



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

CARACTERIZACIÓN TEXTURAL DE TRES ALIMENTOS
MODIFICADOS ENZIMÁTICAMENTE. EFECTO DE SU
INTERACCIÓN

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Rodríguez-Hesles Vich, Ana

Tutor/a: Grau Meló, Raúl

Cotutor/a: Talens Oliag, Pau

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL

CARACTERIZACIÓN TEXTURAL DE TRES ALIMENTOS MODIFICADOS ENZIMÁTICAMENTE. EFECTO DE SU INTERACCIÓN

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Rodríguez-Hesles Vich, Ana

Tutor/a: Grau Meló, Raúl

Cotutor/a: Talens Oliag, Pau

Curso Académico: 2022-2023

Valencia, septiembre 2023

CARACTERIZACIÓN TEXTURAL DE TRES ALIMENTOS MODIFICADOS ENZIMÁTICAMENTE. EFECTO DE SU INTERACCIÓN

RESUMEN

La disfagia y los problemas de masticación son condiciones que afectan la capacidad de las personas para tragar y masticar adecuadamente los alimentos. Estas pueden tener un impacto significativo en la calidad de vida de las personas, dificultando la ingesta de alimentos y pudiendo causar problemas de nutrición.

El método más utilizado en la actualidad para la preparación de alimentos destinados a este sector de población se basa en el triturado de estos y su espesado utilizando espesantes. Este método, aunque es barato y seguro presenta un gran inconveniente, hace poco atractivos a los alimentos, lo que puede conllevar una falta de apetito y por tanto un problema de desnutrición.

En los últimos años, han aumentado los estudios sobre las enzimas y con ello su utilización para la modificación de la textura de los alimentos puesto que pueden permitir alterar de manera controlada la estructura y textura de los alimentos.

En estudios previos realizados por el grupo de investigación en el que se enmarca el presente Trabajo Final de Grado, se ha logrado obtener alimentos muy blandos manteniendo su integridad visual para que sean atractivos para poblaciones con problemas de masticación como la disfagia. En el caso de alimentos sólidos esto se logró mediante el empleo controlado de enzimas y utilizando gelificantes – espesantes en el caso de los líquidos. Con estos estudios, los alimentos obtenidos eran aptos para este tipo de población cuando se consumían individualmente, pero se planteó la duda de si podrían ser consumidos combinados entre ellos, dado que este grupo de población necesita que la textura de los alimentos sea lo más uniforme posible.

Por ello en el presente trabajo se planteó modificar texturalmente tres alimentos hasta conseguir una dureza uniforme con el fin de evaluar el efecto que puede tener la disposición de cada uno de los componentes (alimentos) cuando se evalúa su textura en conjunto, mediante técnicas texturales y de imagen.

Para realizar la experiencia, primero se modificaron enzimáticamente muestras de calabaza cacahuete, caldo de pollo y solomillo de cerdo hasta obtener fuerzas máximas (N) medidas con el texturómetro de entre 4,5 y 6 N. Estas muestras posteriormente fueron combinadas en un mismo recipiente (cada combinación con una disposición diferente de los 3 alimentos) y finalmente fueron medidas mediante un ensayo de compresión que fue grabado en vídeo.

A partir de los datos de textura y los datos obtenidos en el análisis de las imágenes, se observó que la disposición de los componentes en la muestra no influye en las fuerzas máximas registradas. Sin embargo, los resultados evidencian que cada alimento tiene un comportamiento textural diferente durante el ensayo de compresión y que éste se mantiene en las muestras combinadas. De modo que, 3 alimentos que han sido texturalmente modificados para tener una dureza muy similar, la fuerza máxima registrada se mantiene respecto a las muestras individuales, pero el comportamiento textural de cada componente difiere, haciendo que la muestra combinada no sea homogénea, lo que podría conllevar problemas de tragado para este tipo de población.

Palabras clave: alimentos texturalmente modificados, enzima, textura, análisis de imagen, disfagia.

ABSTRACT

Dysphagia and chewing problems are conditions that affect people's ability to properly swallow and chew food. These can have a significant impact on people's quality of life, as they make food intake difficult and can lead to nutrition problems.

The most widely used method today for the preparation of food for this sector of the population is based on the crushing of these and their thickening using thickeners. This method, although it is cheap and safe, has a great drawback and is that it makes food unattractive, which can lead to a lack of appetite and therefore a problem of malnutrition.

In recent years, studies have increased on enzymes and with it their use for the modification of the texture of food since they can allow to alter in a controlled way the structure and texture of food.

In previous studies carried out by the research group, it has been possible to obtain very soft foods that maintain their visual integrity so that they are attractive to populations with chewing problems. In the case of solids this was achieved through the controlled use of enzymes and using gelling agents – thickeners in the case of liquids. With these studies, foods combined in a dish were suitable for this type of population, but the question was raised as to whether they can be for any of the degrees of dysphasia, since this type of population needs the texture of the food to be as uniform as possible.

That is why in the present work it was proposed to modify texturally three foods until achieving a uniform hardness to evaluate the effect that the disposition of each of the components (foods) can have when their texture is evaluated as a whole by textural and image techniques.

To carry out the experiment, samples of peanut squash, chicken broth and pork tenderloin were first enzymatically modified to obtain maximum forces (N) measured with the texturometer between 4.5 and 6 N. These samples were then combined in the same container (each combination with a different arrangement of the 3 foods) and finally were measured by a compression test that was recorded on video.

From the texture data and the data obtained in the analysis of the images it was observed that the arrangement of the components in the sample does not influence the maximum forces recorded. However, the results show that each food has a different textural behavior during the compression test, and this is maintained in the combined samples. So, samples made combining 3 foods that have been texturally modified to have a very similar hardness, the maximum strength recorded is maintained like in the individual samples, but the textural behavior of each component is different, which means that the combined sample is not homogeneous, which could be a problem for people with a certain degree of dysphagia.

