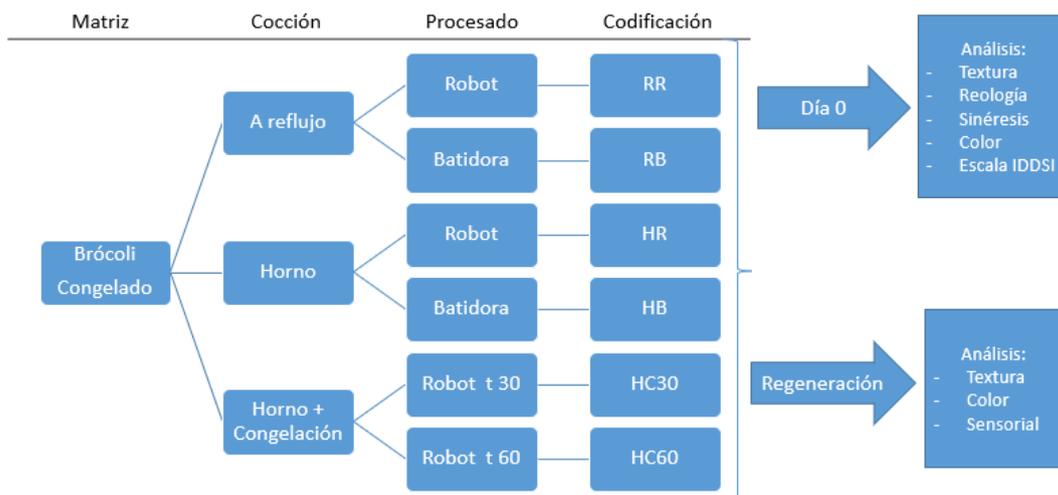


Figura 3. Texturización del Brócoli: Evaluación y selección de métodos de cocción y procesado.

Sobre las muestras obtenidas se realizaron análisis de perfil de textura (TPA), reológicos, del grado de sinéresis, de color, y de escalas de la IDDSI.

Además, se simuló un proceso de regeneración del producto y se evaluó de nuevo el perfil de textura (TPA), las medidas del color y se realizó el análisis sensorial.

Ensayo 2. Texturización del Brócoli: Evaluación de la incorporación de hidrocoloides

Una vez seleccionado el método de cocción y procesado más adecuado, se evaluó la incorporación de hidrocoloides con el objetivo de aumentar la homogeneidad y reducir la sinéresis, dos premisas imprescindibles para usuarios con disfagia.

Tal y como se observa en la figura 4 se utilizaron tres hidrocoloides y sobre las muestras obtenidas se realizaron análisis de perfil de textura (TPA), reológicos, del grado de sinéresis, de color, y de escalas de la IDDSI.

Al igual que en el ensayo 2, se simuló un proceso de regeneración del producto y se evaluó de nuevo el perfil de textura (TPA), las medidas del color y se realizó el análisis sensorial.

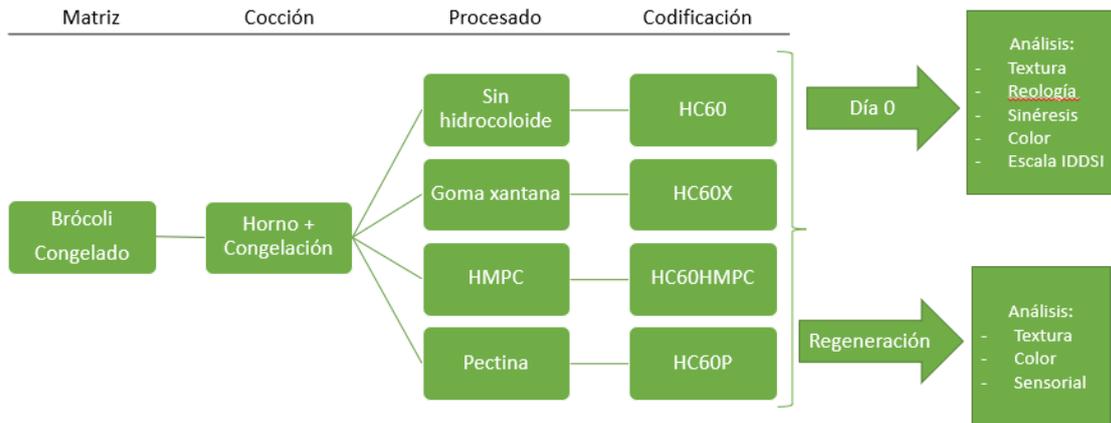


Figura 4. Texturización del Brócoli: Evaluación de la incorporación de hidrocoloides.

Ensayo 3: Texturización de Pan: Evaluación del procesado y de la incorporación de hidrocoloides

En este último ensayo se evaluaron distintos tipos de procesado, así como la incorporación de diferentes hidrocoloides, tal y como se indica en la Figura 5.

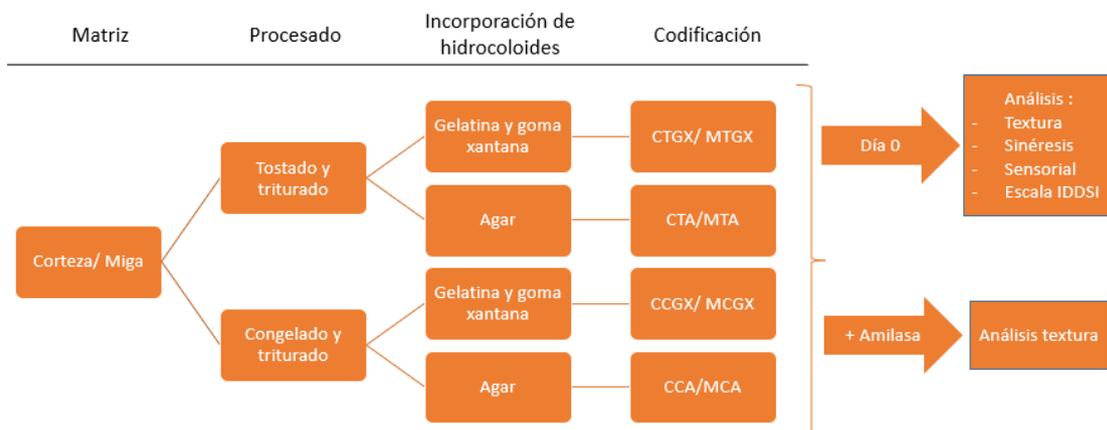


Figura 5. Texturización del Pan: Evaluación del procesado y de la incorporación de hidrocoloides

Sobre las muestras obtenidas se realizaron análisis de perfil de textura (TPA), del grado de sinéresis, sensorial y categorización en las escalas de la IDDSI.

Además se realizaron determinaciones complementarias de textura tras adicionar saliva artificial.

3. Material y métodos

3.1. Materiales

Los alimentos seleccionados fueron brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) congelado (Findus, España) y pan de masa madre adquirido en una panadería local Tolosana (Zaragoza, España). Los hidrocoloides usados fueron: goma xantana, hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), pectina y agar (Solegrallers Guzmán, Barcelona, España), además de gelatina (Royal, España). Los reactivos utilizados (en la elaboración de la saliva artificial fueron los siguientes: cloruro de potasio (KCl), potasio dihidrogenofosfato (KH₂PO₄), bicarbonato de sodio (NaHCO₃), cloruro de magnesio hexahidratado (MgCl₂(H₂O)₆), carbonato de amonio ((NH₄)₂CO₃) y amilasa pancreática (Sigma, España).

3.2. Preparación de muestras

Preparación de las muestras de brócoli

Cocinado y procesado de brócoli

El cocinado a reflujo se realizó adaptando lo descrito por Guillén et al. (2016) en agua hirviendo durante 18 minutos, con una proporción de 3 partes de agua por una de brócoli. El cocinado en horno se realizó en un horno profesional (Rational SCC 61, Italia), con una humedad del 100% a 100°C durante 30 minutos, tal y como indican las recomendaciones del fabricante para vegetales. La congelación posterior se realizó en un congelador convencional a -20°C.

El triturado se realizó con una batidora industrial durante 35 segundos a la máxima potencia del equipo y con un robot de cocina (Blixter 6 v.v, Robot Coupe, Vincennes, Francia) durante 60 segundos a velocidad 9 (1000 rpm). En el caso del brócoli cocinado en el horno y posteriormente congelado, se realizó un procesado con el robot de cocina durante 30 segundos a velocidad 9.

Los hidrocoloides se incorporaron en diferentes proporciones adaptando lo descrito por Sharma et al. (2017). Los espesantes y concentraciones ensayados fueron los siguientes: goma xantana (1,2%), hidroxipropilmetilcelulosa (0,5%) y pectina (0,8%).

Preparación de las muestras de pan

Para la preparación de las muestras se separó la miga de la corteza y ambas se procesaron de la misma manera. El tostado se realizó en un horno profesional (Rational SCC 61, Italia) a 200°C durante 10 minutos, tal y como indican las recomendaciones del fabricante para pan. La congelación se realizó en un congelador convencional a -20°C. En ambos casos, se procedió al triturado con un robot de cocina (Blixter 6 v.v, Robot Coupe, Vincennes, Francia) durante 120

segundos a máxima velocidad. Posteriormente, se homogeneizaron con diferentes gelificantes indicados en la tabla 1.

Tabla 1. Proporciones de agua, miga, corteza y diferentes gelificantes de las muestras de pan.

Muestras	Proporción (%)				
	Agua	Gelatina	G. xantana	Agar	Corteza/ miga
CTGX	78,00	1,50	0,50	-	20,00
CCGX	78,00	1,50	0,50	-	20,00
CTA	79,60	-	-	0,40	20,00
CCA	79,60	-	-	0,40	20,00
MTGX	78,00	1,50	0,50	-	20,00
MCGX	78,00	1,50	0,50	-	20,00
MTA	79,60	-	-	0,40	20,00
MCA	79,60	-	-	0,40	20,00

3.3. Análisis instrumental

Color

El color fue determinado con un colorímetro (Konika Minolta, CR-400, Osaka, Japón), mediante la escala CIELAB, que proporciona valores de luminosidad (L^*), de rojo a verde (a^*) y de azul a amarillo (b^*). Las medidas se realizaron por triplicado.

A partir de dichas coordenadas se calcularon las diferencias de color mediante la fórmula de diferencia de color CIELAB (CIE15, 2004):

$$\Delta E^*ab = \sqrt{(L^*m - L^*ref)^2 + (a^*m - a^*ref)^2 + (b^*m - b^*ref)^2}$$

Ec 1. Ecuación de diferencia de color

Donde ΔE^*ab es la diferencia de color, m es la muestra y ref la muestra de referencia. El criterio para decidir si la diferencia de color entre las muestras puede ser apreciable al ojo humano viene definido por la siguiente relación:

$\Delta E^*ab < 3$: las diferencias de color no son apreciables por el ojo humano.

