



Universidad de Valladolid
Facultad de Medicina

Trabajo Fin de Máster en Nutrición Geriátrica
Curso académico 2021-2022

**Alimentos de textura modificada:
métodos de medida, evolución de las propiedades de la
textura y del valor nutritivo**

Autora: Paula Bello Flores

Tutores: Irma Caro Canales / Raúl Bodas Rodríguez

Resumen

El objetivo del presente trabajo fin de máster (TFM) fue realizar una revisión bibliográfica sistemática acerca de las evidencias científicas más recientes sobre la modificación de la textura de los alimentos sólidos y líquidos para hacerlos aptos para pacientes con disfagia. Para ello se consultaron diferentes bases de datos buscando palabras clave en un límite temporal de 20 años atrás para obtener artículos que tuvieran una descripción detallada de las técnicas empleadas. La revisión bibliográfica realizada ha puesto de manifiesto que existen evidencias científicas recientes que muestran en base a parámetros instrumentales adecuadamente definidos cómo se modifica la textura de los alimentos para adaptarlos a pacientes con disfagia. Se muestran los métodos más frecuentemente utilizados, ingredientes espesantes, ingredientes de nuevo desarrollo y nuevas técnicas de procesado. La información sobre los cambios en la composición nutricional de los alimentos de textura modificada es más bien escasa y es un aspecto que debería tenerse muy en cuenta en el futuro. Se detallan los parámetros instrumentales que pueden medirse y los atributos sensoriales que pueden usarse para definir la susceptibilidad de un alimento a ser masticado y deglutido de manera segura por pacientes con disfagia. Se pone de manifiesto la existencia de diferentes escalas para valorar la modificación de la textura de alimentos líquidos y sólidos destinados a personas con disfagia, entre las que cabe destacar la IDDSI (*International dysphagia diet standardization initiative*).

Palabras clave: alimentos de textura modificada, disfagia, deglución, ingredientes, procesado oral.

Abstract

The aim of this master's thesis (TFM) was to carry out a systematic literature review of the most recent scientific evidence on the modification of the texture of solid foods to make them suitable for patients with dysphagia. Different databases were consulted searching for keywords in a time limit of 20 years ago to obtain articles with a detailed description of the techniques used. The bibliographic review carried out has shown that there is recent scientific evidence that shows, based on adequately defined instrumental parameters, how the texture of foods can be modified to adapt them to patients with dysphagia. The most frequently used methods, thickening ingredients, newly developed ingredients and new processing techniques are shown. Information on changes in the nutritional composition of texture-modified foods is rather scarce and is an aspect that should be strongly considered in the future. Instrumental parameters that can be measured and sensory attributes that can be defined to define the susceptibility of a food to be safely chewed and swallowed by patients with dysphagia are detailed. The existence of different scales to assess the texture modification of liquid and solid foods intended for people with dysphagia is assessed, among which the IDDSI (*International dysphagia diet standardization initiative*) should be highlighted.

Key words: texture modified food, dysphagia, deglutition, ingredients, oral processing

Índice de contenidos

1. Introducción.....	1
1.1. Qué es la disfagia, causas y consecuencias.....	1
1.2. Alimentos/dietas de textura modificada, qué son	2
2. Objetivo.....	3
3. Material y métodos.....	3
3.1. Definición de la pregunta de interés.....	4
3.2. Palabras clave.....	4
3.3. Criterios objetivos de inclusión de estudios	5
3.4. Localización y selección de los estudios	5
4. Resultados y discusión	5
4.1. Valoración de la modificación de la textura	5
4.1.1. Parámetros instrumentales que pueden medirse	6
Mediciones en alimentos líquidos	6
Viscosidad	6
Límite elástico	7
Tixotropía	7
Tribología	7
Estudios sobre alimentos líquidos de textura modificada.....	8
Estudios sobre alimentos sólidos de textura modificada	10
4.1.2. Relación entre parámetros instrumentales y atributos sensoriales.....	10
4.1.3. Escalas visuales de valoración de la textura	14
4.2. Métodos de modificación de la textura de los alimentos y su efecto sobre la textura y los cambios nutricionales	18
4.2.1. Adición de ingredientes	18
Ingredientes de uso habitual	18
Ingredientes de nuevo desarrollo.....	19
4.2.2. Procesado mecánico	20
4.2.3. Nuevas tecnologías	21
4.3. Efecto de la modificación de la textura sobre la composición química del alimento y su evolución en el tiempo	25
4.4. Valoración del efecto de la textura modificada sobre la habilidad para la deglución y el procesamiento oral.....	26
5. Conclusiones	27
6. Bibliografía	28

1. Introducción

1.1. Qué es la disfagia, causas y consecuencias

La disfagia es considerada un trastorno de la deglución que implica una dificultad del paso del bolo alimenticio, saliva y alimentos desde la boca hasta el estómago (Martínez et al., 2016; Padovani et al., 2007). Esta enfermedad puede clasificarse en orofaríngea y esofágica, la primera se caracteriza por cambios en la deglución en la fase oral y faríngea, causados por problemas neuronales y la segunda se debe a cambios mecánicos en el esófago, causado por el envejecimiento y otras patologías como el cáncer (Malagelada et al., 2015). Las personas adultas mayores es el colectivo que mayor incidencia presenta de esta enfermedad, se estima que un 14% de las personas adultas mayores que se encuentran en su vivienda, un 78% de este tipo de personas que se encuentran en centros geriátricos y un 44% de los hospitalizados adultos mayores padecen esta patología (Abu-Zarim et al., 2021; Farrer et al., 2016; Martínez et al., 2016). La disfagia usualmente puede provocar serios problemas de salud como asfixia, neumonía por aspiración, malnutrición y puede ser mortal sino se trata (Ney et al., 2009).

La masticación es el punto inicial de la digestión, el alimento masticado forma un bolo alimentario que es transportado hacia el esófago a través de la faringe. Este proceso es distinto entre sólidos y líquidos, debido a este hecho se emplean dos modelos distintos para describir la fisiología normal de la ingestión y deglución de alimentos (ver Tabla 1). Un modelo de cuatro etapas para beber y deglutir líquidos y un modelo alimentación para comer y deglutir alimentos sólidos (Matsuo y Fujishima, 2020).

Tabla 1. Modelos de ingestión de líquidos y sólidos en condiciones fisiológicas normales (Matsuo y Fujishima, 2020).

Etapas	Descripción
Modelo de cuatro etapas para líquidos	
Preparación oral	Bolo líquido mantenido en la boca
Oral propulsiva	Propulsión del bolo a la faringe
Faríngea	El bolo es desplazado a través del esfínter esofágico superior
Esofágica	El bolo es transportado en el esófago por peristaltismo
Modelo de alimentación para comer y deglutir alimentos sólidos	
Etapas I de transporte	El alimento ingerido es transportado a la superficie oclusales de los molares
Procesado	El alimento es reducido de tamaño y mezcla con la saliva
Etapas II de transporte	El bolo formado es transportado y recogido en zona de la orofaringe hasta el inicio de la deglución.
Deglución	El bolo es desplazado a través del esfínter esofágico superior

El proceso de masticación está controlado por el sistema nervioso central, pero su eficiencia está influida por una serie de factores internos y externos, entre los que cabe destacar los siguientes (Matsuo y Fujisima, 2020):

- Pérdida de dientes, reducción del área de contacto oclusal, uso de dentadura, reducción de la fuerza de masticación. Estos factores, que pueden considerarse internos, hacen necesario un mayor número de golpes de masticación y suelen acarrear un tamaño de partícula mayor en el bolo alimenticio.
- Producción de saliva. La saliva juega un papel crucial en la masticación. Su flujo se incrementa con la presencia de alimento en la boca y con la propia masticación. La saliva lubrica el alimento para contribuir a la formación del bolo en la superficie de la lengua previamente a la

deglución, además de ayudar a la percepción del sabor y el flavor. La hipofunción de las glándulas salivales y la xerostomía (sequedad de boca) se producen por diversas afecciones, la radioterapia de cabeza o cuello o algunos medicamentos (anticolinérgicos). Este hecho puede ocasionar un deterioro de la salud bucal y de la capacidad para lubricar los alimentos masticados, con la consiguiente dificultad para formar un bolo y deglutirlo, además de una pérdida del sabor y el flavor.

- Dureza de la comida. Es un factor externo (ajeno al organismo); cuanto mayor es la dureza, se incrementa el número de golpes de masticación, se alarga la duración del proceso de masticado y de la agregación faríngea.
- Sequedad de los alimentos. Factor externo (ajeno al organismo) que hace que sea necesaria una mayor producción de saliva para procesar el alimento en la boca.

La ubicación del borde del alimento en el momento del inicio de la deglución es significativamente diferente en alimentos sólidos y líquidos. En este último caso, el bolo se mantiene en la boca hasta el inicio de la deglución, mientras que en el caso de los alimentos sólidos el borde llega hasta la vallécula epiglótica. La cohesividad del bolo alimenticio se optimiza para la deglución, esta propiedad depende del tamaño de las partículas de alimento y de la mezcla con la cantidad adecuada de saliva. Una vez alcanzada la cohesividad óptima, las partículas de alimento procesadas por la masticación y la salivación son transportadas a la faringe (etapa II de transporte) para la formación del bolo antes de la deglución. Las fuerzas de cohesión optimizadas ayudan a mantener la integridad del bolo en la faringe tanto antes como durante la deglución, reduciendo así el riesgo de aspiración. Si la deglución se retrasa, un exceso de saliva puede inundar el bolo, separar las partículas, reducir la cohesión y aumentar el riesgo de pérdida de integridad del bolo. Esta situación es similar a la que se produce al comer un alimento bifásico o bicontinuo que incluye componentes sólidos blandos y líquidos finos y dos fases continuas en las que se dispersa el sólido en el líquido. El componente líquido de baja viscosidad puede fluir rápidamente hacia la hipofaringe unos segundos antes de la deglución bajo la influencia de la gravedad, mientras que el componente sólido permanece en la cavidad oral para el procesamiento del alimento. Cuando el líquido entra en la hipofaringe durante la masticación, se acerca al vestíbulo laríngeo en un momento en que la laringe permanece abierta. Esto puede provocar la aspiración, especialmente en pacientes con disfagia y alteración de la de la deglución (Matsuo y Fujisima, 2020).

1.2. Alimentos/dietas de textura modificada, qué son

Actualmente a nivel mundial existe como tendencia el aumento de la esperanza de vida de la población. Esta tendencia tiene como consecuencia un incremento de las enfermedades y trastornos que se relacionan con la población de edad avanzada. Por tanto, con el paso del tiempo existirán cada vez más personas con alteraciones en la masticación y la deglución, de manera que será clave la creación de productos nutricionales diversos enfocados a esta población (Maksimenko et al., 2020).

Entre los problemas asociados a la disfagia se encuentran neumonías por aspiración, desnutrición o asfixia y pueden resultar mortales si no son tratados a tiempo (Abu-Zarim et al., 2021). Para que los pacientes con disfagia puedan tener una deglución sin riesgo de aspiración y de generar residuos faríngeos, es de vital importancia que el bolo alimenticio que se forma en la masticación tenga la textura adecuada (Matsuo y Fujishima, 2020).

Tanto los alimentos líquidos como los sólidos experimentarán distintos cambios de textura. Mientras que los líquidos mantienen la textura durante la mayor parte de tiempo durante la masticación, los sólidos ven alterada su textura por completo, por medio de la masticación y el mezclado con la saliva (Matsuo y Fujishima, 2020).

Para espesar los líquidos y modificar la textura de los alimentos se utilizan agentes espesantes. De esta manera se consigue una ingesta nutricional adecuada y una deglución segura. Dentro del grupo de los agentes espesantes, los más utilizados son los espesantes en polvo, seguidos de los purés instantáneos y de las bebidas espesadas (Methacanon et al., 2021).