Key words: texturally modified foods, enzyme, texture, image analysis, dysphagia.

AUTOR/A: Rodríguez-Hesles Vich, Ana

Tutor/a: Grau Meló, Raúl

Cotutor/a: Talens Oliag, Pau

Valencia, septiembre 2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, un especial agradecimiento a mi familia, por su apoyo, confianza, ayuda y ánimos desde el inicio de estos 4 cursos académicos.

También a mis amigas, las que han estado conmigo desde el primer minuto hasta el último, me siento muy afortunada de haberos conocido y de que hayamos estado juntas siempre, para todo. Nos hemos ayudado, hemos reído, hemos aprendido, hemos crecido, nos hemos animado y dado fuerzas las unas a las otras cuando más lo necesitábamos. Lo hemos conseguido y salvado juntas.

Un gran agradecimiento a Raúl, mi tutor, por todo lo que me ha enseñado durante estos meses de realización del TFG, por su ayuda continua y por su implicación y esfuerzo.

Por último, a los profesores por su ayuda y conocimientos, y a la ETSEAMN por las oportunidades que brinda durante la realización de los estudios como las prácticas en empresa y los programas de movilidad. Porque gracias a estas experiencias he podido crecer como persona y como profesional, he aprendido mucho y he disfrutado rodeada de personas maravillosas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GENERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. MATERIALES Y MÉTODOS	2
3.1. MATERIAS PRIMAS Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS	2
3.2. ANÁLISIS DE TEXTURA	5
3.3. ANÁLISIS DE IMAGEN	5
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
4.1. CARACTERIZACIÓN TEXTURAL INDIVIDUAL DE LOS COMPONENTES	6
4.2. ESTUDIO DEL EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES	8
4.2.1. Estudio de los parámetros de textura	8
4.2.2. Estudio del análisis de imagen de los ensayos de compresión	10
5. CONCLUSIONES	14
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Imágenes del inicio y resultado de la preparación de las muestras de carne.....	3
Figura 2.	Imágenes del inicio y resultado de la preparación de las muestras de calabaza.....	4
Figura 3.	Imágenes del inicio y resultado de la preparación de las muestras de caldo.....	4
Figura 4.	Representación de la disposición de las muestras para los ensayos.....	5
	a: Muestra de carne	
	b: Muestras combinadas (A, B, C, D, E y F)	
Figura 5.	Esquematización de las medidas de imagen realizadas a las imágenes capturadas durante el ensayo de textura.....	6
Figura 6.	Valores promedios y errores estándares de los datos de fuerza máxima (Fmax) y área positiva (Área +), obtenidos para los ensayos de compresión realizados a muestras individuales de calabaza (Cb), caldo (Cd) y carne (Ca).....	7
Figura 7.	Representación gráfica de la Fuerza (N) respecto al Tiempo (s) en los ensayos de compresión de las muestras individuales de carne (Ca), calabaza (Cb) y caldo (Cd).....	8
Figura 8.	Valores promedios y errores estándares de fuerza máxima (Fmax) y área positiva (Area +), para los ensayos de compresión realizados sobre las muestras combinadas (A, B, C, D, E y F).....	9
Figura 9.	Curvas Fuerza (N) vs Tiempo (s) para las muestras combinadas ordenadas en función de la situación de la carne en su interior.....	10
Figura 10.	Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada A.....	10
	A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s).	
	B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s).	
Figura 11.	Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada B.....	12
	A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s).	
	B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s).	
Figura 12.	Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada C.....	12
	A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s).	
	B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s).	
Figura 13.	Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada D.....	13
	A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s).	
	B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s).	
Figura 14.	Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada E.....	13
	A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s).	
	B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s).	

- Figura 15.** Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada F..... **14**
- A:** Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s).
- B:** Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s).

1. INTRODUCCIÓN

La masticación y la deglución son procesos fundamentales para nuestra salud y bienestar, ya que, nos permiten ingerir alimentos y líquidos de manera segura y efectiva. Sin embargo, en los últimos años se ha observado un aumento en el número de pacientes con problemas de masticación y disfagia, debida también al aumento del porcentaje de personas mayores en la población (Eom et al., 2018).

La disfagia está definida como la dificultad para tragar debido a una deficiencia de alguna de las cuatro etapas de la deglución (González y Bevilacqua, 2009). La alimentación de una persona con problemas de masticación o disfagia implica adaptar la dieta ingiriendo alimentos triturados, de texturas blandas y homogéneas para evitar atragantamientos, los denominados alimentos con textura modificada (ATM). De este modo, se busca una ingesta de la alimentación adecuada pero texturalmente modificada para garantizar la seguridad y nutrición de los pacientes.

En función de su estado físico, los alimentos pueden clasificarse en alimentos líquidos o fluidos, alimentos semisólidos, alimentos sólidos blandos y alimentos sólidos duros (Koç et al., 2013). Ante la dificultad para tragar un alimento en estado líquido, la principal estrategia a seguir es modificar su viscosidad, evitando así la consistencia líquida. Para espesar los fluidos fundamentalmente se están empleando hidrocoloides (proteínas y polisacáridos) (Aguilera y Park, 2016; Nishinari et al., 2016; Funami, 2017).