$\Delta E^*ab > 3$: las diferencias de color son apreciables por el ojo humano.

Análisis de textura

El análisis de perfil de textura (TPA) se realizó mediante un registro de los eventos espacio y temporales que se observaron en las muestras mientras se realizaba una doble compresión del producto. Con esta doble compresión, se imita el esfuerzo de masticación. El registro del comportamiento de la muestra se muestra en forma de dos curvas de fuerza-deformación

(Figura 6), de las cuales se pueden cuantificar parámetros mecánicos (Torres et al., 2015). Esta prueba se llevó a cabo en un texturómetro (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Vienna).

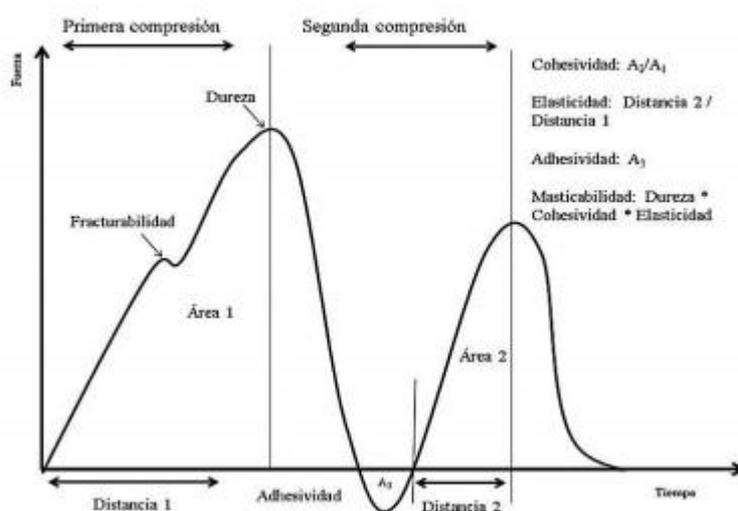


Figura 6. Gráfica general de análisis de perfil de textura (Torres et al, 2015)

En el caso de las muestras de puré de brócoli, se adaptaron los parámetros descritos por Sharma et al. (2017), utilizando una sonda cilíndrica de aluminio (P/36R) de 36 mm de diámetro, con una velocidad de ensayo de 3mm s⁻¹ y una deformación del 33%. Para este tipo de muestras, se realizaron dos ensayos: tras la realización del triturado, de forma que se caracterizara la textura del producto tras la trituración; y después del almacenamiento de las muestras durante 48h a 4±2°C, y tras una regeneración a 55±5°C, de forma que se caracterizara la textura del producto que se iba a consumir. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

En el caso de las muestras de pan, utilizó una sonda cilíndrica de aluminio (P/20) de 20 mm de diámetro, con una velocidad de ensayo de 2mm s⁻¹ y una deformación del 60%. Para este tipo de muestras, se realizó un test estándar y otro aplicando saliva artificial a 36±2°C, cuya composición se detalla en la tabla 2. En ambos casos, las muestras se encontraban a una temperatura de 20±5°C. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

Tabla 2. Composición de la saliva artificial (Minekus et al., 2014)

Componentes	KCl	KH ₂ PO ₄	NaHCO ₃	MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	(NH ₄) ₂ CO ₃	Amilasa
Concentración (mmol L ⁻¹)	15,1	3,7	13,6	0,15	0,06	
Concentración (U mL ⁻¹)						75

Los parámetros mecánicos obtenidos de las curvas del TPA se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Definición, cálculo y unidades de los diferentes parámetros mecánicos medidos en el TPA (Wee et al., 2018)

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	CÁLCULO	UNIDADES
Dureza	Resistencia a la fuerza de compresión	Fuerza máxima de la primera compresión	Gramos (g)
Adhesividad	Trabajo necesario para separar la sonda de la muestra	Área negativa después de la primera compresión	Gramos · segundos (g·s)
Elasticidad	Capacidad de la muestra de volver a su forma tras la primera compresión	Relación entre la altura durante la segunda compresión y la altura en la primera	Adimensional
Cohesividad	Comportamiento ante una segunda deformación en comparación con la primera	Relación entre el área positiva de la segunda compresión y de la primera	Adimensional
Gomosidad	Trabajo requerido para comprimir la muestra	Producto de la dureza y la cohesividad	Gramos (g)
Masticabilidad	Trabajo requerido para masticar la muestra	Producto de la gomosidad y la elasticidad	Gramos (g)
Resiliencia	Habilidad de la muestra para recuperar su altura original	Relación entre el área de descompresión y compresión del primer ciclo	Adimensional

Propiedades reológicas

Las medidas de reología se realizaron en un reómetro de stress controlado (MCR 301, Anton Paar Physica, Austria) equipado con un sistema Peltier de control de temperatura. El sistema utilizado fue el plato-plato rugoso de diámetro de 50 mm y un gap entre platos de 2mm. Los ensayos se realizaron por duplicado y a una temperatura de 55 °C. Se realizó un test de flujo y un barrido de deformación.

Propiedades de flujo

Para la obtención de las curvas de flujo y la medida de la viscosidad se aplicó un incremento de shear rate desde 1 hasta 150 s⁻¹ a 55°C, obteniendo los parámetros de shear stress y viscosidad. Las curvas de viscosidad se ajustaron al modelo de Ostwald-de Wale (power law). Se seleccionaron los valores de viscosidad a 10 s⁻¹, 50s⁻¹ y 100 s⁻¹ para comparar los valores de viscosidad de las diferentes muestras.

Propiedades viscoelásticas

Se realizó un test oscilatorio a una frecuencia de 1 Hz y un rango de deformación de 0,1 a 100 %. Se registraron los valores del módulo de elasticidad (G' , Pa), y del módulo de viscosidad (G'' , Pa) con respecto a la deformación aplicada. La región de viscoelasticidad lineal (LVR) se determinó también a partir de este test. Los valores del módulo elástico en el límite de elasticidad lineal (LVR), el valor de stress en el LVR y el punto de flujo también fueron calculados. El punto de flujo se calculó como el punto en el que $G' = G''$.

Grado de sinéresis

La sinéresis se determinó adaptando el método descrito por Charoenrein et al. (2008), mediante centrifugación de 40g de muestra en tubos Falcon de 50mL a 4000 rpm durante 45 minutos a 20°C. El agua desprendida de la muestra se separó y se pesó. El resultado fue calculado con la fórmula de la Ecuación 1, y se expresó como cantidad de líquido desprendido por cada 100g de muestra. Las medidas se realizaron por duplicado.

$$\% \text{ Sinéresis} = \frac{\text{g agua desprendida}}{\text{g muestra}} \times 100$$

Ec. 2. Ecuación de cálculo de la sinéresis

3.4 Análisis no instrumental

Evaluación mediante escalas IDDSI

La IDDSI establece distintas características o descripciones a las que se deben ajustar las muestras, relacionadas con su capacidad de fluir, su tamaño de partícula y el utensilio requerido para su consumición. Además, establece dos tipos de test visuales rápidos y sencillos como son el Test de la cuchara y el Test del tenedor (IDDSI, 2019). Estos test visuales también sirven para clasificar las diferentes muestras en los diferentes niveles descritos durante la introducción.

Con el fin de establecer una relación con estos niveles de textura, ambos test se realizaron sobre las muestras a la temperatura habitual de consumo: 55±5°C en el caso del puré de brócoli y 20±5°C en el caso del pan.

Análisis sensorial

En ambas matrices alimentarias, se realizaron pruebas descriptivas, llevadas a cabo por un panel semientrenado (n=3), utilizando fichas de cata con escalas lineales no estructuradas de 10 cm. Posteriormente se midió la distancia existente entre el principio de la escala y la marca del catador, aportándole un valor entre 0 y 10. También se registraron los comentarios verbales y escritos de los catadores.

En el caso del puré de brócoli, los catadores recibieron 10±2g de cada muestra sobre un plato plano blanco a 55±5°C con una cuchara de plástico. En el caso del pan, los catadores recibieron 20±2g de cada muestra sobre un plato plano blanco a 20±2°C con un tenedor de acero inoxidable.

En las tablas 4 y 5 se detallan los parámetros determinados para cada matriz alimentaria, adaptados de los descritos por Sharma et al. (2017).

Tabla 4. Parámetros, escalas y referencias determinadas para el puré de brócoli

Fase visual		
Color verde	1: verde oliva; 10: verde brillante	De verde oliva apagado a verde manzana brillante
Homogeneidad	1: poco homogéneo; 10: muy homogéneo	De pasta grumosa y con diferentes colores a pasta totalmente homogénea
Fase olfativa		
Olor a brócoli	1: poco intenso; 10: muy intenso	
Aromas extraños	1: ausencia; 10: presencia	
Procesado oral		
Textura		
Dureza	1: poco duro; 10: muy duro	De puré a brócoli cocido
Adhesividad	1: poco adhesivo; 10: muy adhesivo	De agua a miel
Suavidad	1: poco suave; 10: muy suave	De puré grumoso a puré fino
Capa aceitosa	1: poca capa; 10: mucha capa	De agua a aceite
Grumosidad	1: pocos grumos; 10: muchos grumos	De puré fino a puré grumoso
Sabor		
Sabor a brócoli	1: poco intenso; 10: muy intenso	
Sabores extraños	1: ausencia; 10: presencia	

Tabla 5. Parámetros, escalas y referencias determinadas para el pan

Fase visual		
Color tostado	1: poco tostado; 10: muy tostado	
Homogeneidad	1: poco homogéneo; 10: muy homogéneo	De bloque grumoso y con diferentes colores a bloque totalmente homogéneo
Fase olfativa		
Olor a pan	1: poco intenso; 10: muy intenso	
Aromas extraños	1: ausencia; 10: presencia	
Procesado oral		
Textura		
Dureza	1: poco duro; 10: muy duro	De pan remojado a pan tostado
Adhesividad	1: poco adhesivo; 10: muy adhesivo	De agua a miel
Suavidad	1: poco suave; 10: muy suave	De bloque grumoso a bloque fino
Grumosidad	1: pocos grumos; 10: muchos grumos	De bloque fino a bloque grumoso
Sabor		
Sabor a pan	1: poco intenso; 10: muy intenso	
Sabores extraños	1: ausencia; 10: presencia	

3.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos tras los distintos análisis efectuados fueron analizados mediante estadística descriptiva e inferencial empleando el programa informático Microsoft Excel y su software estadístico XLSTAT (Addisnof®, Versión 16). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con interacción (3 factores), usando la prueba de comparaciones múltiples de Fisher (LSD) con un intervalo de confianza del 95% para establecer diferencias entre medias.