Los alimentos de textura modificada desarrollados para problemas específicos se pueden clasificar en 3 categorías (Maksimenko et al., 2020):

- Primera categoría: su objetivo principal es facilitar la masticación. Incluyen los procedimientos utilizados para ablandar comidas como frutas, verduras y carne.
- Segunda categoría: usa la reología para estudiar el comportamiento de los líquidos espesados. Su objetivo es obtener líquidos que sean seguros de ingerir, mediante la adición de sustancias para conseguir partículas de biopolímeros y microgeles. Con esto se mejora la viscosidad y estabilidad del producto. Estas sustancias se pueden clasificar en dos grupos (Abu-Zarim et al., 2021):
 - Espesantes con base de almidón. Este espesante es degradado durante la masticación por la enzima amilasa de la saliva. Por lo que el producto pierde la textura adquirida. Además, modifica el sabor de los alimentos y aumenta los residuos post-deglutivos.
 - Espesantes con base de goma. Por sus características son los más indicados. La goma xantana es la más utilizada al conseguir una alta viscosidad y pseudoplasticidad, lo que le da unas propiedades reológicas buenas. También tiene una buena capacidad para espesar y proporciona pseudoplasticidad al alimento, haciendo su deglución más fácil, debido a que mantiene su estabilidad en líquidos durante un tiempo prolongado y resiste la degradación de la amilasa salival. También tiene una alta capacidad en distintas condiciones de temperatura, pH y concentraciones de sal.
- Tercera categoría: en ella se desarrollan nuevas estructuras de los alimentos. Se consiguen alimentos que conservan su aspecto y sabor original pero que poseen una estructura más suave para que se puedan deshacer más fácilmente en la boca (Maksimenko et al., 2020).

2. Objetivo

El objetivo del presente trabajo fin de máster (TFM) fue realizar una revisión bibliográfica sistemática acerca de las evidencias científicas más recientes sobre la modificación de la textura de los alimentos sólidos para hacerlos aptos para pacientes con disfagia.

Paralelamente, y como resultado de esta revisión, se pretenden establecer las bases para la elaboración de una guía práctica de modificación de la textura de los alimentos a partir de los resultados obtenidos.

3. Material y métodos

En el ámbito clínico, las revisiones sistemáticas se consideran la fuente más fiable para informar la toma de decisiones médicas. Estas revisiones sistemáticas se basan en el análisis de estudios originales

primarios a partir de los cuales se pretende contestar a una pregunta de investigación que ha sido formulada de forma clara y sistemática. Se trata, por tanto, de investigación secundaria (“investigación sobre lo investigado”) (Ferreira González et al., 2011).

Posteriormente a la búsqueda de información, las revisiones sistemáticas llevan aparejado un proceso estadístico de evaluación de la calidad de los resultados de los estudios que forman parte de la revisión y de meta-análisis de los mismos (Ahn y Kang, 2018). En el presente TFM se ha definido la búsqueda sistemática de información y se han plasmado los resultados encontrados, sin que haya sido posible un proceso de meta-análisis debido a que no se trata de estudios clínicos, de cohortes o de intervención sobre poblaciones, grupos de individuos o pacientes. No obstante, para evitar el error aleatorio y el sesgo que suelen asociarse a las revisiones meramente narrativas, se han seguido las estrategias recomendadas para las revisiones sistemáticas (Ahn y Kang, 2018; Ferreira González et al., 2011; González de Dios y Balaguer, 2008; González de Dios y Santamaría, 2007):

- Búsqueda sistemática y exhaustiva de los artículos potencialmente relevantes
- Selección mediante criterios explícitos de los artículos que se incluyen
- Descripción del diseño y la ejecución de los estudios originales y la síntesis de los datos obtenidos.

3.1. Definición de la pregunta de interés

¿Existen evidencias científicas que apoyen o muestren una modificación de la textura o cambio funcional en alimentos para adaptarlos a pacientes con disfagia?

Para tratar de responder a esta pregunta se han desglosado los siguientes aspectos:

- ¿Cuáles son los ingredientes u operaciones utilizadas que ayudan a modificar la textura de los alimentos (qué ingredientes o qué operaciones y en qué medida se utilizan)?
- ¿Cuáles son los cambios nutricionales (composición química del alimento) que se producen consecuencia de esas modificaciones?
- ¿Qué medidas objetivas/instrumentales de propiedades mecánicas o sensoriales se utilizan y cuál es su relación con el procesamiento oral?
- ¿Qué otros parámetros se miden para ver la evolución del alimento en el tiempo?

3.2. Palabras clave

La búsqueda de artículos científicos se realizó en inglés y en español, utilizando las siguientes palabras clave:

Inglés	Español
- Dysphagia	- Disfagia
- Swallowing	- Tragar
- Deglutition	- Deglución
- Texture-modified	- Textura modificada
- Food	- Alimentos
- Solid, soft-, semi- and hard-solid	- Sólido, blando, semisólido, duro
- Oral processing	- Procesado oral
- Mechanical properties	- Propiedades mecánicas
- Ingredients to modify texture: proteins and polysaccharides	- Ingredientes para modificar textura: proteínas y polisacáridos
- Texture modified food	- Alimentos de textura modificada

- IDDSI*	- IDDSI*
----------	----------

*IDDSI (International dysphagia diet standardization initiative).

3.3. Criterios objetivos de inclusión de estudios

En la revisión sistemática se incluyeron únicamente aquellos estudios que cumplieron con los siguientes criterios:

- Límite temporal: 2002-2022.
- Alimentos: preparados/individuales.
- Parámetros medidos: textura, viscosidad (análisis instrumental), análisis de textura dinámica.
- Descripción precisa del alimento.
- Descripción adecuada de la técnica empleada (por ejemplo, adición de espesantes, picado, impresión en 3D, ...).
- Evolución del alimento a lo largo del tiempo o del procesado (cocinado, enfriado, conservación, recalentamiento).

3.4. Localización y selección de los estudios

Se realizaron búsquedas en las siguientes bases de datos: Scopus, PubMed, Mendeley y Google Scholar. Una vez realizada la búsqueda el número de artículos/estudios encontrados fue el siguiente:

- Scopus: 157 documentos
- PubMed: 129 documentos
- Mendeley: 219 documentos
- Google scholar: 489 documentos

Las referencias procedentes de Scopus, PubMed y Mendely fueron volcadas en un software de gestión de bibliografías (Mendeley). Las referencias fueron ordenadas y filtradas para eliminar duplicados y comprobar el límite temporal de inclusión. Una vez filtradas, el número de referencias (estudios) fue de 160.

Finalmente se revisaron los títulos, las fechas y los resúmenes de los 160 estudios iniciales para filtrar aquellos que cumplían con el resto de los criterios de selección. El número de referencias/estudios que cumplían todos los criterios fue de 42, a partir de los cuales se elaboraron los resultados de esta revisión bibliográfica que se muestran a continuación.

4. Resultados y discusión

4.1. Valoración de la modificación de la textura

Un alimento de textura modificada es aquel que comienza con una textura (que podría considerarse como la habitual de ese alimento) y cambia a otra a consecuencia del procesado (calentamiento, picado, triturado, homogeneizado) o la adición de determinados ingredientes (por ejemplo, agua, caldo o sustancias espesantes) (Guénard-Lampron et al., 2021; Sungsinchai et al., 2019). En el caso de los pacientes con disfagia, esta modificación de la textura tiene el objetivo de mejorar la calidad y la seguridad de los alimentos para que puedan ser deglutidos sin riesgos, y es una práctica habitual (Cichero et al., 2016; Sungsinchai et al., 2019).

En esta revisión se mostrarán los métodos más habituales y las innovaciones más recientes relativos a la modificación de la textura. Sin embargo, previamente es necesario conocer qué parámetros pueden medirse de forma directa o indirecta, instrumental o sensorial para valorar de manera adecuada la modificación en la textura y cómo estos se aplican a los diferentes alimentos (Cichero et al., 2016; Guénard-Lampron et al., 2021; Sungsinchai et al., 2019).

4.1.1. Parámetros instrumentales que pueden medirse

Los códigos de dietas utilizadas para el tratamiento de la disfagia generalmente van acompañados de términos que indican la textura de alimentos líquidos y sólidos (ver *Tabla 7* con las escalas y códigos usados para la dieta de disfagia), por ejemplo, en el nivel 5 para sólidos el término usado es picada y húmeda, en el nivel 1 para líquidos el término usado es ligeramente espesa. Sin embargo, esos términos deben evaluarse objetivamente con métodos instrumentales y sensoriales que permitan medir las características reológicas de esos alimentos preparados, más aún, si estos alimentos son preparados por la industria alimentaria. Recientemente Newman et al. (2016) indicaron que los alimentos destinados a personas con disfagia cuyo desarrollo estuvo basado en diversos parámetros reológicos como viscosidad, módulo de elasticidad, módulo de deformación y fuerza de cizalla mostraron un incremento en la habilidad para ser deglutidos de forma segura. Aunque la escala IDDSI no incluye la viscosidad en su descripción, la investigación de las propiedades reológicas de los líquidos espesados es esencial, no solamente para ser clasificado en el nivel adecuado, sino también para relacionarlo con la percepción de la textura del consumidor (Methacanon et al., 2021). Así mismo, diversos autores indican que los métodos instrumentales deben reflejar el procesamiento oral del alimento (Cichero et al., 2016, Cichero, 2018; Cichero, 2020, Ibañez et al., 2022).

Mediciones en alimentos líquidos

En los alimentos líquidos y los líquidos espesados se pueden medir diversas propiedades reológicas. La reología se define como el estudio de la deformación y flujo de los materiales (Macosko, 1994). Las principales características reológicas son las propiedades de elasticidad (propiedad de un material por la que se recupera parcial o totalmente su forma y dimensiones originales, al quitar la acción de una fuerza externa), las propiedades viscoelásticas (como fluyen o como se deforman cuando la fuerza es retirada del líquido) y la plasticidad (facultad de un material de ser moldeado por encima del esfuerzo que produce la fluencia, pudiendo retener la forma bajo fuerza finitas). Para el estudio de esas propiedades en los líquidos espesados o de textura modificada destinados a personas con disfagia se usa frecuentemente la reología de cizallamiento, en la cual el líquido es sometido a un esfuerzo de cizalla y la reología de extensión, en la que el líquido es sometido a un esfuerzo de extensión (Methacanon et al., 2021; Mirazimi et al., 2022). En el estudio de los líquidos espesos destinados a personas con disfagia, los parámetros reológicos más frecuentemente medidos son viscosidad, densidad, límite elástico, velocidad de cizalla o índice de cizalla y tensión de cizalla (Methacanon et al., 2021). A través de estos parámetros se puede definir de manera exacta la textura de los líquidos espesados utilizados para personas con disfagia y evitar definirlos por términos más ambiguos, como espeso o fino.

Viscosidad

La IDDSI utiliza para medir los líquidos espesados la prueba de flujo por gravedad (ver *Tabla 7*) debido a que la medida de la viscosidad no es capaz de indicar el comportamiento durante la deglución de los

líquidos espesados. Así mismo, el comité indica que la textura está influenciada por otros factores como la densidad, el límite elástico, la presión de propulsión y el contenido en grasa (Cichero et al., 2017). Además, estos autores mencionan la dificultad que tendrían los dietistas para acceder a este tipo de equipos (Cichero et al., 2016; IDDSI, 2019). Sin embargo, actualmente existen algunos estudios que miden la viscosidad de los líquidos espesados (Abu Zarim et al., 2021; Chichero et al., 2007; Matsuo y Fujishima, 2020). Esta medición se realiza a temperatura ambiente y con una velocidad de cizallamiento de 50 s⁻¹ (Dietitian Association of Australia and The Speech Pathology Association of Australia Limited, 2007). En función de la viscosidad, los líquidos se clasifican como finos, tipo néctar, tipo miel y tipo pudín (Methacanon et al., 2021).