Ante la dificultad para tragar y/o masticar alimentos sólidos, la estrategia a seguir se centra en adaptar la consistencia de los sólidos evitando en todo momento el consumo de alimentos de riesgo, los cuales dificultan la formación del bolo. La forma más rápida y sencilla de conseguir una consistencia adecuada y segura para este tipo de productos es a través de la obtención de cremas o purés, pero estos alimentos triturados tienen diversos inconvenientes entre los que destacan el menor aporte nutricional e hídrico, frente a los alimentos que incluyen todas sus texturas y consistencias, así como el efecto negativo que genera desde el punto de vista psicosocial una dieta basada en cremas o purés. Hay que tener en cuenta que el comer y beber son actividades sociales y experiencias placenteras que forman parte de la vida humana. De entre las diferentes técnicas que se están estudiando con la finalidad de obtener ATM con integridad visual (aparentemente con estructura poco alterada) están los tratamientos enzimáticos aplicados para debilitar las paredes celulares o los tejidos estructurales (Eom et al., 2018) combinados o no con procesos de congelación-descongelación (con o sin infusión enzimática) (Shibata et al., 2010; Nakatsu et al., 2012 y 2014). De entre los enzimas más utilizados, se encuentran aquellos con actividad metilesterasa, poligalacturonasa y β -galactosidasa que degradan los polímeros de la pared celular de los vegetales, provocando separación celular y, por lo tanto, el ablandamiento de estos tejidos y su textura (Eom et al., 2018). O aquellos que actúan sobre las proteínas de la carne como son la papaína y la bromelina (Israti, 2008; Takei et al., 2015).

En base a lo expuesto, en 2019 a través del proyecto “Avances en el diseño de alimentos con textura modificada. ALITEMO, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidad, el grupo de trabajo en el que está inmerso el presente Trabajo Final de Grado, puso a punto mediante el empleo de hidrocoloides y de enzimas, metodologías para obtener ATM con texturas muy blandas, que podían ser clasificados por la International Dysphagia Diet Standardization Initiative (IDDSI) como purés nivel 4 y por tanto aptos para este tipo de población. Los alimentos desarrollados estaban estudiados y evaluados para ser consumidos individualmente, uno a uno, dado que este grupo poblacional no puede consumir alimentos con dobles texturas. Es por ello que se planteó la duda de si podrían ser consumidos combinados entre ellos y por tanto, la necesidad de evaluar inicialmente la posible presencia de dobles texturas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo principal del presente trabajo es el estudio de la influencia, en las características globales de textura, de la disposición de tres alimentos, calabaza, carne y caldo, texturalmente modificados para tener la misma dureza.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterización textural de los alimentos individualmente
- Evaluar el comportamiento de los 3 alimentos texturalmente modificados en función del orden en el que se disponen en una muestra combinada.
- Evaluar si la aplicación de técnicas de imagen puede mejorar la información aportada por estudios texturales

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materias primas y preparación de muestras

Para el estudio se utilizaron calabaza cacahuete (Cb), caldo de pollo comercial (Hacendado) (Cd) y solomillo de cerdo (Ca) obtenidos de un supermercado de la zona.

La modificación textural de la carne se realizó utilizando las enzimas Papaína (30000 USP de actividad) y Transglutaminasa (Probind® MB 1.0 - 50 TGU/g) adquiridas de la empresa Biocon S.L. (Les Franqueses de Vallés, España).

Para modificar texturalmente el caldo se utilizó como espesante Goma Guar (EPSA, Valencia, España).

La textura de la calabaza se modificó mediante el empleo del complejo enzimático comercial Enozym Vintage (Agrovin, Ciudad Real, España), con actividad poligalacturonasa (PG), pectín metil esterasa (PME), y pectín liasa (PL).

Para la preparación de las muestras con la finalidad de obtener texturas con una dureza de en torno a 5 N en base a estudios anteriores (Hernández et al., 2022a) (Hernández et al., 2022b), se siguió el siguiente protocolo:

- a. Modificación de la textura de la carne:

El protocolo seguido para la modificación de la textura de la carne se basa en estudios previos realizados y que en la actualidad están en fase de publicación.

En base a él, los solomillos de cerdo inicialmente fueron congelados, no por más de una semana, con la finalidad de paralizar el proceso de maduración de la carne. Tras su descongelado y eliminación de la grasa fueron triturados.

Con la finalidad de reconstruir, pero con la textura final deseada, la carne fue mezclada en las siguientes proporciones: 85,8% Carne, 10% Agua, 3% Transglutaminasa (con la finalidad de amalgamar la carne), 0,2% Papaína (con la finalidad de impedir un amalgamiento excesivo) y 1% Sal (Figura 1).

Tras su mezclado, se introdujeron 9,5 gramos de mezcla en cada bote, por lo que se obtuvieron muestras de 1cm de altura. Estos botes se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 5°C durante 24 horas con la finalidad de permitir la actuación de la Transglutaminasa (Márquez et al., 2006).

Posteriormente, tras las 24 horas, las muestras se dejaron a T^a ambiente durante 15 minutos aproximadamente para que se atemperaran. Una vez estaban a T^a ambiente, se cocieron durante 20 minutos a 80°C en una estufa de laboratorio para que fuera efectiva la actuación de la Papaína (Mohd Azmi et al., 2023) y así poder obtener una carne con la dureza final deseada. Finalmente, los botes se introdujeron en un baño de hielo durante 15 minutos aproximadamente para detener la cocción.

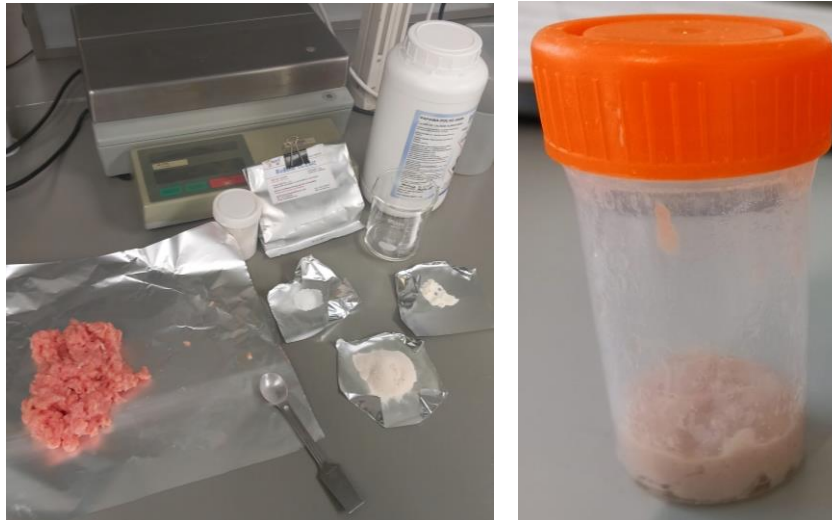


Figura 1. Imágenes del inicio y resultado de la preparación de las muestras de carne.

b. Modificación de la textura de la calabaza:

En la modificación de la textura de la calabaza, se utilizaron los protocolos seguidos en otros estudios (Hernández et al., 2022b) con ligeras modificaciones.