4.Resultados

4.1. Texturización de brócoli

4.1.1 Efecto de la cocción y el procesado

En este apartado se presenta el efecto que tienen tanto los diferentes tipos de cocción como el proceso aplicado para la reducción del tamaño de partícula en las preparaciones de brócoli adaptadas a disfagia (ensayo 1)

Grado de texturización según escalas ISDDSI

Todas las muestras preparadas pueden clasificarse en el nivel 4 de la escala ISDDSI tanto en la prueba del tenedor como en la prueba de la cuchara. En el Anexo 1 se incluyen imágenes de ambas pruebas.

Análisis de Perfil de Textura

En la tabla 6 se muestran los parámetros obtenidos en el texturómetro aplicando un test TPA. Los valores más elevados de firmeza corresponden al brócoli cocinado en horno y triturado con batidora, siendo estas muestras también las más adhesivas. La muestra HC60 resultó ser la menos firme tras la regeneración. Valores elevados de firmeza se han correlacionado con mayor dificultad de deglución en alimentos gelificados (Matsuyama et al., 2021). La muestra HC60 también destaca por sus mayores valores de adhesividad y cohesividad. Este último parámetro se relaciona con un tamaño de partícula mejor, que facilita el procesado en boca Tobin (2014). Otros autores han relacionado los valores elevados de cohesividad con mayor uniformidad del bolo alimenticio y por tanto, mayor seguridad en la deglución (Matsuyama et al., 2021). También destacan los valores altos en gomosidad y masticabilidad de las muestras procesadas con batidora. En general los valores son ligeramente superiores a los obtenidos por Sharma et al. (2017) en zanahoria y por Tobin (2014) en guisante, siendo la dureza y la cohesividad ligeramente superiores y la adhesividad menor. No se aprecian diferencias significativas entre los valores de los diferentes parámetros obtenidos el día 0 y tras la regeneración.

Tabla 6. Resultados del TPA de las diferentes muestras de puré de brócoli el día 0 y tras la regeneración.

	Dureza	Adhesividad	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Dureza	Resiliencia
Día 0							
RB	167,96	-53,97	0,84	0,59	98,69	84,19	0,11
RR	114,44	-24,02	0,91	0,52	67,00	64,29	0,11
HB	207,29	-98,98	0,95	0,70	136,60	127,88	0,07
HR	179,81	-48,35	0,95	0,51	79,89	82,45	0,09
HC30	145,27	-26,65	0,69	0,34	62,37	45,09	0,05
HC60	129,54	-65,56	0,83	0,46	65,39	54,11	0,04
Regenerado							
RB	160,51	-37,53	0,87	0,54	99,12	89,36	0,11
RR	112,22	-36,06	1,01	0,49	61,57	68,94	0,10
HB	195,28	-55,57	0,94	0,55	121,42	99,80	0,09
HR	161,38	-16,72	1,00	0,50	77,74	67,29	0,11
HC30	128,50	-27,13	0,77	0,46	59,48	45,34	0,09
HC60	109,24b	-72,62	0,84	0,71	63,30	56,99	0,08

RB (Reflujo Batidora), RR (Reflujo Robot), HB (Horno Batidora), HR (Horno Robot), HC30 (Horno+congelación 30s) y HC60 (Horno+congelación 60s)

Reología

Curva de flujo

Las curvas de viscosidad de las muestras de brócoli preparadas de diferentes modos se muestran en la figura 7. Todas las muestras presentaron un comportamiento pseudoplástico, disminuyendo la viscosidad al aumentar la shear rate. Este comportamiento es típico de muestras que tienen partículas en suspensión. La muestra preparada con horno y robot (HR) presentó valores de viscosidad más elevados para el rango de shear rate de hasta 120 s⁻¹.



Figura 7. Curva de flujo de muestras de brócoli sometidas a diferentes procesados. RR (Reflujo Robot), HR (Horno Robot) y HC60 (Horno+congelación 60s)

Los valores de viscosidad obtenidos para una shear rate de 50 s⁻¹ fueron 1,73 Pa.s para RR, 3,86 Pa.s para HR y 2,07 Pa.s para HC60. En todos los casos son similares a los obtenidos en los trabajos de Sharma et al. (2017) para purés de zanahoria destinados a personas con disfagia y los de los de Talens et al. (2021) elaborados con purés de guisantes. En ambos casos,

corresponden al nivel de textura tipo pudding según las clasificaciones de la National Dysphagia Diet Task Force & American Dietetic Association (2002), recogidas por Cichero et al., (2013).

Por otra parte, los valores de viscosidad a 10 s⁻¹ han sido descritos como los que presentan una mayor correlación con la cohesividad oral, atributo fundamental en el desarrollo de alimentos para situación de disfagia (Ross et al., 2019), siendo las muestras HR y RR las que presentan los valores más elevados.

Por otra parte, los valores de viscosidad a esfuerzos de cizalla más elevados (100 s⁻¹), con el máximo de 100, se correlacionan positivamente con la percepción de adhesividad y con el residuo oral. Las muestras HR y HC60 presentan valores más elevados.

Con el fin de caracterizar el comportamiento de flujo, las curvas de viscosidad se ajustaron al modelo de Ostwald-de Wale. Los valores de consistencia, y de comportamiento de flujo se muestran en la tabla 7. Se han obtenido buenos coeficientes de correlación, que indica que el modelo es adecuado para describir el comportamiento de flujo de las muestras de brócoli.

Tabla 7. Valores de consistencia y de comportamiento de flujo de las muestras de brócoli sometidas a distintos procesados.

	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²
RR	1,361	354,81	0,93
HR	1,205	430,83	0,918
HC60	0,912	73,18	0,999

RR (Reflujo Robot), HR (Horno Robot) y HC60 (Horno+congelación 60s).

Barrido de deformación

Los cambios en los valores de los módulos elástico y viscoso a una frecuencia determinada (1 Hz) en función del incremento de shear strain se muestran en las figuras 8 y 9. El módulo G' es superior al valor G'' para todas las muestras.

El LVR se ha calculado como la deformación a la que el valor de G' disminuye al 90% del valor de la meseta. En todas las muestras, el valor de deformación que corresponde con LVR se sitúa en torno al 1%. La muestra con un carácter algo más rígido que el resto ya que presenta valor de G' más elevado en el LVR corresponde a la muestra HR.

Valores elevados de módulo de almacenamiento G' junto con los límites más bajos de deformación son indicativos de un cierto grado de fracturabilidad (Ishihara et al., 2011). Esto puede dar como resultado un bolus poco homogéneo durante su procesado en boca, dificultad en formar una masa cohesiva durante la fase faríngea.

El módulo elástico G' disminuyó al aumentar la deformación de cizalla tras el LVR para todas las muestras.

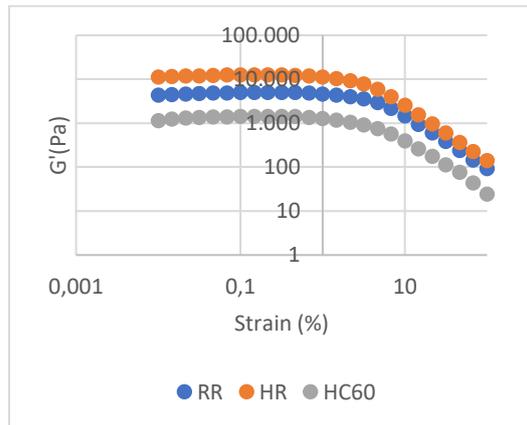


Figura 8. Cambio del módulo elástico en función del shear strain de muestras de brócoli sometidas a diferentes procesados. RR (Reflujo Robot), HR (Horno Robot) y HC60 (Horno+congelación 60s)

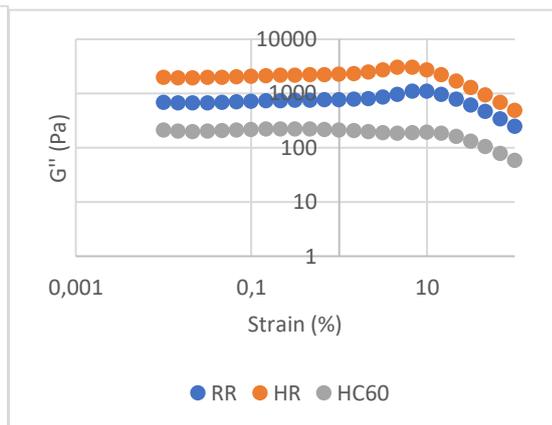


Figura 9. Cambio del módulo viscoso en función del shear strain de muestras de brócoli sometidas a diferentes procesados. RR (Reflujo Robot), HR (Horno Robot) y HC60 (Horno+congelación 60s)

El punto de cruce entre los módulos elástico y viscoso en el que $G' = G''$ se denomina punto de flujo (damping factor o $\tan \delta$) y proporciona información sobre la ruptura de la estructura interna del alimento. Entre las muestras de brócoli analizadas, la muestra BR es la que presentó un punto de flujo más bajo.

El comportamiento de las muestras en la región de viscoelasticidad no lineal es también importante en el desarrollo de alimentos para disfagia, ya que el proceso de masticación y deglución implica deformaciones elevadas, más allá del límite de elasticidad lineal. No obstante, los módulos G' y G'' se definen únicamente para la zona lineal. En las figuras 3 y 4 se muestran los cambios en dichos módulos a valores elevados de deformación. En ese rango, todas las muestras presentan un comportamiento pseudoplástico, si bien la muestra RB mostró un ligero incremento en el módulo viscoso en el inicio de la región de viscoelasticidad no lineal. Algunos autores han atribuido este efecto a una mayor cantidad de energía utilizada en el proceso de deformación. Una vez se supera, el módulo de viscosidad disminuye ya que la estructura se rompe completamente (Mezger, 2006).

Grado de sinéresis

El tipo de cocción y procesado tiene un gran efecto sobre la sinéresis del brócoli (figura 10). Tanto en las muestras trituradas con batidora como en las trituradas con robot se observa una disminución de la sinéresis en la cocción en horno con respecto a la cocción a reflujo, asociado al agua que absorbe el vegetal en este tipo de cocción. Además, las muestras sometidas a la misma cocción experimentan un menor grado de sinéresis cuando son trituradas con robot

frente a batidora. Por tanto, se puede concluir que la cocción con horno y el triturado con robot es la combinación de procesos que menor sinéresis generan en el producto.

Sin embargo, la congelación juega un papel fundamental en este parámetro. La muestra sometida a congelación y con un tiempo de trituración en robot de 30 segundos presenta una sinéresis similar a la de la muestra sin congelar y con un tiempo de trituración de 60 segundos. Además, la muestra congelada y triturada durante 60 segundos presenta la mayor de las sinéresis de entre todas las muestras (figura 10). Por tanto, se puede concluir que la congelación aumenta la sinéresis de las muestras, debido a la formación de cristales de hielo que afectan a la compartimentalización, rompiendo las estructuras internas y facilitando la salida de agua al exterior.