La viscosidad es una propiedad reológica que debería de incluirse en la escala IDDSI, porque aporta información útil para clasificar la consistencia de los líquidos y para ver la percepción de la textura por parte del paciente. La prueba de medida de flujo por gravedad se describe en la *Tabla 7*. Brevemente, se ponen 10 mL del líquido en una jeringa y se destapa el orificio de salida, se cuentan 10 segundos y se vuelve a tapar. En función de la cantidad de líquido que haya quedado en la jeringa se podrá clasificar a un fluido en una textura determinada. Mediante esta técnica también se pueden evaluar el grosor de salsas, condimentos, sopas, suplementos nutricionales y medicamentos líquidos durante su preparación y servicio (Cichero et al., 2016; IDDSI, 2019).

Límite elástico

El límite elástico es un parámetro reológico que puede medirse tanto en líquidos espesados como en bolo alimenticio. Cuando la propiedad de extensión es alta, el bolo alimenticio se romperá menos y lentamente durante la fase faríngea de la deglución lo que puede implicar un menor riesgo de aspiración (Methacanon et al., 2021).

Tixotropía

Es una propiedad reológica que permitiría conocer el comportamiento de los líquidos espesados. Así, los líquidos con esta propiedad reológica muestran cambios en su viscosidad tras aplicar una fuerza de cizalla y si la presión ejercida por el esfuerzo de cizalla es mayor, la viscosidad disminuirá sobre todo en fluidos no newtonianos (Mirazimi et al., 2022).

Tribología

Además de la reología, se puede medir otro parámetro de textura en los alimentos referido al cambio de tamaño de partículas en al menos dos longitudes desde la escala centímetro a la escala submilímetro. El estudio de este cambio de tamaño es esencial para la deglución. Este estudio permitiría conocer la transición de la reología en masa a la tribología referida a la capa fina formada por el procesamiento oral de los alimentos. La tribología describe la lubricación, fricción y desgaste entre dos superficies que interactúan. Tiene una gran importancia ya que se utiliza para comprender el procesamiento oral y la percepción sensorial de los alimentos. Un ejemplo de la importancia de la tribología es el estudio del mecanismo de lubricación de la saliva humana para diseñar productos alimenticios específicos para personas con xerostomía, patología en la cual se ve reducida la producción de saliva, que conlleva una menor lubricación en boca y una mayor dificultad para masticar y tragar (Methacanon et al., 2021).

Sin embargo, no solamente las propiedades reológicas y tribológicas permiten el estudio de la textura de los alimentos, otros factores como el pH, la temperatura o la fuerza iónica son importantes para conocer eficacia de los espesantes utilizados (Methacanon et al., 2021).

Conviene recordar que para que un alimento de textura modificada sea seguro, no se pueden utilizar únicamente un valor determinado de viscosidad como referencia en la elaboración, sino que es necesario combinar mediciones de viscosidad y textura (Sharma M 2017).

Estudios sobre alimentos líquidos de textura modificada

Se han realizado diversos estudios para medir la textura de los alimentos de textura modificada. Las propiedades viscoelásticas de los alimentos han sido estudiadas por diversos autores (Ribes et al., 2021; Sharma et al., 2017; Syahariza y Yong de 2017; Vieira et al., 2020). Estos autores usaron como instrumento principal un reómetro, aunque los tipos de reómetros fueron distintos para cada estudio. Así, por ejemplo, Ribes et al., (2021) utilizaron un reómetro rotativo, mientras que, por su parte, Syahariza y Yong (2017) utilizaron un reómetro de tensión controlada. Este instrumento fue adaptado por Sharma et al. (2017) para medir la tribología, es decir para realizar pruebas de tensión y fricción. Todos los autores usaron hidrocoloides y otros espesantes para estudiar las propiedades reológicas. En los siguientes párrafos se realizará un resumen de la metodología utilizada para evaluar la textura de los líquidos y alimentos blandos. En el trabajo de Mirazimi et al. (2022), los autores estudiaron el módulo viscoso y el módulo elástico (G' y G'') por medio del test de oscilación así como el tixotropía y el límite elástico de un preparado de puré de patata con hidrolizado de proteína de soja o con agar. Estos autores, también realizaron mediciones de análisis de perfil de textura por medio de una prueba de compresión en un texturómetro. Los resultados de este estudio se compararon con las pruebas de inclinación de la cuchara y de presión con tenedor (IDDSI). De esta manera se demostró que las muestras no se pegaban en la cavidad oral y que son alimentos de transición. En el estudio de Nicholson et al. (2008) se estudió la evolución del espesor de varias bebidas (agua, zumos, leche, té...) en función del tiempo mediante un reómetro de oscilación dinámica utilizando la célula de *couette*. Los resultados obtenidos mostraron que los zumos de fruta necesitan menos espesante que la leche para conseguir el mismo espesor. Así mismo estos autores observaron que el grado de espesor no se incrementa de forma linealmente con el nivel de adición de espesante. Por su parte Pagno et al. (2014) estudiaron el comportamiento de un espesante en los diferentes líquidos en distintos tiempos mediante un viscosímetro Brookfield para medir la viscosidad de los líquidos espesados y poder describir su textura.

Ribes et al. (2021) realizaron un estudio en salsas elaborada con diversos hidrocoloides en las que midieron la resistencia al flujo, la viscoelasticidad y el comportamiento de flujo, las curvas obtenidas en función de la velocidad de cizalla, la viscosidad aparente y las propiedades viscoelásticas en las zona lineales y no lineales. Para las cuatro primeras propiedades se utilizó un reómetro rotativo con un sistema de calentamiento Peltier para controlar la temperatura y para las últimas propiedades se usó el test de cizalla oscilatoria de amplitud pequeña. Así mismo, estos autores estudiaron el comportamiento de flujo constante de las salsas espesadas mediante curvas de flujo en función de la velocidad de cizalla y la influencia de la temperatura sobre esta velocidad. Estos autores encontraron que los valores de velocidad de cizalla oscilaron entre 0,1 y 200 s⁻¹ durante 300 s. Para el estudio de la influencia de la temperatura en la viscosidad de las muestras utilizaron ecuación de Arrhenius. Estos

autores también estudiaron el comportamiento viscoelástico no lineal por medio de un ensayo de cizalla oscilatoria de gran amplitud para determinar los límites de la región viscoelástica lineal y para caracterizar las propiedades viscoelásticas no lineales de las muestras espesadas. El resultado obtenido de tensión de cizalla fue de 1350 mPa·s y 2400 mPa·s para las salsas con textura de miel y pudín, respectivamente. También encontraron que las salsas mostraron una gran resistencia a fluir a 55 °C debido a las interacciones intermoleculares de los hidrocoloides y los compuestos de salsas. Finalmente, en este estudio también se realizó un ensayo de masticación simulada a 37 °C con presencia y ausencia de saliva artificial para observar su impacto en las muestras espesadas, y una evaluación sensorial por un grupo de panelistas semientrenado, que evaluaron usando una escala de 9 puntos para color, flavor, consistencia, deglución y aceptación global. Por su parte, Sharma et al. (2017) estudiaron el comportamiento viscoelástico de los alimentos espesados con ayuda de un reómetro. Además, estos autores, utilizan un accesorio específico para un reómetro que permite estimar el cociente de fricción que, como se ha mencionado, es una de las propiedades de la tribología. En el estudio de Syahariza y Yong (2017) se determinan las propiedades reológicas de varias papillas de arroz preparadas con distintos espesantes. Para ello, utilizan un reómetro de tensión controlada equipado con un controlador de temperatura. Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de la ley de potencia y al modelo de Casson para describir el comportamiento del flujo de las muestras. Donde σ es la tensión de corte (Pa), $\dot{\gamma}$ es la tasa de corte (s^{-1}), K es el índice de consistencia (Pa·s) y n es el comportamiento de flujo (adimensional). También se realizó una prueba de barrido de tensión oscilatoria para determinar la región viscoelástica lineal. En cuanto a las propiedades textura de las papillas espesadas, se determinaron por la prueba de extrusión trasera. En ella se midieron los parámetros de firmeza (pico máximo de fuerza como resultado de la compresión), consistencia (área positiva del gráfico), cohesividad (máxima fuerza negativa) e índice de viscosidad (área negativa de la curva). Vieira et al. (2020) realizaron un estudio para describir la textura de los alimentos y detallan los instrumentos que pueden utilizarse para llevar a cabo esas medidas. Los autores indican que las propiedades reológicas que se deben medir son: tensión de corte (Pa), viscosidad (η , Pa·s), índice de consistencia (k, Pa·sn) y la tasa de corte ($\dot{\gamma}$, s^{-1}) e índice de flujo (n). A tenor de Vieira et al. (2020), estas propiedades deben medirse con un reómetro con un plato de geometría crónica de acero inoxidable o cilindros concéntricos dobles. Así mismo, indican que para realizar las medidas de oscilación que determinen las propiedades elásticas y viscosas se debería realizar barridos de frecuencias entre 0,1 y 10 Hz en el dominio viscoelástico lineal con los módulos viscoso (G') y elástico (G''). Otra propiedad que Vieira et al. (2020) proponen que debe medirse es la viscosidad compleja a 50 $rad \cdot s^{-1}$ (η). Finalmente, estos autores indican que para medir las propiedades de tribología, debería de usarse un tribómetro con una configuración de esfera sobre plano recíproco. En este tribómetro, la esfera representa el paladar y el plano la lengua, y calcula el coeficiente de fricción. Para Vieira et al. (2020) la tribología es clave para evaluar la dinámica de la deglución de alimentos en pacientes con disfagia.

Abu Zarim et al. (2021) estudiaron la estabilidad reológica del efecto de los espesantes sobre el almacenamiento para llevar a cabo este estudio analizaron el módulo viscoso (G') y el módulo elástico (G'') en distintas muestras que habían sido espesadas con almidón de maíz modificado y goma xantana. Estos autores observaron diferencias entre la muestra control y las muestras espesadas. Mientras que la muestra control sufrió una disminución de su estabilidad reológica y propiedades viscoelásticas al ser almacenada y calentada por encima de 40 °C, las muestras espesadas experimentaron un aumento de sus propiedades viscoelásticas y de flujo durante el almacenamiento.

Sabry et al. (2018) utilizan la prueba de flujo de la IDDSI para valorar la textura de distintos líquidos (leche entera, zumo de guayaba, zumo de tomate, yogur con fresa, sopa de lentejas, sopa de pollo, sopa de yute -molokhia-, yogur y natillas de chocolate). Además, utilizan alimentos de bajo coste para preparar diferentes líquidos espesados con diferentes consistencias y viscosidades. El objetivo de estos autores era realizar equivalencias con adición de almidón para lograr la textura de esos líquidos en una disolución de agua y conseguir un sistema barato para emular una textura conocida. Por su parte, Watanabe et al. (2017) estudiaron diversos alimentos utilizados de referencia en la Pirámide de Disfagia de Japón y determinaron dureza, adhesividad y cohesividad y concluyeron que la dureza es un parámetro que permite calcular la textura. Watanabe et al (2017) utilizaron para sus determinaciones un medidor de flujo (creep meter). La metodología seguida por estos autores se basó situar las muestras en un cilindro de 40 mm de diámetro x 15 mm de profundidad en el que se introduce un émbolo cilíndrico.

Estudios sobre alimentos sólidos de textura modificada

Los estudios sobre las propiedades de textura de los alimentos sólidos son limitados. En general, los investigadores utilizan para llevar a cabo los estudios de estos alimentos un texturómetro y miden normalmente las propiedades de textura mediante el análisis de perfil de textura (Matsuo y Fujishima, 2020). Además, algunos autores también intentan medir instrumentalmente las pruebas de presión del tenedor de la IDDSI y para establecer comparaciones con las medidas de un texturometro usando una sonda especial que se une a un tenedor y de esta manera correlacionar ambas medidas (Pematilleke et al., 2022).

Stading (2021) estudió la reología del bolo alimenticio formado a partir de alimentos sólidos, utilizando por un lado la reometría de corte oscilante de pequeña amplitud y la viscosidad, y por otro el método de flujo de contracción hiperbólica, que mide la fuerza en una boquilla hiperbólica que somete la muestra a una velocidad de extensión. Este autor concluye que en el estudio de la reología del bolo alimenticio es más importante determinar si estos son seguros o no más que la textura del alimento. Así mismo, menciona que añadir saliva artificial a los alimentos mejora los resultados de los análisis instrumentales ya que se consigue correlacionarlos más directamente con la percepción sensorial.