Primero se cortaron rodajas de 1 cm de espesor para después sacar cilindros de 3,2 cm de diámetro utilizando los propios botes donde finalmente se introdujeron las muestras para realizar el análisis de textura (Figura 2).

El segundo paso, consistió en la preparación de una disolución compuesta por: 400 mL de agua destilada, 2 g de Enozym Vintage y 0,7 g de ácido cítrico.

Se sumergieron todos los cilindros en la disolución y se realizó un pulso de vacío (85 kPa) de 5 minutos, concluyendo este paso con la restauración de la presión atmosférica.

Posteriormente, se sacaron las muestras de la disolución y se colocaron en unas barquetas de plástico para introducirlas en la estufa a 36°C durante 1 hora con la finalidad de favorecer la acción de los enzimas.

Por último, se realizó una cocción a vapor de los cilindros durante 5 minutos para inhibir la acción de los enzimas y finalmente se dejaron a T^a ambiente para atemperarlos.



Figura 2. Imágenes del inicio y resultado de la preparación de las muestras de calabaza.

c. Modificación de la textura del caldo:

Para preparar las muestras de caldo, se introdujeron 7,5 mL en cada bote, y seguidamente se introdujeron en un baño a 50°C.

Cuando el caldo ya había alcanzado los 50°C, se sacó el bote y se introdujeron en cada uno 0,70 g de Goma Guar moviéndolo con rapidez para homogeneizar la muestra y se devolvieron al baño a 50°C (Hernández et al., 2022a).

Pasados 2 minutos, se sacaron los botes del baño y se dejaron enfriar a T^a ambiente. Una vez atemperados, se metieron en el frigorífico durante 3 horas y media (Figura 3).



Figura 3. Imágenes del inicio y resultado de la preparación de las muestras de caldo.

d. Conformación de las muestras:

Para la realización de los ensayos se prepararon 7 réplicas de cada muestra. Para ello, las muestras se dispusieron dentro de un bote cilíndrico transparente de 3,2 mm de diámetro. En un primer paso las muestras de calabaza, carne y caldo fueron estudiadas por separado, disponiéndose individualmente dentro de cada tubo (Figura 4a).

El segundo paso del estudio se realizó con la combinación de los tres componentes (Figura 4b), estableciéndose el siguiente orden de disposición (de arriba a abajo):

A: calabaza-carne-caldo; B: carne-calabaza-caldo; C: calabaza-caldo-carne;
D: caldo-calabaza-carne; E: caldo-carne-calabaza; F: carne-caldo-calabaza.

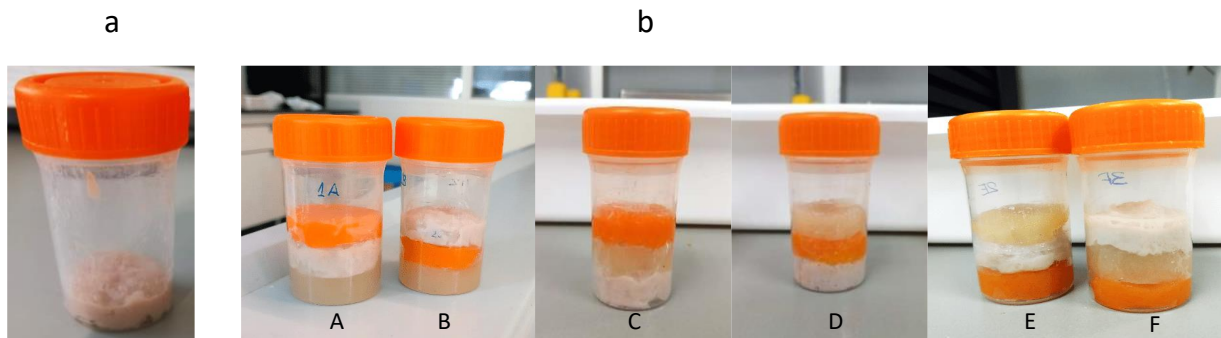


Figura 4. Representación de la disposición de las muestras para los ensayos.

a: muestra de carne; b: muestras combinadas (A: calabaza-carne-caldo; B: carne-calabaza-caldo; C: calabaza-caldo-carne; D: caldo-calabaza-carne; E: caldo-carne-calabaza; F: carne-caldo-calabaza.)

3.2 Análisis de textura

Para este ensayo, se utilizó un texturómetro TA-TX2 (Stable Micro Systemas Ltd., Godalming, Reino Unido) equipado con una sonda de 25 kg y operado con el software Exponent. La técnica utilizada para este análisis fue la de extrusión inversa (back extrusion) descrita y utilizada por otros autores (Hoshino, 2020; Hernández et al., 2022a). Para ello se utilizó un disco de 2 cm que se desplazó descendiendo a una velocidad de pre-ensayo, ensayo y post-ensayo de 1,00 mm/s y proporcionando un porcentaje de deformación del 80%.

A partir de los ensayos se obtuvieron los datos que relacionan la fuerza (N) con respecto al tiempo para alcanzar la deformación establecida del 80%.