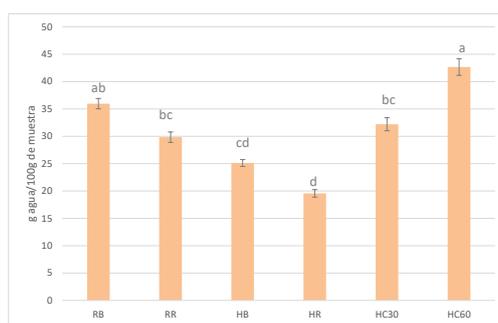


Figura 10. Grado de sinéresis de las muestras de puré de brócoli sometidas a diferentes procesados. RB (*Reflujo Batidora*), RR (*Reflujo Robot*), HB (*Horno Batidora*), HR (*Horno Robot*), HC30 (*Horno+congelación 30s*) y HC60 (*Horno+congelación 60s*).

Color

Los valores de las coordenadas de color se muestran en la tabla 8 El cocinado a reflujo aumenta la intensidad de color verde, tanto en las muestras trituradas con batidora como con robot. En cuanto a las muestras sometidas a congelación, no existe diferencias significativas entre ellas, pero si con muestras que no han sufrido el proceso de congelación, sobre todo en valores de luminosidad y en a^* . Por tanto, los parámetros que varían el color de las muestras son el tipo de cocción y el proceso de congelación. En cuanto a las muestras regeneradas, el mayor cambio se observa en las muestras con congelación, que aumentan su luminosidad, disminuyendo las diferencias observadas con respecto a las otras muestras en el día 0.

Los valores de ΔE^* (diferencia de color), expuestos en la tabla 9, que relacionan diferentes parámetros CIELAB y permiten concluir si las diferencias de las coordenadas CIELAB son apreciables por el ojo humano o no, indican que las principales diferencias están asociadas al modo de cocinado, y que las diferencias pueden ser observables por los consumidores.

Tabla 8. Coordenadas sistema CIEL *a*b de muestras sometidas a distintos procesados

Muestra	Día 0			Regenerado		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
RB	49,01	-16,55	32,21	51,97	-14,87	32,97
RR	48,93	-16,74	32,10	51,67	-14,49	33,33
HB	51,67	-10,09	32,29	48,63	-8,13	27,4
HR	51,82	-9,96	32,11	48,67	-8,14	27,21
HC30	40,96	-7,61	28,11	49,54	-8,24	30,05
HC60	42,90	-8,01	27,88	51,45	-8,35	30,15

RB (Reflujo Batidora), RR (Reflujo Robot), HB (Horno Batidora), HR (Horno Robot), HC30 (Horno+congelación 30s) y HC60 (Horno+congelación 60s).

Estos resultados se observan cuanto al color (tabla 9), no hay diferencia significativa entre muestras sometidas a diferentes tipos de trituración, sino que es el tipo de cocción el que afecta al color de las muestras.

Tabla 9. Valores de ΔE^* (diferencia apreciable por el ojo humano) entre las diferentes muestras.

ΔE	Día 0	Regenerado
RB/RR	0	0
HB/HR	0	0
RB/HB	7	9
RR/HR	7	9
HR/HC30	12	3
HR/HC60	5	5
HC30/HC60	2	2

RB (Reflujo Batidora), RR (Reflujo Robot), HB (Horno Batidora), HR (Horno Robot), HC30 (Horno+congelación 30s) y HC60 (Horno+congelación 60s)

Análisis sensorial

En cuanto al análisis sensorial (figura 11), se observa una mayor intensidad de color verde en las muestras con cocción a reflujo, al igual que en el análisis de color. Otro aspecto a destacar son los valores de homogeneidad y suavidad de la muestra congelada y triturada durante 60 segundos, que se corresponden con los valores de cohesividad del TPA. También es interesante observar la grumosidad de la muestra congelada, que se corresponde con ese valor bajo de cohesividad del TPA. Además, el sabor y olor a brócoli disminuye en las muestras cocinadas a reflujo, además de que en ninguna muestra se encontraron ni aromas ni sabores extraños. Se puede concluir, por tanto, que el modo de trituración y el congelado no afecta ni al aroma ni al sabor de las muestras. Además, el congelado combinado con una trituración larga aporta homogeneidad y suavidad a las muestras.

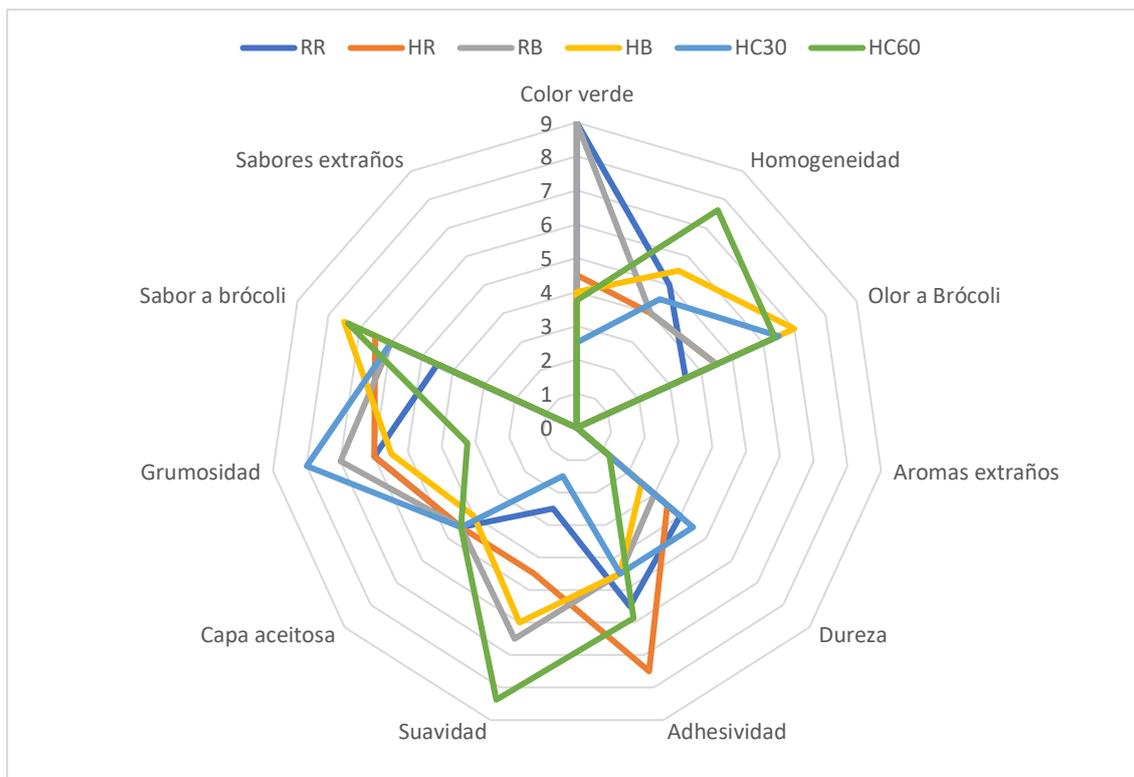


Figura 11. Comparación de los valores sensoriales de muestras sometidas a distintos procesados. RB (Reflujo Batidora), RR (Reflujo Robot), HB (Horno Batidora), HR (Horno Robot), HC30 (Horno+congelación 30s) y HC60 (Horno+congelación 60s).

4.1.2. Efecto de la adición de hidrocoloides a los purés de brócoli

Este apartado muestra el efecto que tiene la adición de diferentes hidrocoloides en la textura, reología, color y sinéresis y perfil sensorial del puré obtenido según el esquema del ensayo 2.

Grado de texturización según escalas ISDDSI

Las 6 muestras presentan un comportamiento tanto en la prueba del tenedor como en la prueba de la cuchara que las incluye en el nivel 4 de la escala ISDDSI.

Análisis de Perfil de Textura

En la tabla 10 se muestran los distintos valores de los parámetros medidos en el TPA. La adición de hidrocoloides aumenta la adhesividad, masticabilidad y gomosidad en el día 0 sobre la muestra control, mientras que tras la regeneración se observa una caída en los valores de dureza y una subida en la adhesividad. La adición de goma xantana y HPMC disminuye la dureza y aumenta de forma considerable la adhesividad. Estos fenómenos también fueron observados por Sharma et al. (2016) en zanahoria. En la muestra con pectina, sin embargo, se observa un aumento en la dureza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad muy superior al de las otras dos gomas. Al igual que en el día 0, los 3 hidrocoloides aumentan de forma muy similar la cohesividad

tras la regeneración, que se relaciona con una mayor facilidad de formar el bolo alimenticio (Tobin 2014). Este aumento de la cohesividad debida a la adición de hidrocoloides no se observa en otros estudios (Pematilleke *et al.*, 2020) realizados en otras matrices alimentarias.

Tabla 10. Resultados del TPA de diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot el día 0 y tras la regeneración

	Dureza	Adhesividad	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
Día 0							
HC60	129,54	-65,56	0,83	0,46	65,39	54,11	0,04
HC60X	108,21	-84,76	0,84	0,78	85,12	71,09	0,10
HC60HPMC	120,41	-116,23	0,85	0,80	97,15	83,13	0,04
HC60P	149,33	-80,72	0,84	0,71	106,66	90,87	0,06
Regenerado							
HC60	109,24	-72,62	0,84	0,71	63,30	56,99	0,08
HC60X	57,52	-111,56	0,87	0,90	51,74	45,25	0,13
HC 60 HPMC	70,30	-167,27	0,90	0,98	68,30	61,74	0,08
HC60P	130,26	-189,81	0,92	0,87	113,28	104,79	0,08

X (xantana), HPMC, P (pectina).

Reología

Curva de flujo

Las curvas de viscosidad de las muestras de brócoli preparadas con diferentes hidrocoloides se muestran en la figura 12. El comportamiento pseudoplástico observado anteriormente no se vio alterado con la adición de hidrocoloides. La muestra con pectina (HC60P) presentó valores de viscosidad más elevados para el rango de shear rate de hasta 120 s^{-1} .

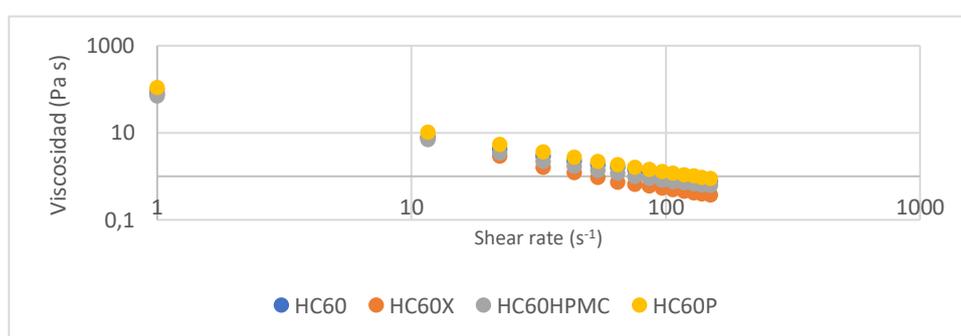


Figura 12. Curva de flujo de diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot. X (xantana), HPMC, P (pectina).