4.1.2. Relación entre parámetros instrumentales y atributos sensoriales

Los estudios de las propiedades sensoriales de los alimentos de textura modificada también son limitados y en actualidad, posiblemente debido a los pocos estudios llevados a cabo en este campo de alimentos para personas con disfagia, no se observan adecuadas correlaciones entre sus atributos sensoriales y medidas instrumentales. La estructura de estos alimentos de textura modificada depende por un lado de los ingredientes utilizados (hidrocoloides, emulsionantes, agentes espesantes y gelificantes) y por otro de los métodos de procesado como la microencapsulación, los microgeles como sistemas de administración y la impresión 3D (Raheem et al., 2021).

Sharma et al., (2017, 2021) determinaron las propiedades sensoriales mediante un panel entrenado de catadores para medir la dominancia temporal de sensaciones (DTS). Esta medida se basa en capturar los atributos sensoriales predominantes percibidos durante la masticación. Estos atributos sensoriales son: espeso, suave, granulado, adhesivo, cohesivo, fino, resbaladizo, denso y recubrimiento bucal, y están relacionados con medidas instrumentales como la viscosidad. La definición de algunos de estos atributos sensoriales así como su relación con los parámetros

instrumentales determinados sobre los alimentos puede verse en la *Tabla 2*, la *Tabla 3* y en la *Tabla 4*. Estos autores mencionan que la tribología no sería necesaria porque no aporta información indispensable. Sin embargo, indican que la evaluación de las propiedades sensoriales debe realizarse con saliva para que exista una adecuada correlación entre la DTS y la viscosidad. Por su parte, Peh et al. (2021) llevaron a cabo medidas instrumentales de purés de zanahoria. Para ello utilizaron el método de extrusión posterior con un analizador de textura. Estos autores pudieron medir atributos de textura como: firmeza, consistencia, cohesividad y adhesividad. Así mismo, llevaron a cabo un análisis sensorial descriptivo cuantitativo para caracterizar los purés de zanahoria a través de ocho expertos. Estos autores midieron siete atributos sensoriales: firmeza, viscosidad, adhesividad en boca, suavidad, adhesividad en garganta, velocidad de descomposición y dificultad para tragar (*Tabla 5*). En la evaluación se comparó el puré de zanahoria natural con purés espesados con cinco espesantes distintos: goma gellan, goma xantana, Suberkaze, el espesante instantáneo UNI-PURE® Dys-sperse y ULTRA-SPERSE® M Starch. Los atributos de firmeza obtenidos de los resultados instrumentales se correlacionaron positivamente con los obtenidos en el análisis sensorial (*Tabla 6*). El parámetro de consistencia también se correlacionó positivamente con el atributo sensorial de viscosidad, y negativamente con la suavidad. Además, el parámetro de cohesividad se correlacionó negativamente con el atributo sensorial de la tasa de quiebra, y la adhesividad instrumental se correlacionó positivamente con la adhesividad en boca y garganta y con la dificultad para tragar. Esta correlación muestra que con una técnica instrumental bien diseñada se puede comprender cómo afecta a la percepción de los pacientes el uso de espesantes en alimentos de textura modificada.

Tabla 2. Atributos evaluados por un panel capacitado con la definición y las referencias utilizadas junto con sus valores de intensidad en una escala de líneas de 15 cm (Sharma et al., 2017).

Técnica de muestreo	Atributo	Definición	Equivalencia	Valor de la intensidad en una escala de 15 cm
Primera cucharada	Densidad	Compactibilidad de la muestra. Es la sensación de aire/masa sólida que tiene cuando se presiona contra el paladar (aireado – denso)	Nata montada Glaseado de queso crema batido Queso crema batido	1,5 9,0 12,5
	Suavidad	Sensación aterciopelada de la muestra en la boca (baja – alta)	Crema de trigo Crema de arroz infantil Pudín de chocolate	2,5 7,0 14,0
	Adhesividad	Adherencia de la muestra (baja – alta)	Pudín de caramelo Malvavisco Crema de cacao	3,5-4,0 7,5-8,0 14,0
Segunda cucharada	Cohesividad	Grado en que la masa de alimento y saliva se mantiene unida después de la masticación y durante la deglución (baja – alta)	Pudín de tapioca Glaseado de queso crema batido	3,0 12,0
	Untuosidad	Intensidad de la capa lubricada en la superficie interior de la boca después de que la muestra haya sido ingerida (baja – alta)	Puré de patata hecho con agua Puré de patata hecho con nata (½) y una cucharada de margarina Puré de patatas con un 35% de nata y 2 cucharadas de margarina	1,5 7,5 12,5

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson de las medidas instrumentales con los atributos sensoriales (Sharma et al., 2017).

	Densidad	Suavidad	Adhesividad	Untuosidad
Tanδ1Hz	-0.63	0.69**	0.44	0.77**
G'@LVR	0.68**	-0.55	-0.55	-0.61
Límite elástico	0.87***	-0.82***	-0.78***	-0.64
Viscosidad a 10 s ⁻¹	0.82***	-0.90***	-0.51	-0.78***
Dureza	0.54	-0.80**	-0.24	-0.62
Gomosidad	0.67**	-0.81***	-0.39	-0.73**

Tanδ = factor de amortiguación; G'@LVR = módulo viscoso similar a LVR (Zona viscoelástica lineal). **p≤0.05, ***p≤0.01

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Spearman de las medidas instrumentales de las matrices de puré de zanahoria con sus atributos sensoriales dinámicos (Sharma et al., 2021).

	Adhesivo	Denso	Granulado	Recubrimiento	Resbaladizo	Suave	Espeso	Fino
μ a 26 mm/s	-	-	-	-	0.78	0.72	-	-
μ a 182 mm/s	-	-	-	-	0.82	-	-	-
μ a 782 mm/s	-	0.83	-	0.77	0.8	-	0.77	-
η a 10 s ⁻¹	-	-	-	0.90	0.75	0.74	0.91	0.69
G'1Hz	-	-	-	-	-	-	-	-
G''1Hz	-	-	-	-	-	0.72	-	-
Tan δ 1Hz	-	0.81	0.83	0.92	0.75	0.8	0.92	-

μ = viscosidad; η = viscosidad con una velocidad de cizalla de 10 s⁻¹; G' = módulo viscoso; G'' = módulo elástico; Tan δ = factor de pérdida

Tabla 5. Atributos sensoriales descritos por Peh et al. (2021) y sus definiciones.

Atributos	Nivel bajo	Nivel alto	Definiciones
Firmeza	No	Mucho	La fuerza necesaria para comprimir el alimento entre la lengua y el paladar superior
Viscosidad	No	Mucho	Sensación de espesor del producto. El grado en que la comida y la saliva forman una masa que se mantiene unida
Adhesividad (boca)	No	Mucho	Adherencia del producto en la boca
Suavidad	No	Mucho	Grado de homogeneidad del producto cuando hay fricción ente la lengua y el paladar superior, teniendo en cuenta trozos o grumos
Velocidad de descomposición	El más lento	El más rápido	Velocidad de descomposición del producto en la boca (sin masticación)
Adhesividad garganta	No	Mucho	Adherencia del producto en la garganta
Dificultad para deglutir	Fácil	Difícil	Grado de dificultad para tragar tras la deformación del producto entre la lengua y el paladar superior

Tabla 6. Correlaciones entre textura instrumental y propiedades sensoriales en el estudio de Peh et al. (2021).

Textura instrumental	Propiedades sensoriales	Correlación
Firmeza	Firmeza	+
Consistencia	Viscosidad	+
	Suavidad	-
Cohesividad	Tasa de quiebra	-
Adhesividad	Adhesividad en boca	+
	Adhesividad en garganta	+
	Dificultad para deglutir	+

4.1.3. Escalas visuales de valoración de la textura

En el año 2012 se formó un comité multidisciplinar de expertos con objetivo de desarrollar una terminología y unas definiciones estandarizadas a nivel internacional para alimentos sólidos y líquidos de textura modificada aplicada, así como los métodos para medir la textura de esos alimentos. En 2016 se llega por consenso a un documento marco que establece una escala de 4 niveles para líquidos espesados, el nivel 0 para alimentos finos y 5 niveles de textura para alimentos sólidos. Los niveles fueron categorizados también por colores para facilitar su reconocimiento. Dentro de los alimentos sólidos se definieron los alimentos en transición como aquellos habituales o normales que cuando se aplica humedad (saliva) o temperatura cambian el nivel de textura, cruzando los límites establecidos entre niveles. Además, este marco internacional describe los métodos que deben ser usados para realizar las mediciones que permitan la clasificación de los alimentos en cada una de las categorías previamente definidas. Por ejemplo, para medir los niveles de los alimentos líquidos se usa la prueba de flujo por gravedad; para medir la adhesividad y la cohesividad de los alimentos líquidos espesados se puede usar el método de la cuchara inclinada; para medir el tamaño de partícula se usa el método del tenedor que permite estimar el tamaño de partículas entre 4 y 15 mm (Chichero et al., 2018). Finalmente, en 2019 se agrega en esta escala un nuevo nivel denominado “fácil de masticar”, que es un subnivel del nivel 7 (IDDSI, 2019).

De acuerdo con Icht et al. (2018) en Israel después de realizar una consulta a través de un cuestionario que elaboró un comité multidisciplinario compuesto por logopedas y dietistas colegiados se adoptó la escala IDDSI agregando dos términos: sólido/duro para la categoría normal y blando/suave para las categorías fácil de masticar y picada y húmeda, ya que esos términos eran usados por el 100% y 60% de los encuestados. Esta estandarización de la terminología para alimentos de textura modificada era necesaria porque ese estudio reveló que había hasta 50 etiquetas o terminologías diferentes que eran usadas entre los profesionales para los alimentos de textura modifica. De esta manera, el comité aprobó una escala de cinco categorías para alimentos sólidos y otras cinco categorías para alimentos líquidos.

En Japón se han llevado a cabo diversas iniciativas y trabajos de investigación para establecer categorías y conocer las propiedades reológicas de las dietas usadas para personas con disfagia. Estas iniciativas han permitido mejorar la salud de la población de los adultos mayores en ese país. Watanabe et al. (2017) llevó a cabo un estudio para establecer los valores de viscosidad y tamaño de partícula para alimentos de textura modificada con denominaciones concretas (por ejemplo, fina o miel, entre otros). Otra iniciativa que se ha llevado a cabo entre distintos organismos gubernamentales es la implantación de etiquetas que deben usarse para los alimentos de textura modificada. Es un sistema de declaraciones de propiedades de los alimentos funcionales que incluye una parte de declaraciones en alimentos para uso específico del cuidado de la salud en adultos mayores. De esta manera en el 2013, se aprobó una regulación alimentaria para alimentos llamada Smile Care Foods. En ella se recogen 4 categorías de alimentos para personas con problemas de masticación y que deben tener color amarillo, 3 categorías para alimentos dirigidos a personas con problemas de deglución, estas etiquetas deben estar escritas en rojo y una última categoría dirigida a personas que necesitan suplementos nutricionales que tendrá una etiqueta de color azul (Maksimenko, et al., 2020). También, en 1993 se llevó a cabo en ese país una iniciativa para rehabilitación de personas que sufren disfagia debido a accidentes cerebrovasculares. A partir de esta iniciativa se elaboraron dietas usando observaciones clínicas como la videofluoroscopia y el análisis sensorial para, finalmente, desarrollar la

denominada Pirámide para Disfagia. Esta pirámide tiene 5 niveles, codificados con números y letras, por ejemplo, los códigos 0t, 0j y 1j son alimentos destinados a personas que tienen problemas de deglución (por lo tanto, pueden ser deglutidos sin ser masticados), los alimentos en el nivel 2 son alimentos en forma de pasta, los cuales a su vez están clasificados en alimentos homogéneos o no homogéneos (códigos 2,1 y 2,2, respectivamente). Así mismo, en esta pirámide se establece el tamaño de partícula (por ejemplo, el código 2,1 tienen un tamaño de partícula máximo de 850 μm , mientras que el código 2,2 contiene granos grandes). El código 3 se reserva para alimentos que pueden ser aplastados sin ayuda de piezas dentales y formar un bolo alimenticio. Finalmente, el código 4 se utiliza para alimentos que pueden manejados con los dientes y no pueden romperse con la lengua y el paladar. Así mismo, en la Tabla 7 se muestran los valores de dureza, cohesividad y adhesividad determinados a través del análisis de perfil de textura (APT) para los distintos niveles establecidos para la pirámide de disfagia (Matsuo y Fujishima, 2020). Estos autores indican los valores de viscosidad para los líquidos que han sido espesados con goma xantana y que son usados en personas con disfagia.