3.3 Análisis de imagen

Para el análisis de imagen, al mismo tiempo que se realizaba el estudio de textura, se procedió a realizar la captura en vídeo de este. Para ello se utilizó una cámara web (Logitech C922 Pro Stream Webcam) deshabilitando los ajustes automáticos con la finalidad de mantener constantes los parámetros de captura.

Una vez obtenidos los vídeos, estos fueron procesados mediante el software libre "ImageJ". Primero se obtuvieron los fotogramas y a partir de estos, se seleccionaron los correspondientes a los tiempos 0s (el pistón toca por primera vez el alimento), 10s, 20s y 30s, midiéndose la posición de la superficie de cada alimento (Figura 5).

Se seleccionaron los fotogramas de estos tiempos, ya que, cada componente tiene de espesor aproximadamente 1cm, y al ser la velocidad del ensayo de 1mm/s, en los tiempos 0, 10 y 20 es donde teóricamente habría un cambio de un componente a otro. De este modo, se analizó la evolución de la posición de los alimentos con el paso del tiempo y la compresión del texturómetro.

Con los datos se obtuvo la evolución del espesor de cada alimento durante el ensayo, así como el porcentaje de deformación acumulada de cada alimento con el avance del tiempo.

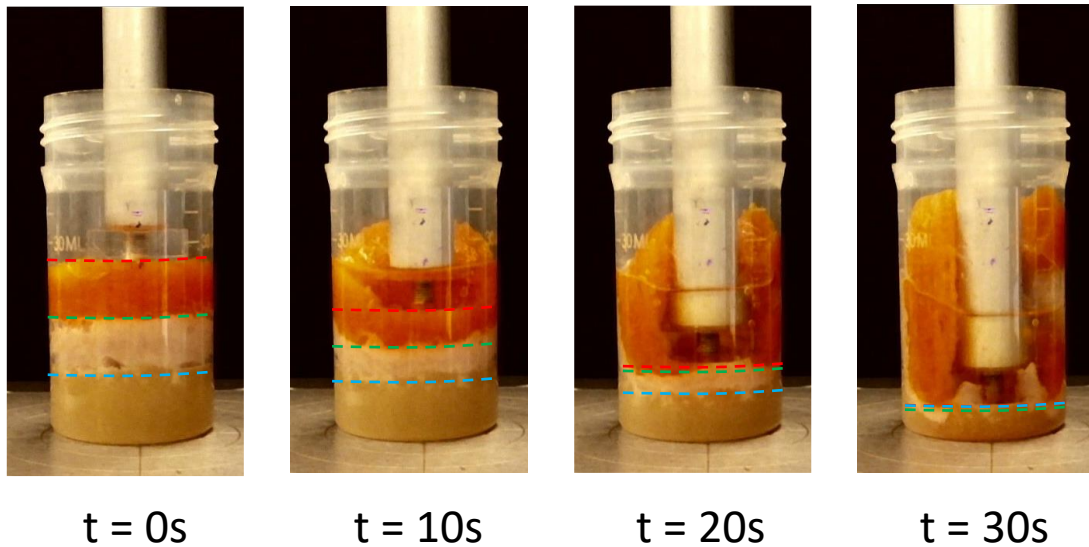


Figura 5. Esquematización de las medidas de imagen realizadas a las imágenes capturadas durante el ensayo de textura.

Las líneas discontinuas representan la superficie de cada componente:
 Roja: superior; Verde: intermedio; Azul: inferior.

3.4 Análisis estadístico

Los resultados procedentes del análisis de textura (fuerza máxima y área +) y de imagen (posición del componente y % de deformación) se analizaron estadísticamente a través de un análisis de la varianza ANOVA. El software utilizado fue Statgraphics Centurion XVII.II versión 17.2.04. Se empleó un intervalo de confianza del 95% y un valor de $p < 0,05$ estadísticamente significativo para todos los análisis. El número de réplicas fue de 7.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización textural de los componentes individualmente

Una vez realizado el tratamiento a cada uno de los componentes del estudio, calabaza (Cb), caldo (Cd) y carne (Ca), se procedió a evaluar su textura en términos de fuerza máxima (F_{max}) y área de trabajo de compresión (Área +) con el fin de corroborar la uniformidad en sus valores de dureza.

Como se observa en la Figura 6, en la que se representan los valores promedios y errores estándares, no se observaron diferencias estadísticas entre los componentes, confirmando el protocolo de unificación de texturas en base a esta propiedad, siendo los valores de F_{max} para la carne, calabaza y caldo respectivamente de: $5,85 \pm 0,69$, $5,78 \pm 1,38$, $4,75 \pm 1,36$ N. En cambio, sí que se evidenciaron diferencias en el área+, siendo los valores mayores para la carne, seguidos de la calabaza y finalmente el caldo ($39,66 \pm 4,07$, $35,45 \pm 5,17$, $19,08 \pm 4,71$ N/s).

El ligado de las proteínas generado por la transglutaminasa, necesario para mantener la integridad visual de las muestras de carne, podría ser el responsable del mayor valor obtenido, el cual como se observa en la Figura 7, en la que se muestran los valores de fuerza a lo largo del ensayo de compresión, fue bastante constante, evidenciando un ligado uniforme de la carne.

En el caso de los valores de las muestras de calabaza, hubo que hacer múltiples repeticiones iniciales utilizando cada día de experiencia una calabaza diferente debido a que la madurez de la calabaza suponía un factor muy importante para la realización del estudio. Esto podría ser debido a la degradación de la estructura celular como consecuencia de la maduración de estas. Finalmente, los valores del caldo fueron los establecidos a partir del cálculo de goma guar a añadir (Hernández et al., 2022a).