La adición de xantana y HPMC disminuye la viscosidad, cosa que también se observa en el trabajo de Sharma *et al.* (2017), donde estos dos hidrocoloides son en los que menor valor se observa. En todos los casos siguen correspondiendo al nivel de textura tipo pudding según las

clasificaciones de la National Dysphagia Diet Task Force & American Dietetic Association (2002), recogidas por Cichero et al., (2013).

En el caso de los valores de viscosidad a 10 s^{-1} y su correlación con la cohesividad oral, atributo fundamental en el desarrollo de alimentos para situación de disfagia (Ross et al., 2019), la adición de pectina ha incrementado este valor, mientras que la xantana y la HPMC lo han disminuido.

Por último, se ha observado una disminución muy elevada de los valores de viscosidad a esfuerzos de cizalla más elevados (100 s^{-1}), en la muestra con xantana.

Barrido de deformación

El módulo G' es superior al valor G'' para todas las muestras en las que se ha incorporado hidrocoloides (Figuras 13 y 14).

Los valores elevados de módulo de almacenamiento G' junto con los límites más bajos de deformación, indicativos de fracturabilidad se corresponden con las muestras en las que se incorpora pectina. Por tanto, y ante el riesgo de inducir aspiraciones, sería la muestra menos adecuada desde el punto de vista reológico.

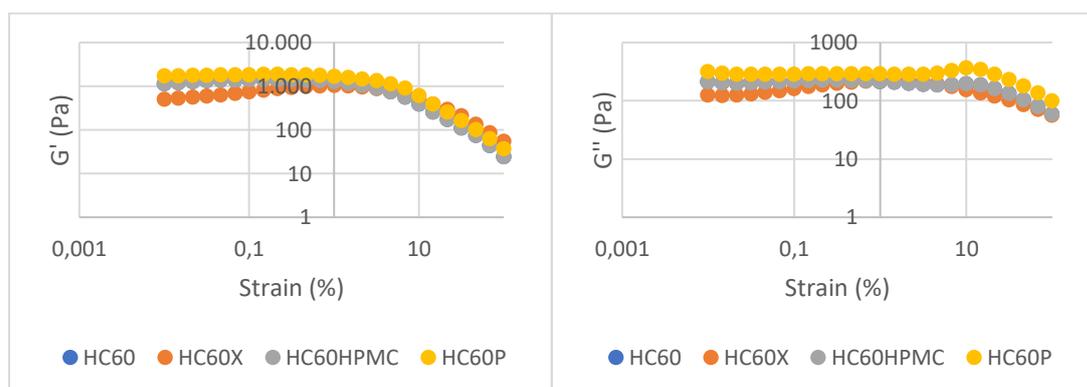


Figura 13. Cambio del módulo elástico en función del shear strain de diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot. X (xantana), HPMC, P (pectina).

Figura 14. Cambio del módulo viscoso en función del shear strain de diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot. X (xantana), HPMC, P (pectina).

Grado de sinéresis

En cuanto a la sinéresis (figura 15), la incorporación de los hidrocoloides tiene un claro efecto en la capacidad de retención de agua de las muestras, siendo la xantana y la HPMC las más efectivas. En general, el uso de hidrocoloides reduce la sinéresis (Pematilleke et al., 2020), pero en algunas matrices, determinados hidrocoloides como la goma xantana la aumentan (Nguyen et al., 2017). En el puré de brócoli orientado a disfagia, todos los hidrocoloides contribuyen a

prevenir la sinéresis y por tanto, a evitar la presencia de dos fases en boca que pueden acarrear problemas de seguridad.

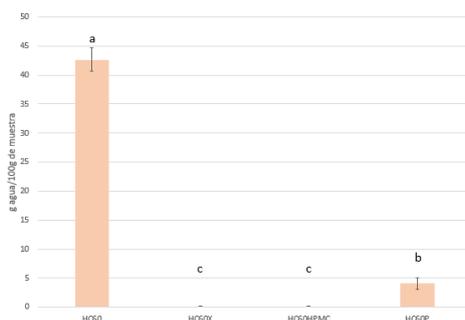


Figura 15. Comparación entre los valores de agua desprendida de diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot. X (xantana), HPMC, P (pectina).

Color

En cuanto al color, la incorporación de hidrocoloides genera una diferencia significativa en la luminosidad (L^*) y en la intensidad del color amarillo (b^*), ya que aumentan con los 3 hidrocoloides hasta valores muy similares, resultando en muestras más claras y amarillentas. Sin embargo, estas diferencias disminuyen al regenerar las muestras en el caso de la muestra con xantana y la muestra con HPMC (tabla 11). Tanto es así que no se observan diferencias significativas entre la muestra control y la muestra xantana y las diferencias con la muestra con HPMC disminuyen de forma considerable (tabla 12). Por otro lado, las diferencias observadas entre la muestra con pectina y la muestra control el día 0 no varían con la regeneración, que llegan incluso a acentuarse debido a la disminución en la luminosidad de la muestra con pectina.

Tabla 11. Coordenadas sistema CIEL*a*b de muestras diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot el día 0 y tras la regeneración

Muestras	Día 0			Regenerado		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
HC60	42,90	-8,01	27,88	51,45	-8,35	30,15
HC60X	51,05	-9,00	33,75	49,32	-8,56	31,22
HC60HPMC	50,56	-8,89	34,72	48,90	-8,53	33,61
HC60P	46,11	-8,38	33,78	43,57	-8,17	29,45

X (xantana), HPMC, P (pectina).

Tabla 12. Valores de ΔE^* (diferencia apreciable por el ojo humano) entre las diferentes muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot.

Muestras	Día 0		Regenerado	
	Valor de comparación	Diferencia significativa	Valor de comparación	Diferencia significativa
HC60/HC60X	10	Sí	2	No
HC60X/HC60HPMC	1	No	2	No
HC60/HC60HPMC	10	Sí	4	Sí
HC60/HC60P	7	Sí	8	Sí
HC60X/HC60P	5	Sí	6	Sí
HC60HPMC/HC60P	5	Sí	6	Sí

X (xantana), HPMC, P (pectina).

Análisis sensorial

En cuanto al análisis sensorial (figura 16), la incorporación de hidrocoloides tiene un claro efecto en el sabor y olor a brócoli de las muestras, los cuales disminuyen de forma considerable. Este hecho ha sido descrito previamente fundamentalmente cuando se usan espesantes basados en almidón, y en menor grado cuando se utilizan gomas (Giura et al., 2021). Sin embargo, no se detectan prácticamente ningún sabor u olor extraño. También se observa una disminución en la grumosidad y un ligero aumento de dureza, posiblemente asociado a la mayor cohesividad que se observaba en el TPA. Los 3 hidrocoloides actúan de una forma muy similar desde el punto de vista sensorial, al igual que se observa en el estudio de Sharma et al. (2016).

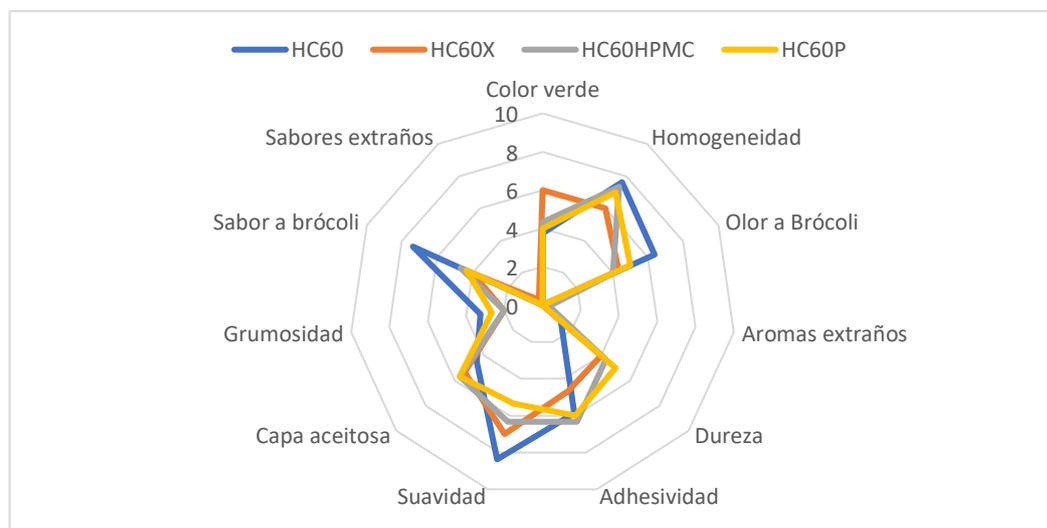


Figura 16. Comparación de los valores sensoriales de muestras de puré de brócoli con diferentes hidrocoloides procesadas con horno+congelación y trituradas con robot. X (xantana), HPMC, P (pectina).

4.2. Texturización de pan

En el caso del pan y se siguió esquema del ensayo 3, y se separó la corteza de la miga con el fin de elaborar 2 tipos de texturizados diferentes y por la dificultad de desarrollar una muestra homogénea al trabajar con las piezas de pan completas.

Grado de texturización según escalas ISDDSI

Todas las muestras presentan un comportamiento tanto en la prueba del tenedor como en la prueba de la cuchara que las incluye en el nivel 4 de la escala ISDDSI.

4.2.1. Análisis de Perfil de Textura

Texturización de la corteza

En las figuras 17 y 18 se presentan los valores de textura obtenidos para la texturización de la corteza. En ambos gráficos se representa el procesado del pan (bien congelado o bien tostado) y con la adición de hidrocoloides (combinación gelatina y xantana o agar-agar).

Los resultados del análisis de textura indican que son los hidrocoloides los que modifican la textura significativamente no observándose efecto del procesado.

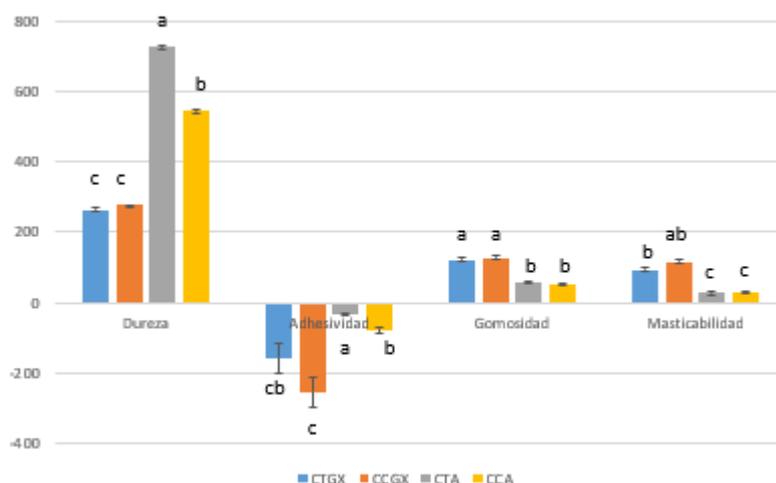


Figura 17. Comparación entre los valores de dureza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad del TPA de las muestras de corteza con diferentes procesados e hidrocoloides. TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

Si analizamos los parámetros de dureza, adhesividad y cohesividad, tal y como recomienda la Alimentos para usos disfágicos de Japón (Yoshiota y colaboradores 2016), observamos que la corteza de pan texturizada con la combinación de hidrocoloides (gelatina y xantana) es la que presenta un perfil más adecuado para el procesado oral de personas con disfagia: menor dureza y adhesividad, pero cohesividad mayor.