En Australia, actualmente se está implantando la *International Dysphagia Diet Standardisation Initiative* (IDDSI) pero en este trabajo se ha decidido incluir los códigos de escalas que han sido usados antes de la adopción del IDDSI y que en algunos trabajos de investigación de ese país hacen referencia a códigos de dietas concretos. A este respecto Abu Zarim et al. (2021) realizaron una codificación para líquidos de tres códigos; 150, 400 y 900 según los valores de viscosidad en mPa. *Dietitians Association of Australia and The Speech Pathology Association of Australia Limited* (2007) codifica los alimentos sólidos en función del tamaño de partícula. Este es uno de los trabajos usado para realizar el código de dietas en el marco de IDDSI.

En la Tabla 7 se muestra un resumen de las escalas de valoración de textura de alimentos con más relevancia internacional, así como las equivalencias entre ellas siempre que es posible.

Tabla 7. Escalas y códigos usados para la modificación de alimentos líquidos y sólidos destinados a personas con disfagia.

Nombre de la escala	Escala										Referencia	
	Líquidos			Transición líquidos-sólidos			Transición de Sólidos					
IDDSI	0	1	2	3	4	5	6	7	7			
	Fina	Ligeramente espesa	Ligeramente espesa	Moderadamente espesa (licuada)	Extremadamente espesa (puré)	Picada y húmeda	Suave y tamaño bocado	Fácil de masticar	Normal		(Chichero et al., 2018)	
Pruebas:												
Flujo (mL)	1* <	1 > 4	4 > 8 <	8 > 10 <	> 10							
Inclinación de cuchara (C y A)					Cohesiva, no queda adherida a la cuchara y se vierte con facilidad	Mantiene su forma en la cuchara es bastante cohesiva, permanecer en la cuchara						
Tenedor (tamaño de partícula)						4 mm	1,5 cm	>1.5 cm	>1.5 cm			
Israel IDDSI	Fina	Ligeramente espesa	Ligeramente espesa	Moderadamente espesa (licuada)	Extremadamente espesa (puré)	Picada y húmeda/suave	Suave y tamaño bocado	Fácil de masticar/blando	Normal/duro		(Icht et al., 2018)	
Japón	Fina	Como néctar	Como miel		Espesa						(Watanabe et al., 2017)	
Viscosidad#/ tamaño de partícula	1-50	51-350	351-1750		>1750 Disfagia puré	Disfagia alteración mecánica (0,6cm)		Tamaño bocado (2,5cm)				
Pirámide de dieta para disfagia			0t. Líquido espesado. Aplicado a té o zumos de frutas		Oj Gelatina. Tragado sin necesidad de masticar	1i Espuma o pudín ingerido sin masticar	2-1 Suave y homogéneo (850mm)	2-2 Suave no homogéneo con granos suaves	3 Forma sólida puede ser roto incluso sin dientes	4 Se maneja con los dientes. Es difícil romper entre los dientes y el paladar		(Matsuo y Fujishima, 2020)
APT					2000-7000	0-12,000		<15,000	<40,000			
D					0,2-0,5	0,2-0,7		0,2-0,9	0-1.0			
C					<200	<300		<1000	1000			
A												
Japón							2	3	5			

Nombre de la escala	Escala										Referencia	
	Ligeramente espesa	Moderadamente espesa	Muy espesa	Tragado sin masticar	Puede ser tragado después de cortado en la boca	Puede tragada después de masticar	Sin masticar	Puede ser cortada con la lengua	Fácil de masticar			(Maksimenko, 2020; Matsuo y Fujushima, 2020)
Viscosidad #	50-150	150-300	300-500					4 Puede ser cortada con gomas				
Australia	150 Ligeramente espeso		400 Moderadamente espeso	900 Extremadamente espeso	C Puré suave	B Picado y húmedo	A Suave	Modificada normal				(Abu Zarim et al., 2021; Dietitians Association of Australia and The Speech Pathology Association of Australia Limited, 2007).
Viscosidad#/ tamaño de partícula	51-350		351-17500	>1750	NI	0,5cm	1,5 cm	1,5 cm				

IDDSI, International Dysphagia Diet Standardisation Initiative; APT. Análisis de Perfil de Textura: **D**, dureza (N/m^2); **C**, cohesividad, **A**, adhesividad (J/m^3)
 Para realizar la prueba de flujo por gravedad según el IDDSI se utiliza una jeringa estándar (ISO 7886-1, código 305959, 12 mL de capacidad y una longitud de 61,5 mm desde la línea que marca cero hasta la línea de 10 mL). Una vez retirado el émbolo de la jeringa y con esta en posición vertical, se tapa con un dedo la salida inferior y se ponen 10 mL del alimento a valorar; después se retira el dedo y se deja fluir/salir el alimento durante 10 segundos, momento en que vuelve a taparse la salida; se mide la cantidad residual del líquido o alimento. * ml residuales después de 10 segundos. Prueba de la cuchara, la cuchara se llena completamente y se gira delicadamente, el alimento tiene que mantener su forma y deslizarse completamente de la cuchara. #, unidades de viscosidad (mPas). **NI**, no indicada.

4.2. Métodos de modificación de la textura de los alimentos y su efecto sobre la textura y los cambios nutricionales

4.2.1. Adición de ingredientes

Como se verá a continuación, desde el punto de vista práctico, una de las formas más habituales de modificar la textura de alimentos líquidos o en puré es la adición de ingredientes espesantes. Existen en la literatura científica diversas revisiones sobre el uso de diferentes espesantes que hacen hincapié en aquellos de uso más frecuente y de los cuales suele haber presentaciones comercializadas de manera general.

Por otra parte, las bondades y defectos de estos ingredientes de uso común, entre los que cabe destacar la maltodextrina, el almidón modificado o la goma xantana, han sido ampliamente descritas en diferentes revisiones bibliográficas, siendo la más recientes las de Methacanon et al. (2021) y Raheem et al. (2021). Además, estos aditivos son utilizados como control o modelo contra los cuales se comparan los nuevos ingredientes que en la actualidad se están valorando.

Ingredientes de uso habitual

Como referencia inicial, a partir de las revisiones de Methacanon et al. (2021) y Raheem et al. (2021) se exponen las características de estos ingredientes de uso habitual, que sirven como referencia para el estudio de los nuevos ingredientes que se detallarán más adelante.

Almidón modificado

El almidón es preparado mediante un proceso de pregelatinización (para dar lugar a un pregel o almidón instantáneo), el cual consiste en secar rápidamente la papilla de almidón y triturarla hasta obtener un polvo fino. Con este proceso se consigue romper la estructura cristalina de los gránulos de almidón que han sido hinchados previamente al absorber agua. De esta manera, el almidón modificado resultante se puede hidratar y solubilizar rápidamente en agua fría. Sin embargo, este pregel tiene un bajo poder espesante y una baja tendencia a la gelificación, además de resultar de textura granulosa. Asimismo, le otorga cierta opacidad a las bebidas a las que se añade, lo que podría complicar la aceptación por parte del paciente. El almidón se puede producir a partir de diferentes alimentos (maíz, plátano, garbanzo, patata, trigo sarraceno, arroz, tapioca y sorgo, entre otros), aunque el más común es el obtenido a partir de maíz.

Diversos estudios seleccionados utilizan el almidón modificado como referencia para el estudio y desarrollo de nuevos ingredientes modificadores de textura (Ribes et al., 2022; Vieira et al., 2020).

Maltodextrina

Polisacárido con elevada capacidad espesante que, además, tiene la propiedad de no modificar el sabor original del alimento. Vieira et al. (2020) la utilizan como referencia a la hora de estudiar alternativas.

Goma xantana

La goma xantana, comparada con el almidón, se hidrata por completo más rápido y crea una mayor viscosidad con una cantidad menor. Además, se ve afectada menos por las condiciones ambientales,

como el pH, la fuerza iónica y la temperatura, por lo que su estabilidad a lo largo del tiempo es mayor. Esta es utilizada en algunos estudios como referencia (Abu Zarim et al., 2021; Vieira et al., 2020).

Goma guar

Es un galactomanano que se utiliza como espesante instantáneo, ya que se hidrata rápidamente en agua fría y para dar lugar a soluciones muy viscosas. Algunos autores proponen su utilización con otros ingredientes, por ejemplo, el concentrado de proteína de suero (Pagno et al., 2014).

Goma garrofín

Es otro galactomanano que es capaz de producir soluciones muy viscosas y funciona bien como espesante en líquidos calientes. Su aceptación por parte de pacientes con disfagia suele ser mayor debido a la textura pegajosa y cohesiva que otorga a los líquidos espesados lo que proporciona una sensación en la boca resbaladiza y viscosa.

Ingredientes de nuevo desarrollo

Fuentes alternativas de almidón (tapioca, sagú)

Syhariza y Yong (2017) utilizaron diferentes tipos de almidones (tapioca, sagú y una mezcla comercial a base de almidón modificado de maíz) para dar la consistencia deseada a unas gachas de arroz. El nivel de adición de los espesantes osciló entre el 1 y el 3 %. Los espesantes aumentaron la elasticidad de la mezcla y los parámetros de textura y viscosidad. De entre los aditivos estudiados, el almidón de sagú mostró resultados prometedores como alternativa al almidón de tapioca o incluso al almidón comercial, ya que proporcionó mayor viscosidad y elasticidad a las gachas de arroz.

Hidrolizado de proteína de soja

Mirazimi et al. (2022) utilizaron un hidrolizado de proteína de soja y agar para modificar la textura. Así, las modificaciones inducidas por la proteína de soja, que son notables, no son tan buenas en las propiedades reológicas como aquellas alcanzadas con la adición de agar. La interacción de este con los polisacáridos (almidón) de la preparación, hace que se forme una estructura tipo gel, con elasticidad y humedad suficiente (hidrocoloide).

Concentrado de proteína de suero

Pagno et al. (2014) desarrollaron un aditivo espesante con valor nutricional añadido para líquidos a partir de una mezcla de concentrado de proteína de suero, vitaminas y minerales y goma guar como agente espesante. Sin embargo, a pesar de la adición a diferentes niveles y de espera a diferentes tiempos, no se logró la consistencia de pudding y solamente se consiguió la de néctar, llegando en pocas ocasiones a la consistencia de miel. Por tanto, para conseguir un espesamiento mayor (pudding) sería necesaria más cantidad de aditivo o un tiempo de espera mayor.

Semillas de chía

Ribes et al. (2022) realizaron un estudio para valorar la capacidad espesante de semillas de chía humectadas, que aportan mucílago y que proponen como alternativa al uso de espesantes más comunes, como el almidón modificado. Estos autores compararon la adición almidón modificado de maíz al 1,5 % frente al mucílago de semillas de chía al 1 % sobre un alimento en puré a base de pechuga de pollo y verduras mezclados y cocinados. Se pretende alcanzar una viscosidad (η) de 2400 mPa·s

(equivalente a la textura pudding). El almidón modificado presenta el inconveniente de mostrar una elevada adhesividad y una disminución en la viscosidad durante el procesamiento oral. Sin embargo, el mucílago de las semillas de chías mantiene la viscosidad, lo que facilita la deglución. Las semillas de chía se presentan, por consiguiente, como una alternativa interesante al uso de almidón modificado.