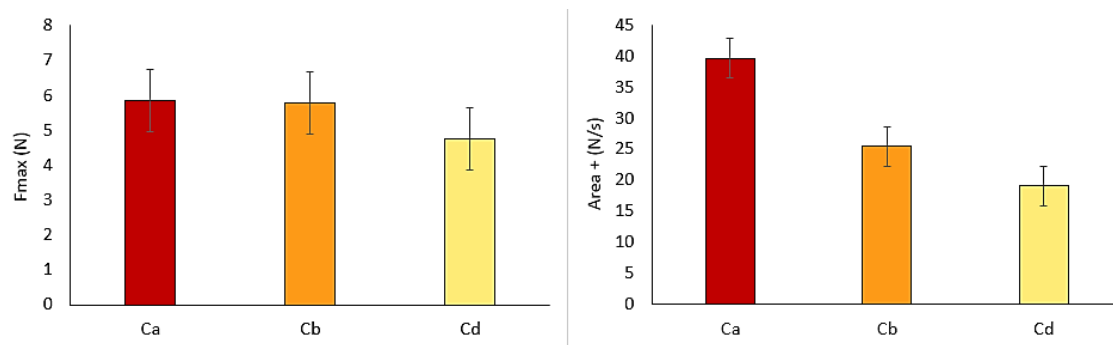


Figura 6. Valores promedios y errores estándares de los datos de fuerza máxima (Fmax) y área positiva (Área +), obtenidos para los ensayos de compresión realizados a muestras individuales de calabaza (Cb), caldo (Cd) y carne (Ca).

Como se observa en la Figura 7, a pesar de que los 3 componentes se modificaron para tener aproximadamente la misma Fmax (entre 4,5 y 6 N), como así fue, la evolución de ésta a lo largo del ensayo fue diferente para cada uno de ellos. Si bien en el caso de la carne es durante la primera mitad del ensayo donde se produce un incremento importante de la Fmax, alcanzando un valor mucho más alto que el de los dos componentes restantes, para el caldo el incremento se dio al inicio del ensayo, manteniéndose el valor de Fmax constante hasta la última parte del ensayo donde fue la muestra que experimentó un incremento más acusado. En el caso de la calabaza, el incremento de Fmax fue paulatino a lo largo de todo el ensayo, llegando a su máximo valor al final del ensayo.

Así pues, si bien la fuerza máxima de los tres componentes fue la misma estadísticamente, dado que son tres estructuras totalmente diferentes era de esperar que el comportamiento de la evolución de esta durante el ensayo no lo fuera (Área +), lo que podría conllevar diferencias de comportamiento cuando se combinan los tres, en función de su disposición dentro del ensayo.

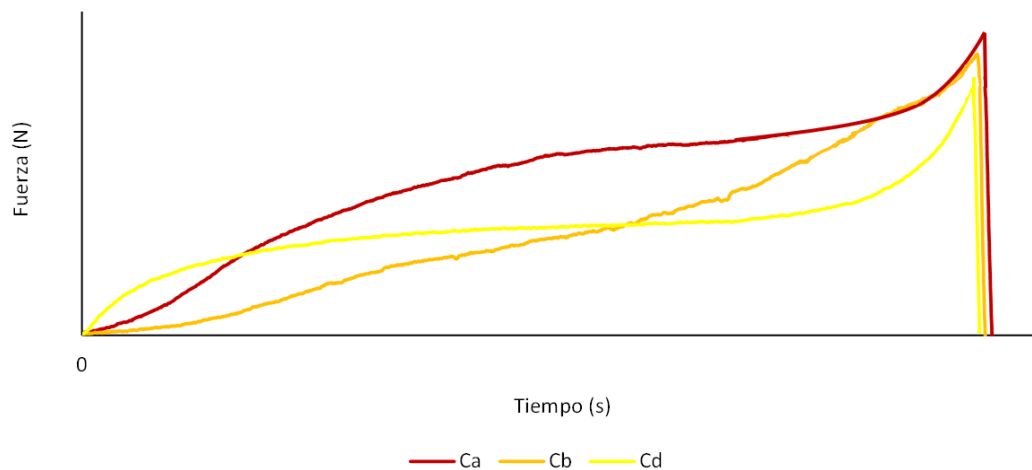


Figura 7. Representación gráfica de la Fuerza (N) respecto al Tiempo (s) en los ensayos de compresión de las muestras individuales de carne (Ca), calabaza (Cb) y caldo (Cd).

4.2 Estudio del efecto de la disposición de los componentes

4.2.1 Estudio de los parámetros de textura

Una vez realizados los ensayos para las muestras combinadas se procedió al estudio de la fuerza máxima y área positiva (Figura 8), comparando los valores con los propios obtenidos por los componentes evaluados individualmente.

Lo primero que se observó fue como la F_{max} de las combinaciones si bien estadísticamente fue similar para todas ellas, la diferencia entre el mayor valor de F_{max} (combinaciones C y D) y el menor (combinaciones A y B) fue de 2,5 N, llegando incluso a ser inferior al obtenido para los componentes evaluados individualmente. Estos resultados reflejarían como la interacción de los componentes en el ensayo es influyente sobre el valor de F_{max} . Así las combinaciones C y D, que tuvieron valores similares a los de los componentes carne y calabaza (5,8 N), son aquellas cuyo último componente es la carne, mientras que en las muestras A y B lo fue el caldo.

De igual forma, el área positiva no fue uniforme entre las diferentes combinaciones si bien tampoco se evidenciaron diferencias significativas, siendo la que presentó mayor área la combinación C y la que menor la F (carne-caldo-calabaza). A fin de poder comparar el área de las combinaciones con las de los componentes evaluados individualmente, el área de estos últimos (Figura 6) se ha multiplicado por 3, dado que el espesor de las muestras combinadas es de 3 cm (1 cm por cada componente).

Como se aprecia en la figura 8, ninguna combinación superaría al área positiva teórica de la carne (aproximadamente 120 N/s), estando todas las muestras en valores inferiores a los que tendría la calabaza (aproximadamente 76 N) a excepción de la combinación C (77 N).