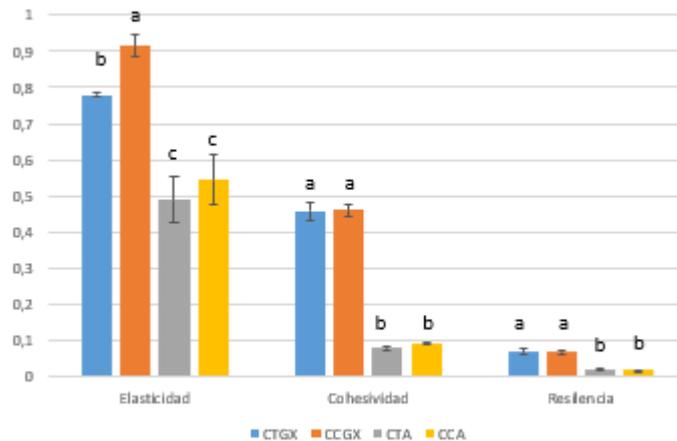


Figura 18. Comparación entre los valores de elasticidad, cohesividad y resiliencia del TPA de las muestras de corteza con diferentes procesados e hidrocoloides. TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

Con el fin de evaluar la tribología de la deglución, se añadió amilasa salival y se procedió a realizar el test de textura de nuevo. Los resultados fueron similares, a diferencia de gomosidad, que disminuyó alrededor de un 20%. Este parámetro que se relaciona directamente con la energía necesaria para desintegrar un alimento para ser tragado (Sirada Shunsinchai et al., 2019). Podemos concluir, por tanto, que los hidrocoloides adicionados no afectan en la fase de tragado del alimento.

En la bibliografía, son muy escasos los trabajos en pan texturizado al tratarse de un alimento difícil de adaptar a las dietas con disfagia. Un trabajo reciente de Stading (2021) realiza una adaptación de pan para disfagia pero las determinaciones de textura no se hacen con TPA y por tanto, no son comparables.

Texturización de la miga

En las figuras 19 y 20 se presentan los valores de textura obtenidos para la texturización de la miga. En ambos gráficos se representa el procesado del pan (bien congelado o bien tostado) y con la adición de hidrocoloides (combinación gelatina y xantana o agar-agar).

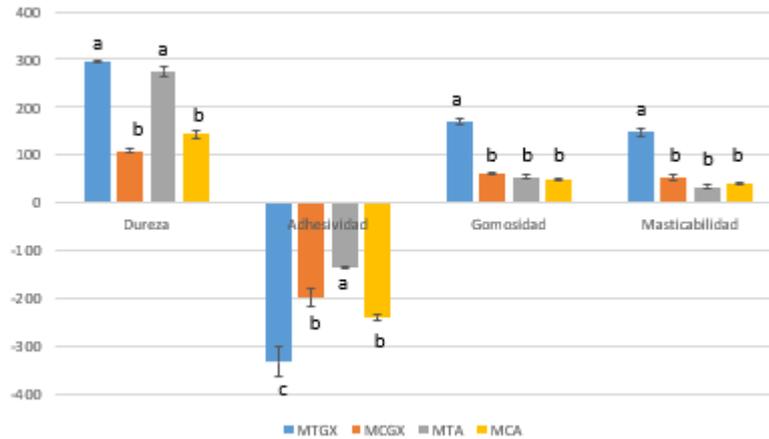


Figura 19. Comparación entre los valores de dureza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad del TPA de las muestras de miga con diferentes procesados e hidrocoloideos. TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

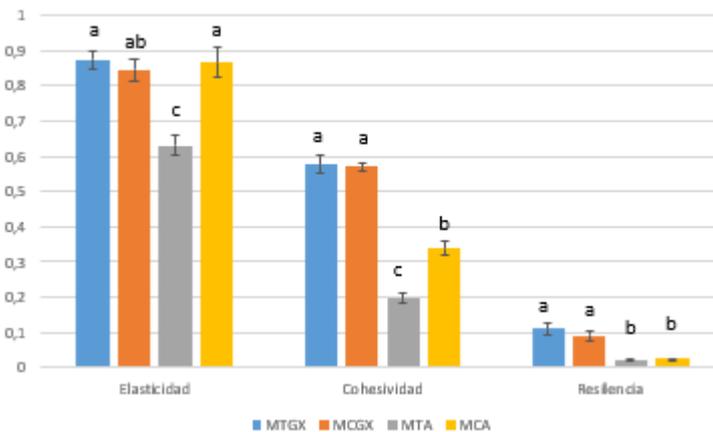


Figura 20. Comparación entre los valores de elasticidad, cohesividad y resiliencia del TPA de las muestras de miga con diferentes procesados e hidrocoloideos. TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

En este caso, cuando la matriz es la miga, sí que se observa un efecto tanto del procesado (tostado o congelado) así como del hidrocoloide utilizado. En el caso de la dureza, es el tipo de procesado de la miga lo que más influye en ella, siendo las muestras con miga tostada las que más dureza presentan (figura 19) independientemente del hidrocoloide utilizado. En cuanto a la adhesividad, es la muestra elaborada con miga tostada, gelatina y xantana es la que más adhesividad presenta, y la que menor adhesividad presenta es la miga tostada con agar.

En la cohesividad (figura 20) sí que se observa el efecto principal del hidrocoloide en lugar del procesado ya que son las muestras de miga con gelatina y xantana las que presentan una mayor cohesividad.

Siguiendo los criterios de Yoshiota y colaboradores (2016) anteriormente mencionados, la muestra que presentaría valores más adecuados para el procesado oral de alimentos con disfagia sería la de miga congelada con gelatina y xantana (valores más bajos de dureza y adhesividad y mayor cohesividad).

Con el fin de evaluar la tribología de la deglución, se añadió amilasa salival y se procedió a realizar el test de textura de nuevo. Al igual que en la corteza, se observó que en todas las muestras el efecto de la adición de amilasa favorece la disminución de la gomosidad y por tanto podemos corroborar la conclusión que los hidrocoloides adicionados no afectan en la fase de tragado del alimento.

4.2.2. Grado de sinéresis

Texturización de la corteza

Los resultados de la sinéresis de los texturizados de corteza aparecen en la tabla 13. Se ha realizado un análisis estadístico por pares para poder evaluar diferencias significativas tanto en cuanto al procesado como según los hidrocoloides adicionados.

En todos los casos se observan diferencias significativas entre el pan tostado y congelado, así como entre el tipo de hidrocoloides adicionado. En el caso del procesado es el tostado el que presenta valores menores de sinéresis. Y en cuanto a los hidrocoloides son las muestras texturizadas con agar las que presentan menor sinéresis.

Tabla 13. Análisis estadístico de los valores de sinéresis de corteza texturizada:

Muestras	% Sinéresis						
CTGX	2,95 ^b	CTA	0,40 ^b	CTGX	2,95 ^a	CCGX	6,30 ^a
CCGX	6,30 ^a	CCA	1,42 ^a	CTA	0,40 ^b	CCA	1,42 ^b

Análisis de varianza (ANOVA) con prueba de comparaciones múltiples de Fisher (LSD) e intervalo de confianza del 95% . TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

Texturización de la Miga

Los resultados de la sinéresis de los texturizados de miga aparecen en la tabla 14. Se ha realizado un análisis estadístico por pares para poder evaluar diferencias significativas tanto en cuanto al procesado como según los hidrocoloides adicionados.

Tabla 14. Análisis estadístico de los valores de sinéresis de miga texturizada:

Muestras	% Sinéresis						
MTGX	11,9 ^b	MTA	7,0 ^a	MTGX	7,9 ^a	MCGX	14,1 ^a
MCGX	14,1 ^a	MCA	7,9 ^a	MTA	7,0 ^a	MCA	11,9 ^b

Análisis de varianza (ANOVA) con prueba de comparaciones múltiples de Fisher (LSD) e intervalo de confianza del 95% . TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

Los resultados del análisis nos indican la cantidad de agua desprendida es mayor en las muestras de miga texturizada congeladas frente a las muestras tostadas. En el caso de los hidrocoloides, no se perciben diferencias cuando la miga está tostada, pero sí en la miga congelada, lográndose una mayor reducción de la sinéresis con el uso del agar.

4.2.3 Análisis sensorial

Texturización de la corteza

Los resultados del análisis sensorial de las muestras texturizadas de corteza de pan aparecen en el gráfico de tela de araña 21.

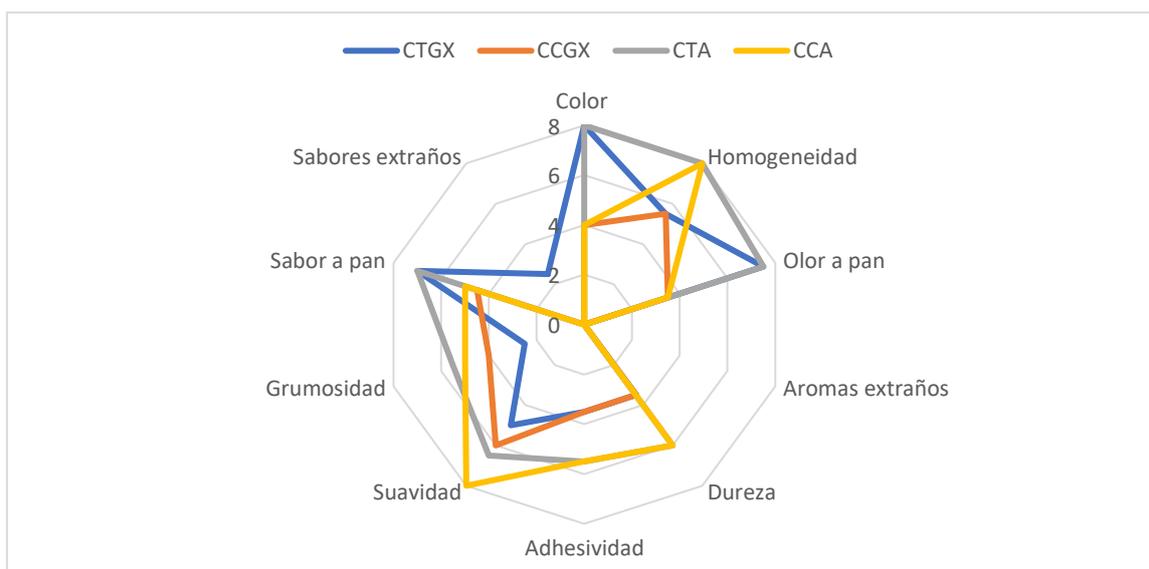


Figura 21. Comparación de los valores sensoriales de muestras con diferentes procesados e hidrocoloides. TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

Los resultados del análisis sensorial son concordantes con el ensayo de textura, ya que las muestras gelificadas con agar presentan mayor dureza y adhesividad. Los catadores también detectan diferencias significativas en la suavidad de las muestras presentando valores más altos los texturizados de corteza de pan gelificados con agar frente al uso de la combinación de gelatina y xantana.