Goma de lino

Vieira et al. (2020) comparan las propiedades de diferentes agentes espesantes: almidón modificado (pregelatinizado), goma de lino (o de linaza, extraída tras agitar las semillas en solución acuosa, limpiar la extracción con etanol, evaporar y liofilizar), goma xantana, mezcla comercial a base de goma xantana, maltodextrina y cloruro potásico, mezcla comercial a base de almidón modificado y maltodextrina. El objetivo de estos autores era desarrollar un espesante óptimo. Estos aditivos se añadieron a zumo de soja con sabor a naranja y leche desnatada. El comportamiento de viscosidad y coeficiente de fricción fue completamente diferente entre gomas (incluida la de linaza) y almidones modificados. Estos autores señalan que los componentes de los preparados comerciales interactúan entre ellos y que el resultado de la textura evolucionará dependiendo de la composición del alimento, aspecto que hasta este momento no ha sido suficientemente estudiado. En general, las gomas muestran una gran capacidad para hidratarse rápidamente (gracias a sus numerosas cadenas laterales), lo que explica sus excelentes propiedades lubricantes capaces de reducir el proceso de fricción. En particular, la goma de lino tiene características muy similares a la goma xantana, además de presentar un elevado valor nutricional, que debería ser tenido en cuenta a la hora de desarrollar nuevos productos.

Ingredientes de la comida como modificadores de textura: alubias, gluten de trigo, tofu

Watanabe et al. (2017) realizaron un estudio donde utilizaron diferentes alimentos de uso común en Japón para mejorar la textura de una comida a base de pechuga de pollo troceada y triturada antes del proceso de cocción. Posteriormente añadieron distintos ingredientes (alubias enlatadas, polvo de soja, tofu, tofu congelado y gluten de trigo horneado -yakifu-) hasta obtener la textura deseada. El procesamiento de los alimentos fue relativamente sencillo: las alubias (cocidas, enlatadas) y el gluten de yakifu fueron procesadas con una batidora, al tofu se le retiró parte del agua y el tofu congelado fue gratinado. La mezcla de cada uno de ellos con el pollo fue cocida añadiendo la cantidad necesaria de agua para poder llevar a cabo el procesamiento y obtener la textura deseada. Por su parte, Sabry et al. (2018) utilizan alimentos de bajo coste para preparar diferentes líquidos (leche entera, zumo de guayaba, zumo de tomate, yogur con fresa, sopa de lentejas, sopa de pollo, sopa de yute -molokhia-, yogur y natillas de chocolate) espesados con diferentes consistencias y viscosidades. Estos estudios abren la puerta a la mezcla de ingredientes de uso habitual como espesantes en condiciones de elaboración de comidas en el hogar o cuando existen límites en el uso de otros recursos.

4.2.2. Procesado mecánico

El procesado mecánico se emplea sobre todo en productos sólidos, y es utilizado en la mayoría de los estudios que se basan en estos productos (Abu Zarim et al., 2021; Peh et al., 2022; Pritchard et al., 2014; Rothenberg et al., 2007; Sharma et al., 2021; Sungsinchai et al., 2019; Watanabe et al., 2017) El método más habitual de procesado mecánico se basa en triturar los alimentos con una batidora hasta obtener una consistencia de puré. El puré puede definirse como una masa de consistencia homogénea

y espesa que mantiene su forma una vez servido y que durante la deglución no se separa en fases líquida y sólida, y con un tamaño máximo de partícula de 2 mm (Rothenberg et al., 2007). Durante el triturado puede añadirse líquido (agua o caldo) para llegar a la textura deseada (Pritchard et al., 2014).

El momento del procesado y los tiempos de aplicación son variables. Así, por ejemplo, mientras que (Abu Zarim et al., 2021) plantean la trituración del alimento (pechuga de pollo con verduras) en dos fases de 5 minutos: la primera fase es antes de la cocción del alimento y la segunda tras su cocción y enfriamiento. De forma paralela, Sharma et al. (2021) proponen para la elaboración de un puré de zanahorias un troceado previo a la cocción en olla a presión y un triturado posterior hasta la consistencia de puré. Por otra parte, Peh et al. (2022), que también elaboran un puré de zanahoria, lo trituran hasta la consistencia de puré una vez finalizada la cocción y el enfriamiento.

En comidas a base de carne y zanahorias, Rothenberg et al. (2007) proponen un troceado en piezas de 20 g (6 x 3 x 2 cm), cocción y posterior triturado para obtener la consistencia de puré y que, en todo caso no tenga partículas de un tamaño superior a 2 mm.

4.2.3. Nuevas tecnologías

Altas presiones

Entre las nuevas tecnologías utilizadas para la modificación de la textura de los alimentos podemos encontrar la aplicación de altas presiones. Esta técnica se caracteriza por aplicar una presión de 100 MPa o más sobre un alimento a través de un fluido de compresión. Es muy utilizada para inactivar microorganismos a baja temperatura en alimentos. Así, se pueden obtener productos que no sean degradados por un tratamiento con altas temperaturas y que no vean alterado su sabor, color y valor nutricional. Esta técnica se puede aplicar por tres métodos distintos (Maksimenko et al., 2020): altas presiones hidrostáticas (proceso estático en un recipiente), altas presiones hidrodinámicas (forzar un fluido a través de un chorro a alta presión) y ondas de choque (desarrollo de ondas de presión instantáneas de hasta 1 GPa).

Aunque su uso principal es el de la conservación de los alimentos, cada vez se utiliza más para cambiar la textura del producto manteniendo su valor nutricional. La modificación de la textura se consigue al alterar las proteínas miofibrilares obteniendo como resultado su desnaturalización, solubilización, agregación y/o gelificación. Esta alteración de la proteína es consecuencia de la ruptura de las interacciones electrostáticas e hidrofóbicas de las estructuras secundaria y terciaria de las moléculas de proteína. De esta manera se forman enlaces intra e intermoleculares mejorando la unión del agua y la estabilidad de los geles de carne modificando la textura y manteniendo su valor nutricional. Gracias a esta técnica, se pueden ofrecer productos saludables a las personas mayores, ya que se consigue reducir el contenido de sal, fosfato y/o grasa en los productos cárnicos.

Tabla 8. Resumen de modificadores de textura y su efecto sobre los alimentos.

Modificación de la textura	Cómo se modifica (qué ingrediente, tecnología)	Sobre qué alimentos se utiliza	Efecto sobre la textura del alimento	Efecto sobre el perfil nutricional del alimento	Referencia
Espesado por adición de ingredientes	Adición de goma xantana y de almidón de maíz	Puré hecho a base de pechuga de pollo especiada y triturada	Según pasa el tiempo de almacenamiento las propiedades viscoelásticas y de flujo se incrementan	Oxidación de lípidos y proteínas durante el almacenamiento (menor en la muestra con goma xantana por su capacidad antioxidante)	(Abu-Zarim et al., 2021)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de proteína de soja y agar	Puré de patata	La adición de agar mejora las propiedades reológicas en mayor medida que la soja	La adición de soja sirve para enriquecer nutricionalmente el puré	(Mirazimi et al., 2022)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de espesante comercial a base de almidón	Bebidas: agua, zumo de naranja, leche	Lograr textura néctar, miel y pudding Los zumos necesitan menos cantidad de espesante que la leche	-	(Nicholson et al., 2008)
Espesado por adición de ingredientes	Aditivo espesante a partir de concentrado de proteína de suero, vitaminas, minerales y goma guar	Líquidos	Se logró consistencia néctar. La miel en pocas ocasiones. Y la pudding no se logró	El preparado contribuye como suplemento de proteínas, vitaminas y minerales	(Pagno et al., 2014)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de diferentes espesantes: goma gellan, goma xantana, mezcla comercial de dextrina, polisacáridos, tehalosa y enzimas, mezcla comercial de maltodextrina, almidón de patata, cloruro potásico, mezcla comercial de almidón modificado a partir de maíz ceroso	Puré de zanahoria	Es necesario contar con directrices cuantitativas para los formuladores de espesantes comerciales a la hora de seleccionar los ingredientes adecuados y recomendar las concentraciones adecuadas para los usuarios.	-	(Peh et al., 2022)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de hidrocoloideos (almidón modificado, goma guar, goma tara, carboximetilcelulosa, mucílago de chíá)	Salsa española	Se consigue consistencia miel y pudding. Peores resultados de carboximetilcelulosa. Goma guar y mucílago de chíá alcanzan niveles óptimos de elasticidad, estabilidad estructural y resistencia	-	(Ribes et al., 202)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de semillas de chíá humectadas	Puré de pechuga de pollo con verduras	Durante el procesado oral, se mantiene la viscosidad gracias al mucílago de chíá	La estructura densa y compacta que se forma con el mucílago de chíá no dificulta la digestión de las proteínas, pero sí	(Ribes et al., 2022)

Modificación de la textura	Cómo se modifica (qué ingrediente, tecnología)	Sobre qué alimentos se utiliza	Efecto sobre la textura del alimento	Efecto sobre el perfil nutricional del alimento	Referencia
				disminuye la tasa de digestión del almidón de la dieta, lo que puede afectar a la absorción de la glucosa.	
Espesado por adición de ingredientes	Adición de Almidón modificado (pregelatinizado), goma de lino, goma xantana, mezcla comercial a base de goma xantana, maltodextrina y cloruro potásico, mezcla comercial a base de almidón modificado y maltodextrina	Zumo de soja con sabor a naranja y leche desnatada	Las gomas y los almidones modificados tuvieron un comportamiento en viscosidad y coeficiente de fricción diferente. La textura depende de la composición del alimento	La goma de lino posee un elevado valor nutricional.	(Vieira et al., 2020)
Espesado por adición de ingredientes	Almidones modificados	Recetas caseras	Consiguen texturas comparables a alimentos estándar	-	(Sabry et al., 2018)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de hidrocoloides: almidón modificado, goma xantana, carragenano, carboximetilcelulosa, pectina, goma gellan	Puré de zanahorias	El carragenano tiene una estructura muy rígida que tiene a fragmentarse. La carboximetilcelulosa tiene una estructura de gel débil que forma bolos fácilmente deglutibles. La pectina tiene un gel firme pero poco cohesivo en deformación, por lo que puede dificultar la deglución	Algunos hidrocoloides se deben añadir en cantidades mayores, lo que puede modificar el valor nutricional del alimento	(Sharma et al., 2017)
Espesado por adición de ingredientes	Adición de almidón de tapioca, almidón de sagú y una mezcla comercial de almidón modificado de maíz	Gachas de arroz	Todos aumentaron la elasticidad de la mezcla y la textura y viscosidad. Destaca el almidón de sagú	Es necesario estudiar el efecto de los espesantes sobre el valor nutricional del alimento, así como sobre el efecto de la temperatura y sobre el tiempo de almacenamiento	(Syahariza and Yong, 2017)
Adición de ingredientes + procesado	Se procesa el alimento (tritura, ablanda o caliente) y se añade el espesante (almidón modificado, gelatina)	Puré, pan, tomate	El puré consigue una textura parecida a la de una tortilla, y el pan y el tomate son gelificados	El puré se reconstituye con almidón modificado y huevo, por lo que enriquece nutricionalmente	(Stading, 2021)

Modificación de la textura	Cómo se modifica (qué ingrediente, tecnología)	Sobre qué alimentos se utiliza	Efecto sobre la textura del alimento	Efecto sobre el perfil nutricional del alimento	Referencia
Procesado mecánico	Alta presión hidrostática, alta presión, pulsos eléctricos, ultrasonidos.	Productos sólidos (carne, arroz, almidón y carbohidratos, así como de frutas y verduras)	Con las altas presiones se consigue ablandar los alimentos hasta alcanzar el nivel 4 de la IDDSI	-	Sungsinchai, 2019
Procesado mecánico	Triturar alimentos y añadir caldo para aclarar textura	Alimentos sólidos	Se trituran los alimentos sólidos hasta conseguir una textura modificada adecuada para cada caso	Al ser triturados los purés pueden ser enriquecidos	Pritchard, 2014
Procesado mecánico	Trocear piezas de alimentos de 20 g y procesarlo hasta textura puré	Alimentos sólidos	Se consigue un puré homogéneo y espeso que mantiene la forma y durante la deglución no se separa en fase sólida y líquida (partículas de 2 mm de tamaño máximo)	-	Rothenberg, 2007
Nuevas tecnologías	Impresión 3D	Puré de patatas	Modifican la textura añadiendo hidrolizado de soja y agar y posteriormente se imprime con una impresora 3D por extrusión.	La adición de soja sirve para enriquecer nutricionalmente el puré	Mirazimi, 2022

Impresión en 3D

La impresión tridimensional (3D) ha obtenido una gran consideración para la comida personalizada y el uso de esta tecnología se ha vuelto muy importante para las personas con necesidades nutricionales específicas, como los ancianos y las personas con dificultades para tragar. Mirazimi et al. (2022) y Xing et al. (2022) utilizan hidrolizado de proteína de soja y agar para modificar la textura, que después fueron impresos en una impresora 3D por extrusión. Las propiedades positivas resultado de la adición de agar, mermaron cuando el alimento se hizo pasar por un tamiz antes de darle forma en la impresora 3D (recomendado para evitar el bloqueo de los inyectores de la impresora). Por tanto, es necesario considerar este efecto negativo a la hora de utilizar impresoras 3D para el procesado de alimentos.