Las diferencias observadas, tanto en la F_{max} como en el área +, estarían ligadas a la interacción entre los componentes, es decir la presión que generarían unos componentes sobre los otros al aplicarles la fuerza del embolo durante el ensayo.

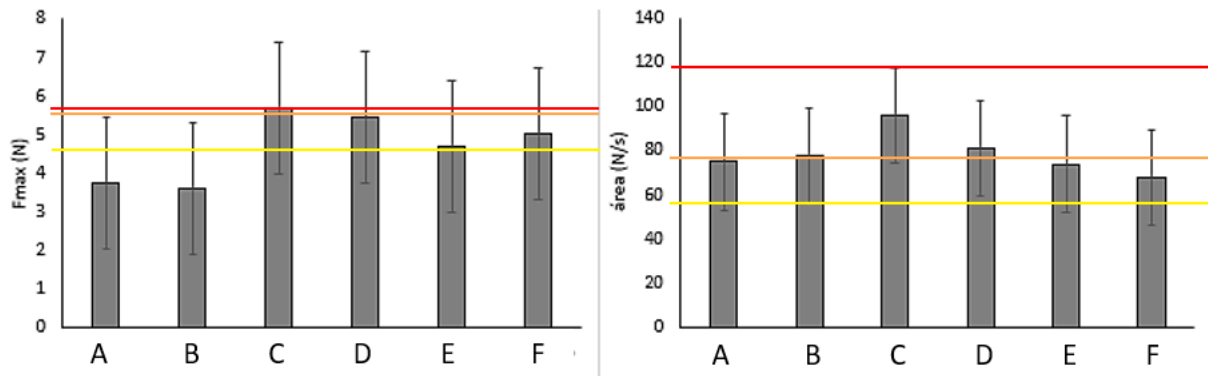


Figura 8. Valores promedios y errores estándares de fuerza máxima (Fmax) y área positiva (Area +), para los ensayos de compresión realizados sobre las muestras combinadas (A, B, C, D, E y F)

Las líneas continuas representan los valores obtenidos en las muestras individuales:

Roja: carne; Naranja: calabaza; Amarilla: caldo.

A fin de evaluar dicho comportamiento se procedió a comparar las curvas Fmax vs tiempo de los ensayos. El análisis inicial mostró como el comportamiento global fue diferente para cada tipo de muestra, no evidenciándose un comportamiento generalizado. Esto, como posteriormente podremos observar en el estudio de los videos capturados, podría ser debido a la interacción de los componentes y su comportamiento respecto a la presión que se les ejercía y como ellos interaccionaban con ésta en función de su situación en el interior de la muestra. Aun así, cuando la evolución de las curvas se representó en función de la situación de la carne dentro de las muestras, se evidenció un ligero comportamiento generalizado que podría ser interpretado.

La figura 9 muestra la evolución de las curvas cuando la carne está situada en la parte superior (Figura 9A), a mitad (Figura 9B) o es el último componente de la muestra (Figura 9C). Además, para hacerlas más visuales se ha supuesto teóricamente que estas estarían comprendidas entre los 0 a 10 mm, 11 a 20 mm y 21 a 30 mm respectivamente (colores rojos).

Como se puede observar, cuando el componente posterior a la carne fue el caldo (Figura 9A y B), la fuerza máxima teórica alcanzada por ésta fue menor que la obtenida cuando lo fue por la calabaza. En base a este resultado, el caldo podría estar absorbiendo con mayor facilidad parte de la presión que se estaba ejerciendo sobre la carne. Esta mayor absorción de la energía por parte del caldo también quedaría reflejada en la figura 9C en la que los valores de fuerza máxima promedios de la calabaza entre los 0 a 10 segundos fueron menores que para el caldo, pero en cambio entre los 10 a 15 segundos se dio de forma inversa (comparando la evolución de la muestra tipo C y la D). La energía suministrada sobre la calabaza entre los 0 a 10 segundos, en la muestra tipo C, sería absorbida en parte por la calabaza y sería por ello por lo que en el periodo 10 a 20 segundos tendría mayor valor promedio de fuerza máxima que el caldo de la muestra tipo D, para el mismo periodo de tiempo.

En base a estos resultados, la disposición de los componentes en el interior de una muestra puede ser un factor influyente cuando lo que se persigue es obtener un plato en el que sus componentes presenten un comportamiento textural lo más parecido posible.

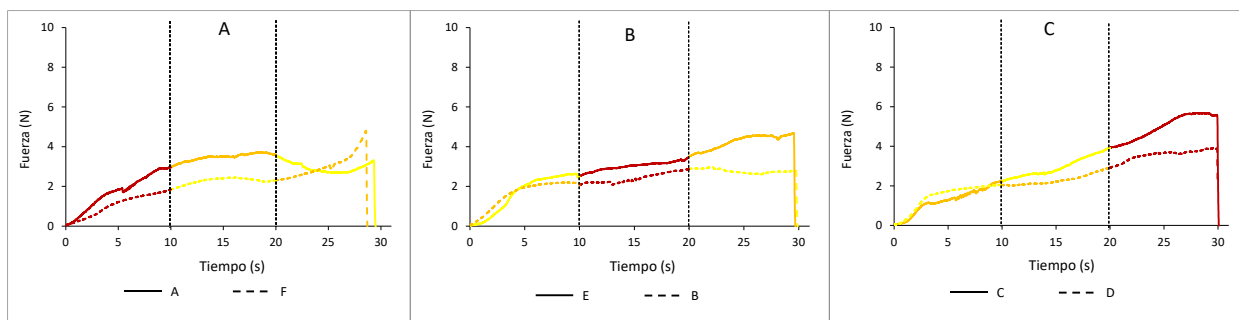


Figura 9. Curvas Fuerza (N) vs Tiempo (s) para las muestras combinadas ordenadas en función de la situación de la carne en su interior. A: muestras tipo A y F en las que la carne está en la parte superior. B: muestras tipo E y B en las que la carne este en la zona central. C: muestras tipo C y D en las que la carne es el último componente.