Si analizamos los resultados de los parámetros más relacionados con el flavor, son las muestras de corteza tostada las que presentan una mayor intensidad de aroma y sabor a pan. También son estas muestras las que presentan una coloración más oscura. Estos resultados son lógicos y corresponden a la reacción de Maillard que se produce en el tostado del pan y a la generación de aromas y del color tostado correspondiente.

Finalmente, y aunque no se detectan aromas extraños en ninguna muestra, sí que se detectan sabores extraños en la muestra de corteza texturizada tostada y con la combinación de gelatina y xantana.

Texturización de la miga

Los resultados del análisis sensorial de las muestras texturizadas de miga de pan aparecen en el gráfico de tela de araña 22.

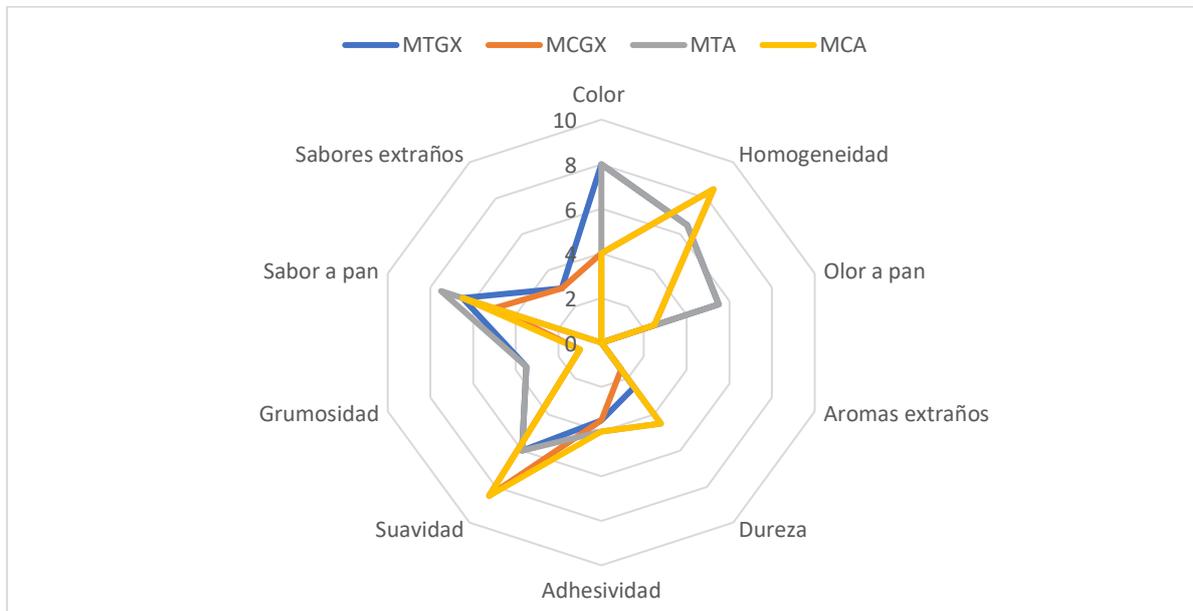


Figura 22. Comparación de los valores sensoriales de muestras con diferentes procesados e hidrocoloideos. TGX (tostado+gelatina+xantana), CGX (congelado+gelatina+xantana), TA (tostado+agar) y CA (congelado+agar).

Los resultados del análisis sensorial son muy similares a los obtenidos para la corteza. Al igual que en las mencionadas muestras, los texturizados tostados presentan un mayor color, sabor y aroma a pan que las congeladas. También se observa la correlación entre el análisis sensorial y el ensayo de textura corroborándose que es la elección de hidrocoloide es la que más influye en los parámetros de textura, siendo las muestras con agar las que presentan valores más altos de suavidad y mayor dureza. Finalmente, no se detectan de nuevo aromas extraños en ninguna de las muestras, pero sí una percepción ligera de sabores extraños en las 2 muestras gelificadas con la combinación de gelatina y xantana.

5. Conclusiones

- El método de cocción y el procesado posterior determinan las características de textura del brócoli texturizado. De entre las técnicas ensayadas, es la cocción en horno con congelación posterior y triturado con robot la que permite obtener un producto más homogéneo. En estas condiciones, los valores de textura, tanto instrumentales (test TPA) como sensoriales son adecuados para la inclusión en la dieta de personas con disfagia.
- La incorporación de hidrocoloides durante la preparación de la muestra permite reducir la sinéresis de las muestras de brócoli texturizado, especialmente en las muestras elaboradas con xantana y HPMC. Además, la incorporación de todos los hidrocoloides provoca un incremento en la luminosidad (L^*) y una mayor intensidad de tonos amarillentos (b^*).
- La adición de hidrocoloides en el brócoli texturizado contribuye a la obtención de un perfil de textura adecuado para personas con problemas de masticación y deglución, si bien reduce ligeramente la intensidad del sabor característico del producto.
- Las muestras de pan que presentan un perfil de textura más adecuado para el procesado oral de personas con disfagia son las elaboradas con una combinación de hidrocoloides (gelatina y xantana), que se asocian a valores más bajos de dureza y adhesividad y a una mayor cohesividad.
- El procesado del pan (tostado o congelado) influye en el color, aroma y sabor de las muestras, no detectándose efecto en la textura de la corteza, pero sí en la miga.
- Las muestras que presentan un perfil sensorial de textura, aroma y sabor más adecuado son los texturizados de corteza tostada con la combinación de gelatina y xantana. Sin embargo, en estas muestras se percibe un ligero sabor extraño, por lo que es necesario continuar los ensayos de optimización del producto.
- Los resultados obtenidos señalan la importancia de incorporar el análisis instrumental para mejorar la alimentación de personas con disfagia ya que nos permiten diferenciar las texturas más idóneas dentro de una misma clasificación IDDSI.
- Es necesario investigar para optimizar, no sólo desde el punto de vista de la seguridad en la deglución, sino también nutricional y sensorialmente, los diferentes productos texturizados orientados a personas que sufren disfagia.

6. Valoración personal

Tras la realización de este trabajo he integrado muchos de los conocimientos adquiridos durante mi formación en materia de análisis físico y sensorial. Asignaturas como análisis físico y sensorial, química analítica o bioquímica de los alimentos han sido parte fundamental de la base para realizar los distintos análisis del trabajo.

La búsqueda bibliográfica previa a la realización del trabajo amplió mi conocimiento en base de datos de literatura científica y me permitió conocer algunas de las revistas con mayor prestigio en el ámbito de la disfagia y los hidrocoloides. Además, el trabajo continuo en laboratorio resultó una experiencia muy gratificante en la adquirí varias competencias en relación con el análisis reológico.

La realización de análisis estadísticos me ha permitido conocer y usar la herramienta XLSTAT (Addisnof®, Versión 16). Además, en el ámbito personal, el trabajo me ha aportado autonomía, me ha ayudado a organizar y llevar a cabo protocolos de laboratorio, a planificar mis jornadas de trabajo y a resolver problemas de manera rápida y solvente.

Además, he sido consciente del esfuerzo que requiere el ámbito de la investigación y la importancia que tiene de cara a ayudar a personas en una situación difícil y mejorar su nivel de vida.

7. Bibliografía

Amoah, I., Cairncross, C. y Rush, E., (2021). "Swallowing and Liking of Vegetable-Enriched Bread Compared With Commercial Breads as Evaluated by Older Adults". *Frontiers in Nutrition*, 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.599737>

Aslam, M. y Vaezi, M. F. (2013). "Dysphagia in the elderly". *Gastroenterology & Hepatology*, 9, pp 784–795. DOI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3999993/>

Charoenrein, S., Tahirat, O. y Muadklay, J. (2008) "Use of centrifugation–filtration for determination of syneresis in freeze–thaw starch gels" *Carbohydrate Polymers* 73 pp 143-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.012>

Cichero, J., Steele, C., Duivesteyn, J., Clavé, P., Chen, J., Kayashita, J., Dantas, R., Lecko, C., Speyer, R., Lam, P. y Murray, J. (2013). "The Need for International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Liquids Used in Dysphagia Management: Foundations of a Global Initiative". *Curr Phys Med Rehabil Rep* 1, pp 280–291. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40141-013-0024-z>

Cichero, J., Lam, P., Steele, C., Hanson, B., Chen, J., Dantas, R., Duivesteyn, J., Kayashita, J., Lecko, C., Murray, J., Pillay, M., Riquelme, L. y Stanschus, S. (2017) "Development of International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Fluids Used in Dysphagia Management: The IDDSI Framework". *Dysphagia*. 32 pp 293-314. DOI: 10.1007/s00455-016-9758-y

Cichero, J. y Murdoch, B. (2006). *Dysphagia: Foundation, Theory and Practice*. Other Wiley Editorial. Estados Unidos

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., y Attia, H. (2011). "Di-etary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review". *Food Chemistry*, 124, pp 411-421.

Funami, T. (2016). "The formulation Design of Elderly Special Diets". *Journal of Texture Studies*, 47(4), pp 313–322.

Gallegos, C., Turcanu, M., Assegehegn, G. and Brito-de la Fuente, E., (2021). "Rheological Issues on Oropharyngeal Dysphagia". *Dysphagia*,

Giura, L., Urtasun, L., Belarra, A., Ansorena, D. y Astiasarán, I., (2021). "Exploring Tools for Designing Dysphagia-Friendly Foods: A Review". *Foods*, 10(6), pp 1-16.