Otras técnicas

No obstante, existen otras técnicas de procesado que están empezando a utilizarse de manera experimental para preparar alimentos de textura modificada para pacientes con disfagia, tales como la aplicación de pulsos eléctricos o ultrasonidos. La información disponible hasta el momento en relación con la disfagia es escasa, si bien hay disponibles algunas revisiones sobre estas técnicas, sus efectos sobre los alimentos sólidos y su aplicación potencial (Sungsinchai et al., 2019; Wattanapan et al., 2021).

En la *Tabla 8* se muestra un resumen de los métodos de modificación de la textura de los alimentos y su efecto sobre la textura y los cambios nutricionales.

4.3. Efecto de la modificación de la textura sobre la composición química del alimento y su evolución en el tiempo

Hasta donde se ha podido revisar para la realización del presente TFM y en coincidencia con otros autores (Syahariza y Yong, 2017) existen muy pocos estudios que indaguen en el efecto de los agentes o técnicas de modificación de textura sobre el valor nutricional del alimento, sobre su evolución en el tiempo, así como sobre la temperatura de servicio y el tiempo de mantenimiento de los alimentos. Y, sin embargo, los pocos estudios que hay ponen de manifiesto la necesidad patente de estudiar estos aspectos en el futuro, ya que la obtención de la textura deseada pasa por la modificación a todos estos niveles del alimento y cabe esperar un proceso dinámico de evolución.

A continuación, se resumen los principales efectos recogidos en la bibliografía consultada.

Abu Zarim et al. (2021) estudiaron la evolución de la composición química de un alimento de textura modificada a base de pechuga de pollo triturada, cocida, vuelta a procesar y a la que se le había añadido goma xantana y almidón modificado antes de envasar y someter a esterilización en autoclave. Estudiaron la evolución hasta 6 meses tras el procesado (fabricación). Por lo que respecta a la microbiología, esta no varió, ya que se trató de alimentos esterilizados, en los cuales no se observó crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento.

En general, en relación con la estabilidad oxidativa (medida a través del estudio de las TBARS), los espesantes (goma xantana y almidón) protegen al alimento de la oxidación, consiguiendo que esta sea más lenta (Abu Zarim et al., 2021). Como se ha mencionado, los espesantes (carbohidratos) hacen que el color de los alimentos sea más oscuro, pero, por otra parte, ayudan a mantener los colores debidos

a los pigmentos (carotenoides), ya que reducen su exposición al oxígeno. En general, la goma xantana es más viscosa y ofrece más protección a los pigmentos (Abu Zarim et al., 2021).

La evolución del pH de los alimentos parece no variar en respuesta a la adición de espesantes. Así, Abu Zarim et al. (2021) señalan que los valores de este parámetro disminuyen con el tiempo de almacenamiento, sin que la modificación de la textura tenga un efecto principal sobre su evolución.

La adición de ingredientes para modificar la textura puede tener un efecto significativo sobre la composición nutricional del alimento. El caso más evidente lo representa la adición de otros alimentos sobre el alimento base para conseguir una textura determinada, condicionando así la composición química y el valor nutricional del producto final. Por ejemplo, Watanabe et al. (2017) modificaron la textura de un plato a base de pechuga de pollo troceada y triturada antes del proceso de cocción mediante la adición, posteriormente a la cocción, de otros ingredientes (alubias enlatadas, polvo de soja, tofu, tofu congelado y gluten de trigo horneado -yakifu-). La mezcla de cada uno de ellos con el pollo fue cocida añadiendo la cantidad necesaria de agua para poder llevar a cabo el procesado. Así, se obtuvieron diferentes combinaciones de alimentos con una textura similar pero con diferente composición nutricional.

En este mismo sentido, Vieira et al. (2020) proponen la utilización de goma de lino (o linaza), la cual tiene características espesantes muy similares a la goma xantana, además de presentar un elevado valor nutricional (fibra y ácidos grasos ricos en omega-3), que debería ser tenido en cuenta a la hora de desarrollar nuevos productos. Asimismo, mientras que algunos hidrocoloides se pueden añadir en cantidades muy pequeñas para conseguir una textura o viscosidad determinada, otros deben añadirse en mayor cantidad, lo que modifica necesariamente el valor nutricional del alimento. Por ejemplo, para conseguir la misma viscosidad en un puré de zanahoria es necesario añadir un 0,5 % de carboximetilcelulosa, pero hasta un 5 % de una mezcla comercial de almidón modificado y goma xantana (Sharma et al., 2017).

Un aspecto raramente considerado es que la adición de ingredientes para modificar la textura podría tener efectos sobre la digestibilidad del alimento, aspecto que no ha sido prácticamente estudiado. El único trabajo encontrado al respecto es el de Ribes et al. (2022). Estos autores señalan que, en comparación con el almidón modificado de maíz, el mucílago de las semillas de chía no modifica la digestibilidad de las proteínas de un puré a base de pechuga de pollo y verduras. Sin embargo, el mucílago disminuye la tasa de digestión del almidón de la dieta, lo que podría afectar a la absorción de glucosa (Ribes et al., 2022).

Finalmente, y de una manera general, conviene también tener en cuenta que la modificación de la textura de los alimentos puede afectar a la biodisponibilidad de determinados micronutrientes (por ejemplo, vitamina B12, C, D, ácido fólico). En este sentido, Rodd et al. (2021) pusieron de manifiesto que el empleo de largos tiempos de cocción para lograr texturas más suaves aceleraba la degradación de micronutrientes, disminuyendo por tanto su biodisponibilidad para el paciente.

4.4. Valoración del efecto de la textura modificada sobre la habilidad para la deglución y el procesamiento oral

La revisión realizada ha permitido constatar que cada vez es más frecuente que los estudios centrados en el desarrollo de modificaciones en la textura de los alimentos tengan en cuenta las opiniones de

paneles de cata entrenados. Solamente de esta forma es posible valorar de manera objetiva y cercana a la realidad de los pacientes con disfagia las posibilidades que tiene el alimento con textura modificada para ser deglutido.

En este sentido, Ribes et al. (2021) realizaron una prueba con un panel semientrenado de catadores, que valoraron color, consistencia, flavor y facilidad de deglución. En general, las bebidas modificadas con adición de gel de yema, almidón modificado y carboximetilcelulosa con consistencia de pudding muestran las mejores puntuaciones en color, flavor y facilidad de deglución. Por su parte, las bebidas elaboradas con mucílago de semillas de chía presentaron menores puntuaciones (menor aceptabilidad) de color, flavor, consistencia, facilidad de deglución y aceptación global que las bebidas modificadas con los otros agentes texturizantes.

Como se ha visto, las determinaciones instrumentales guardan cierta relación con la apreciación sensorial por parte de los catadores. Así, Vieira et al. (2020) observaron que el coeficiente de fricción determinado por tribología se correlaciona con aspectos sensoriales de la deglución y evidencian diferencias claras entre las gomas y los almidones modificados en relación a su textura en el paladar. Así, mientras que los almidones modificados se perciben como densos, la goma xantana ofrece una sensación de untuosidad. Aunque puede existir una relación directa en algunos casos entre coeficiente de fricción y viscosidad, en el caso de las gomas (xantana) hay una disminución del coeficiente de fricción asociado a un aumento en la viscosidad. Es conveniente recordar que cada biopolímero que se incorpora a un alimento para modificar su textura, interacciona con el resto de ingredientes, como también lo hace con el resto de biopolímeros que se incluyen como modificadores (este es el caso de productos comerciales donde se mezclan almidones modificados con distintos tipos de gomas). En general, las gomas tienen mayor capacidad de lubricación y muestran menores coeficientes de fricción (tribología) que los almidones modificados. Así, estas contribuyen a evitar la sensación pegajosa al tragar que sí pueden provocar los almidones (Vieira et al., 2020).

5. Conclusiones

La revisión bibliográfica realizada ha puesto de manifiesto que existen evidencias científicas recientes que muestran en base a parámetros instrumentales adecuadamente definidos cómo se modifica la textura de los alimentos para adaptarlos a pacientes con disfagia.

Los métodos utilizados de manera más habitual para modificar los alimentos pasan generalmente por un procesado mecánico previo en el caso de los alimentos sólidos y por una adición de ingredientes, normalmente espesantes, para dar cohesividad al alimento que será deglutido. Los ingredientes comúnmente utilizados son almidón modificado, maltodextrina, goma xantana, goma guar y goma garrofín. Existen, además, otros ingredientes de nuevo desarrollo, tales como fuentes alternativas de almidón, hidrolizado de proteína de soja, concentrado de proteína de suero, semillas de chía o la goma de lino. Asimismo, diversos estudios valoran la utilización de alimentos de uso común (como por ejemplo las alubias o el gluten) para modificar la textura de otros alimentos (fundamentalmente purés de carne o pescado y verduras). Cabe destacar que se está explorando la posibilidad de utilización de nuevas técnicas como las altas presiones, la impresión en 3D, los ultrasonidos o los pulsos eléctricos.

La información sobre los cambios en la composición nutricional de los alimentos de textura modificada es más bien escasa, aunque varios estudios apuntan que es un aspecto que debe considerarse, habida

cuenta de algunos ingredientes se añaden en cantidades nada despreciables (hasta el 5 %) que modifican necesariamente la composición química del alimento. Asimismo, diversos ingredientes de nuevo uso, como las semillas de chía o la goma de lino ofrecen la posibilidad de mejorar el perfil nutricional de los alimentos a los cuales se añaden.

Entre los parámetros instrumentales que se miden para valorar el concepto general de textura de los alimentos cabe destacar los siguientes: análisis del perfil de textura, viscosidad, elasticidad, densidad, plasticidad, tixotropía, lubricación, fricción y desgaste. El conjunto de estos parámetros permitiría definir de manera clara el comportamiento de un alimento y su susceptibilidad a ser masticado (cuando sea necesario) y deglutido de manera segura por pacientes con disfagia.

Adicionalmente se han definido una serie de atributos sensoriales para permitir una descripción de los alimentos por parte de catadores (paneles de cata entrenados o semientrenados) que permita clasificarlos en función de su aptitud para ser consumidos por pacientes con disfagia. Entre estos atributos cabe destacar los siguientes: densidad, suavidad, adhesividad, cohesividad, untuosidad, granulosis, espesura, finura, firmeza, velocidad de descomposición, dificultad para deglutir.

Si bien de manera incipiente, se constata que algunos estudios están intentando relacionar los parámetros medidos instrumentalmente con los atributos sensoriales. Los resultados son muy variables hasta el momento, ya que varían en función del tipo de alimento, los parámetros medidos, la definición de los atributos y la idiosincrasia del panel de catadores.