Guillén, S., Mir-Bel, J., Oria, R. y Salvador, M.L. (2016) "Influence of cooking conditions on organoleptic and health-related properties of artichokes, green beans, broccoli and carrots" *Food Chemistry*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.06>

Herranz, B., Criado, C., Pozo-Bayón, M. y Álvarez, M., (2021). "Effect of addition of human saliva on steady and viscoelastic rheological properties of some commercial dysphagia-oriented products". *Food Hydrocolloids*, 111, pp 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106403>

Huang, M., Zhang, M. y Guo, C. (2019). "3D printability of brown rice gel modified by some food hydrocolloids". *Food Processing and Preservation*. pp 1-9. DOI: 10.1111/jfpp.14502

Icht, M., Bergerzon-Bitton, O., Kachal, J., Goldsmith, R., Herzberg, O., y Endevelt, R. (2018). "Texture-modified foods and thickened fluids used in dysphagia: Israeli standardized terminology and definitions". *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31, pp 742–746. DOI: <https://www.doi.org/10.1111/jhn.12581>

Inamoto, Y., Pongpipatpaiboon, K., Shibata, S., Aoyagai, Y., Kagaya, H., y Matsuo, K. (2018). Swallowing exercises. In E. Saitoh, K. Pongpipatpaiboon, Y. Inamoto, & H. Kagaya (Eds.), "Dysphagia evaluation and treatment" (pp. 109–155). Singapore: Springer. DOI: https://www.doi.org/10.1007/978-981-10-5032-9_7

International Dysphagia Diet Standardisation Initiative (2019). Complete IDDSI Framework Detailed definitions. Disponible en: [IDDSI - IDDSI Framework](#)

International Dysphagia Diet Standardisation Initiative (2019). IDDSI Framework Testing Methods. Disponible en: [IDDSI - IDDSI Framework](#)

Lee, H. Y., Yoon, S.-R., Yoo, W., y Yoo, B. (2016). "Effect of salivary reaction time on Flow properties of commercial food thickeners used for dysphagic patients". *Clinical Nutrition Research*, 5, pp 55–59.

Lesmes, U., y McClements, D. J. (2009). "Structure-function relationships to guide rational design and fabrication of particulate food delivery systems". *Trends in Food Science & Technology*, 20, pp 448-457.

Marangoni, A. G., y Wesdorp, L. H. (2012). *Structure and properties of fat cristal networks* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Minekus, M., Almingier, 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., Marze, S., McClements, D., Ménard, O., Recio, I., Santos, C., Singh, R., Vegarud, G., Wickham, M., Weitschies, W. y Brodkorb, A. (2014). "A standardised staticin vitrodigestion method suitable for food – an international consensus" *Food Funct.*, 5(6), pp.1113-1124. DOI: [10.1039/c3fo60702j](https://doi.org/10.1039/c3fo60702j)

Momosaki, R., Abo, M., y Kobayashi, K. (2013). "Swallowing analysis for semisolid food texture in poststroke dysphagia patients". *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 22, pp 267–270. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2011.08.009>

Moret-Tatay, A., Rodríguez-García, J., Martí-Bonmatí, E., Hernando, I., y Hernandez, M. J. (2015). "Commercial thickeners used by patients with dysphagia: Rheological and structural behaviour in different food matrices". *Food Hydrocolloids*, 51, 318–326.

National Dysphagia Diet Task Force (2002). *National Dysphagia Diet: Standardization for Optimal Care*. Estados Unidos.

Nakagawa, K., Matsuo, K., Shibata, S., Inamoto, Y., Ito, Y., Abe, K., Saitoh, E. (2014). "Efficacy of a novel training food based on the process model of feeding for mastication and swallowing—A preliminary study in elderly individuals living at a residential facility". *Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science*, 5, pp 72–78. DOI: <https://www.doi.org/10.11336/jjcrs.5.72>

Nishinari, K., & Fang, Y. (2018). "Perception and measurement of food texture: Solid foods." *Journal of Texture Studies*. 49(2)., pp 160-201.

Nishinari, K., Fang, Y., & Rosenthal, A. (2019). "Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements". *Journal of Texture Studies*, 50(5), pp 369–380.

Park, H. S., Kim, D. K., Lee, S. Y., y Park, K. H. (2017). "The effect of aging on mastication and swallowing parameters according to the hardness change of solid food". *Journal of Texture Studies*, 48, pp 362–369. DOI: <https://www.doi.org/10.1111/jtxs.12249>

Park, D. J., y Han, J. A. (2016). "Quality controlling of brown rice by ultrasound treatment and its effect on isolated starch". *Carbohydrate Polymers*, 137, pp 30–38. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.045>

Quinchia, L. A., Valencia, C., Partal, P., Franco, J. M., Brito-de la Fuente, E., y Gallegos, C. (2011). "Linear and non-linear viscoelasticity of puddings for nutritional management of dysphagia". *Food Hydrocolloids*, 25, pp 586–593.

Ray, S., Raychaudhuri, U., y Chakraborty, R. (2016). "An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology". *Food Bioscience*, 13, pp 76-83.

Rofes, L., Arreola, V., Almirall, J., Cabre, M., Campins, L., García-Peris, P., Speyer, R., Clave, P. (2011). "Diagnosis and management of oropharyngeal dysphagia and its nutritional and respiratory complications in the elderly". *Gastroenterology Research and Practice*, pp 1–13. DOI: <https://www.doi.org/10.1155/2011/818979>

Rossa, A., Borgognonec, P. y Eriksend, B. (2019). "Relationships between shear rheology and sensory attributes of hydrocolloid-thickened fluids designed to compensate for impairments in oral manipulation and swallowing". *Journal of Food Engineering*. 263 pp 123-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.040>

Sanchez, F. (2016). *Epidemiología de la disfagia en la población española*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Sharma, M., Kristo, E., Corregid, M. y Duizer, L. (2017) "Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures" *Food Hydrocolloids* 63 pp 478-487. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>

Steele, C. M., Molfenter, S. M., Peladeau-Pigeon, M., Polacco, R. C., y Yee, C. (2014). "Variations in tongue-palate swallowing pressures when swallowing xanthan gum-thickened liquids". *Dysphagia*, 29, pp 678–684. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s00455-014-9561-6>

Stokes, J. R., Boehm, M. W., y Baier, S. K. (2013). "Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond". *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18, pp 349–359. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.cocis.2013.04.010>

Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Wattanapan, P., Charoenchaitrakool, M. y Devahastin, S. (2019). "Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of Dysphagia Foods: A Review". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, pp 1898-1912. DOI: 10.1111/1541-4337.12495

Talens, P., Castells M.L., Verdú, S., Barat, J.M. y Grau, R. (2021) "Flow, viscoelastic and masticatory properties of tailor made thickened pea cream for people with swallowing problems". *Journal of Food Engineering* 292 pp1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110265>

Tobin, A. (2014). Insights into rational design of plant based foods to improve management of dysphagia. Tesis Doctoral. Universidad de Queensland

Tokifuji, A., Matsushima, Y., Hachisuka, K., y Yoshioka, K. (2013). "Texture, sensory and swallowing characteristics of high-pressure-heat-treated pork meat gel as a dysphagia diet". *Meat Science*, 93, pp 843–848. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.050>

Torres, J., Correa, D. y Gonzalez-Morelo, K. (2015) "Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos" *Revista ReCiTeIA* 14(2) pp 64-75.

Turcanu, M., Siegert, N., Secouard, S., Brito-de la Fuente, E., Balan, C., y Gallegos, C. (2018)." An alternative elongational method to study the effect of saliva on thickened fluids for dysphagia nutritional support". *Journal of Food Engineering*, 228, pp 79–83.

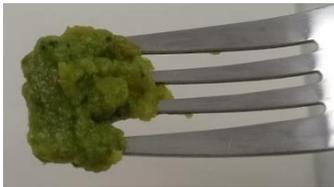
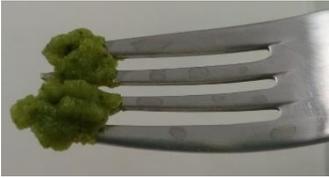
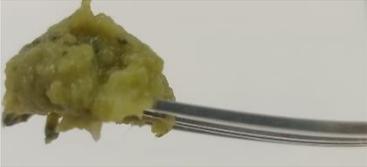
Vilardell, N.; Rofes, L.; Arreola, V.; Speyer, R.; Clavé, P. (2016) "A Comparative study between modified starch and xanthan gum thickeners in post-stroke oropharyngeal dysphagia". *Dysphagia*, 31, pp 169–179.

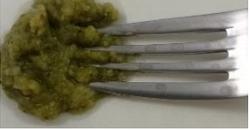
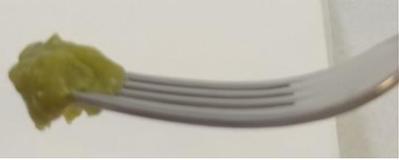
Wee, M., Goh, A., Stieger, M. y Forde, C. (2018) "Correlation of instrumental texture properties from textural profile analysis (TPA) with eating behaviours and macronutrient composition for a wide range of solid foods" *Food & Function*, 9(10), pp.5301-5312. DOI: 10.1039/c8fo00791h

Yang, H.; Lin, Y. (2021). "Effect of thermal processing on flow properties and stability of thickened fluid matrices formulated by tapioca starch, hydroxyl distarch phosphate (E-1442), and xanthan gum associating dysphagia-friendly potential". *Polymers* 2021, 13, pp 162.

Yoshioka, K., Yamamoto, A., Matsushima, Y., Hachisuka, K., y Ikeuchi, Y. (2016). "Effects of high pressure on the textural and sensory properties of minced fish meat gels for the dysphagia diet". *Food and Nutrition Sciences*, 7, pp 732–742. DOI: <https://www.doi.org/https://doi.org/10.4236/fns.2016.79074>

Anexo 1: Imágenes de la evaluación mediante escalas IDDSI de puré de brócoli

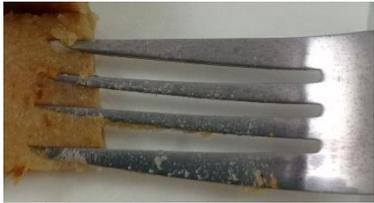
	Test del tenedor			Test de la cuchara
<i>RB</i>				
<i>RR</i>				
<i>HB</i>				

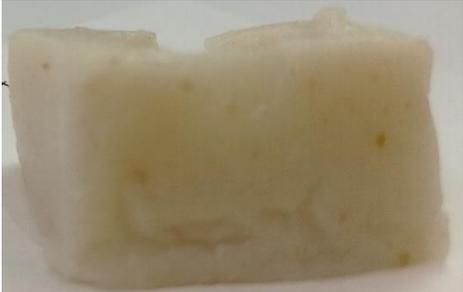
<p>HR</p>				
<p>HC30</p>				
<p>HC60</p>				
<p>HC60X</p>				

<p><i>HC60HPMC</i></p>				
<p><i>HC60P</i></p>				

Anexo 2: Imágenes de la evaluación mediante escalas IDDSI de pan

	Foto de bloque	Test del tenedor	Test de la cuchara
CCXG			
CTGX			

<p>CCA</p>			
<p>CTA</p>			

<p>MCGX</p>			
<p>MTGX</p>			
<p>MCA</p>			

MTA