La evolución en el tiempo del alimento una vez modificado, así como la respuesta de este a cambios en la temperatura (calentamiento-enfriamiento) y el tiempo de almacenamiento no han sido suficientemente estudiados hasta el momento.

Finalmente conviene destacar que existen diferentes escalas y códigos utilizados para valorar la modificación de la textura de alimentos líquidos y sólidos destinados a personas con disfagia. Si bien estas escalas son diferentes en función de los países y los autores que las hayan desarrollado, en este trabajo fin de máster se ha establecido una relación de equivalencia entre las más relevantes. De entre estas escalas destaca la conocida como IDDSI tiende a implantarse de manera internacional por su carácter práctico y facilidad de interpretación y utilización.

6. Bibliografía

- Abu Zarim, N., Zainul Abidin, S., & Ariffin, F. (2021). Shelf life stability and quality study of texture-modified chicken rendang using xanthan gum as thickener for the consumption of the elderly with dysphagia. *Food Bioscience*, 42, 101054. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101054>
- Ahn, E., & Kang, H. (2018). Introduction to systematic review and meta-analysis. *Korean Journal of Anesthesiology*, 71(2), 103-112. <https://doi.org/10.4097/kjae.2018.71.2.103>
- Cichero, J. A. Y. (2020). Evaluating chewing function: Expanding the dysphagia field using food oral processing and the IDDSI framework. *Journal of Texture Studies*, 51(1), 56-66. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12462>
- Cichero, J. A. Y., Lam, P., Steele, C., Hanson, B., Chen, J., & Dantas, R. et al. (2016). Development of International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Fluids Used in Dysphagia Management: The IDDSI Framework. *Dysphagia*, 32(2), 293-314. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9758-y>

- Cichero, J.A.Y. (2018). Age-related changes to eating and swallowing impact frailty: aspiration, choking risk, modified food texture and autonomy of choice. *Geriatrics*, 3, 69.
<https://doi.org/10.3390/geriatrics3040069>
- Dietitians Association of Australia and The Speech Pathology Association of Australia Limited (2007). Texture-modified foods and thickened fluids as used for individuals with dysphagia: Australian standardised labels and definitions. *Nutrition & Dietetics*, 64 (Suppl. 2), S53–S76.
<https://doi.org/10.1111/j.1747-0080.2007.00153.x>
- Farrer, O., Olsen, C., Mousley, K., & Teo, E. (2016). Does presentation of smooth pureed meals improve patients consumption in an acute care setting: a pilot study. *Nutrition and Dietetics*, 73(5), 405-409. <https://doi.org/10.1111/1747-0080.12198>
- Ferreira González, I., Urrutia, G., & Alonso-Coello, P. (2011). Revisión sistemática y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española De Cardiología*, 64(8), 688-696.
<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029>
- González de Dios, F. J. G. de, & Santamaría, A. B. (2007). Revisión sistemática y metanálisis (I): Conceptos básicos. *Evidencias en pediatría*, 3(4), 21.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3172624>
- González de Dios, J., & Balaguer, A. (2008). Revisión sistemática y metanálisis (II): Evaluación crítica de la revisión sistemática y metanálisis. *Evidencias En Pediatría, ISSN 1885-7388, Vol. 4, Nº. 1, 2008, 4*.
- Guénard-Lampron, V., Masson, M., & Blumenthal, D. (2021). Critical review of sensory texture descriptors: From pureed to transitional foods for dysphagia patients. *Journal Of Texture Studies*, 52(5-6), 665-678. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12604>
- Ibañez, F. C., Merino, G., Marín-Arroyo, M. R., & Beriain, M. J. (2022). Instrumental and sensory techniques to characterize the texture of foods suitable for dysphagic people: A systematic review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21, 2738–2771.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12957>
- Icht, M., Bergerzon-Bitton, O., Kachal, J., Goldsmith, R., Herzberg, O., & Endevelt, R. (2018). Texture modified foods and thickened fluids used in dysphagia: Israeli standardised terminology and definitions. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31, 742-746.
<https://doi.org/10.1111/jhn.12581>
- IDDSI – Complete IDDSI framework. [Iddsi.org](https://iddsi.org). (2019). Retrieved 13 July 2022, from https://iddsi.org/IDDSI/media/images/Complete_IDDSI_Framework_Final_31July2019.pdf
- Macosko, C. W. (1994). *Rheology: Principles, measurements and applications*. Wiley-VCH.
- Maksimenko, A., Lyude, A., & Nishiumi, T. (2020). Texture-modified foods for the elderly and people with dysphagia: insights from Japan on the current status of regulations and opportunities of the high pressure technology. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 548(2), 022106. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/2/022106>
- Malagelada, J.R., Bazzoli, F., Boeckxstaens, G., De Looze, D., Fried, M., Kahrilas, P., Lindberg, G., Malfertheiner, P., Salis, G., Sharma, P., Sifrim, D., Vakil, N., & Le Mair, A. (2015). World Gastroenterology Organisation Global Guidelines. Dysphagia—Global Guidelines and Cascades. Update September 2014. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 49(5), 370-378.
<https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000307>
- Martínez, G. O., Velez, De Z. M.I, Uxue Galarza, I. I., Vicente, M., M.S., De Vega, Ca, M.C., Salmerón E. J. (2016). Efecto de las variables de preparación sobre la textura en alimentos adaptados para pacientes con disfagia. *Nutrición Hospitalaria*, 33(2):368-372.
<https://dx.doi.org/10.20960/nh.118>.

- Matsuo, K., & Fujishima, I. (2020). Textural Changes by Mastication and Proper Food Texture for Patients with Oropharyngeal Dysphagia. *Nutrients*, 12(6), 1613. <https://doi.org/10.3390/nu12061613>
- Methacanon, P., Gamonpilas, C., Kongjaroen, A., & Buathongjan, C. (2021). Food polysaccharides and roles of rheology and tribology in rational design of thickened liquids for oropharyngeal dysphagia: A review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 20(4), 4101-4119. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12791>
- Mirazimi, F., Saldo, J., Sepulcre, F., Gràcia, A., & Pujola, M. (2022). Enriched puree potato with soy protein for dysphagia patients by using 3D printing. *Food Frontiers*. <https://doi.org/10.1002/fft2.149>
- Newman, R., Vilardell, N., Clave, P., & Speyer, R. (2016). Effect of bolus viscosity on the safety and efficacy of swallowing and the kinematics of the swallow response in patients with oropharyngeal dysphagia: White paper by the European Society for Swallowing Disorders. *Dysphagia*, 31 (2), 232–249. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9696-8>
- Ney, D. M., Weiss, J. M., Kind, A. J., & Robbins, J. (2009). Senescent swallowing: Impact, strategies, and interventions. *Nutrition in Clinical Practice*, 24(3), 395–413. <https://doi.org/10.1177/0884533609332005>
- Nicholson, T., Torley, P., Cichero, J., Co, A., Leal, G., Colby, R., & Giacomini, A. (2008). The Measurement of Thickened Liquids Used for the Management of Dysphagia. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.2964788>
- Padovani, A. R., Moraes, D. P., Mangili, L. D., & Andrade, C. R. F. (2007). Protocolo fonoaudiológico de avaliação do risco para disfagia (PARD). *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, 12(3), 199-205. <https://doi.org/10.1590/S1516-80342007000300007>
- Pagno, C., Souza, L., Flores, S., & Jong, E. (2014). Desenvolvimento de espessante alimentar com valor nutricional agregado, destinado ao manejo da disfagia. *Ciência Rural*, 44(4), 710-716. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782014000400023>
- Peh, J., Lim, W., Tha Goh, K., & Dharmawan, J. (2022). Correlation between instrumental and sensory properties of texture-modified carrot puree. *Journal Of Texture Studies*, 53(1), 72-80. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12658>
- Pematilleke, N., Kaur, M., Adhikari, B., & Torley, P. (2022). Instrumental method for International Dysphagia Diet Standardisation Initiative's (IDDSI) standard fork pressure test. *Journal Of Food Engineering*, 326, 111040. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111040>
- Pritchard, S., Davidson, I., Jones, J., & Bannerman, E. (2014). A randomised trial of the impact of energy density and texture of a meal on food and energy intake, satiation, satiety, appetite and palatability responses in healthy adults. *Clinical Nutrition*, 33(5), 768-775. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.10.014>
- Raheem, D., Carrascosa, C., Ramos, F., Saraiva, A., & Raposo, A. (2021). Texture-Modified Food for Dysphagic Patients: A Comprehensive Review. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 18(10), 5125. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105125>
- Ribes, S., Estarriaga, R., Grau, R., & Talens, P. (2021). Physical, sensory, and simulated mastication properties of texture-modified Spanish sauce using different texturing agents. *Food & Function*, 12(17), 8181-8195. <https://doi.org/10.1039/d1fo00742d>
- Ribes, S., Gallego, M., Barat, J., Grau, R., & Talens, P. (2022). Impact of chia seed mucilage on technological, sensory, and in vitro digestibility properties of a texture-modified puree. *Journal Of Functional Foods*, 89, 104943. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104943>
- Rodd, B., Tas, A., & Taylor, K. (2021). Dysphagia, texture modification, the elderly and micronutrient deficiency: a review. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1913571>

- Rothenberg, E., Ekman, S., Bülow, M., Möller, K., Svantesson, J., & Wendin, K. (2007). Texture-modified meat and carrot products for elderly people with dysphagia: preference in relation to health and oral status. *Scandinavian Journal Of Food And Nutrition*, 51(4), 141-147. <https://doi.org/10.1080/17482970701760675>
- Sabry, A., Abdelghany, A., Coyle, J., El-Mitwalli, A., & Abou-Elsaad, T. (2018). Developing Viscosity Modelling for Traditional Liquids in Egypt. *Folia Phoniatica Et Logopaedica*, 70(1), 37-43. <https://doi.org/10.1159/000487235>
- Sharma, M., Kristo, E., Corredig, M., & Duizer, L. (2017). Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures. *Food Hydrocolloids*, 63, 478–487. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>
- Sharma, M., Pondicherry, K., & Duizer, L. (2021). Understanding relations between rheology, tribology, and sensory perception of modified texture foods. *Journal Of Texture Studies*, 53(3), 327-344. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12656>
- Stading, M. (2021). Physical properties of a model set of solid, texture-modified foods. *Journal Of Texture Studies*, 52(5-6), 578-586. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12592>
- Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Wattanapan, P., Charoentachitrakool, M., & 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(6), 1898-1912. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12495>
- Syahariza, Z. A., & Yong, H. Y. (2017). Evaluation of rheological and textural properties of texture-modified rice porridge using tapioca and sago starch as thickener. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1586–1591. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9538-x>
- Syahariza, Z., & Yong, H. (2017). Evaluation of rheological and textural properties of texture-modified rice porridge using tapioca and sago starch as thickener. *Journal Of Food Measurement And Characterization*, 11(4), 1586-1591. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9538-x>
- Vieira, J., Oliveira, F., Salvaro, D., Maffezzolli, G., de Mello, J., Vicente, A., & Cunha, R. (2020). Rheology and soft tribology of thickened dispersions aiming the development of oropharyngeal dysphagia-oriented products. *Current Research In Food Science*, 3, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.02.001>
- Watanabe, E., Maeno, M., Kayashita, J., Miyamoto, K., & Kogirima, M. (2017). Cooking Methods for a Soft Diet Using Chicken Based on Food Texture Analysis. *Journal Of Nutritional Science And Vitaminology*, 63(4), 256-262. <https://doi.org/10.3177/jnsv.63.256>
- Wattanapan, P., Saengnil, T., Niamnuy, C., Paphangkorakit, J., & Devahastin, S. (2021). Textural properties and muscle activities during mastication of normal and ultrasonically softened sticky rice aimed for consumers with swallowing disorder: A pilot study. *Journal Of Texture Studies*, 52(5-6), 561-566. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12631>
- Xing, X., Chitrakar, B., Hati, S., Xie, S., Li, H., & Li, C. et al. (2022). Development of black fungus-based 3D printed foods as dysphagia diet: Effect of gums incorporation. *Food Hydrocolloids*, 123, 107173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107173>