4.2.2 Estudio del análisis de imagen de los ensayos de compresión.

Para visualizar y cuantificar la posible interacción de los componentes durante el ensayo de compresión se procedió a realizar el estudio de los vídeos grabados durante los ensayos. Con los vídeos y fotogramas de cada muestra combinada, se realizaron representaciones gráficas de la evolución del espesor y del porcentaje de deformación acumulada de cada componente durante el ensayo de compresión (Figuras 10-15, línea naranja = calabaza, línea roja = carne, línea amarilla = caldo).

La figura 10, a modo de ejemplo, muestra un esquema de la muestra combinada tipo A y de la evolución del espesor de sus componentes y su deformación a lo largo del ensayo. Como se observa, se tomó como tiempo 0 el momento en el que el embolo tocó el primer componente, siendo el espacio 10 mm la zona de intersección del primer y segundo componente y 20 mm entre el segundo y el tercero. El resto de figuras, de la 11 a la 15, muestran a modo de ejemplo, la evolución de las muestras combinadas tipos B, C, D, E y F respectivamente.

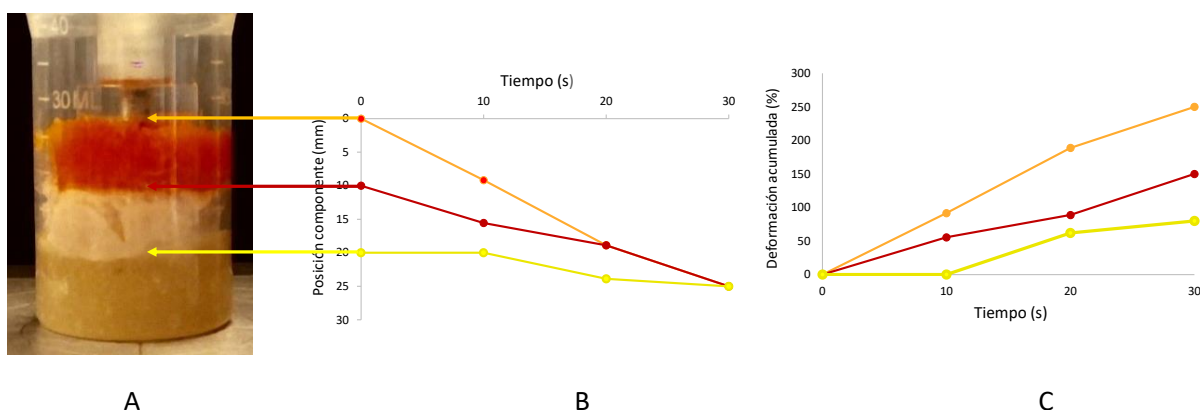


Figura 10. Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada A.

- A: Imagen inicial de la muestra A en $t=0s$ (disco toca la superficie del primer componente)
- B: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0mm la superficie del primero, 10mm la superficie del segundo y 20mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s)
- C: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s)

Como era de esperar, a la vista de los resultados de las curvas de esfuerzo analizadas para los componentes evaluados individualmente (Figura 7) y corroborado con el de las muestras combinadas (Figuras 9), la disposición de los componentes fue influyente en el comportamiento global de las muestras.

Así la carne, independientemente del lugar que ocupa dentro de las muestras es comprimida hasta el final del ensayo, es decir, que en el momento que empieza a deformarse, esta deformación no cesa hasta que el ensayo termina, pudiendo llegar a ser la deformación acumulada del 250% en las muestras en la que la carne está situada en la parte superior (Figuras 10 y 15). Este resultado estaría reflejando la elasticidad y cohesión que presentaría la carne como consecuencia de la acción de la transglutaminasa (Canto *et al.*, 2014). El entrecruzamiento de proteínas generado por ésta formaría una estructura que facilitaría la deformación sin rotura de la carne. Esto también explicaría la poca ruptura visualizada cuando ésta ocupó el último lugar aun cuando fue deformada en un 80% (100% del ensayo). Este podría ser el motivo por el que las muestras tipo C y D, y como inicialmente se había supuesto, cuyo último componente es la carne, fueron las que presentaron una mayor fuerza máxima (Figura 8).

En cambio, la calabaza tuvo un comportamiento diferente en función de su posición y la disposición de los otros dos componentes. Cuando se encontraba en tercer lugar (último componente) y recibiendo la presión del componente que está encima, independientemente de que fuese carne o caldo, su deformación fue del 80% (100% del ensayo), pero al observar el vídeo se vio cómo fue totalmente desestructurada (Figuras 14 y 15). Cuando se encontraba en primer lugar (arriba), en función de cuál fue el segundo componente, su comportamiento defirió. Cuando el segundo componente fue la carne, dado que esta mantiene su integridad y es capaz de deformarse, la presión que se ejerció sobre la calabaza fue transmitida a la carne y ésta se deformó generando poco a poco presión sobre el tercer componente (Figura 10). En cambio, cuando el segundo componente fue el caldo, la presión que pudiese ejercer la calabaza sobre el caldo fue absorbida por éste y no transmitida a la carne (Figura 12), lo que hizo que la calabaza se fracturase cuando el embolo llegó al segundo componente (caldo). Este mismo comportamiento ocurrió cuando estaba situada en segundo lugar en el que cuando el tercer componente fue caldo, la calabaza se desintegró al final de su deformación (10 mm) (Figuras 11), manteniéndose en cambio hasta el final cuando fue la carne (Figura 13).

En el caso del caldo, cuando se encontraba en la parte superior, su deformación fue del 100% a los 10 mm, generando poca deformación al segundo componente (Figuras 13 y 14). Esto implicaría, como anteriormente hemos comentado, que el caldo absorbe gran parte del esfuerzo transmitiendo poco al siguiente componente. Este mismo comportamiento de absorción de la energía se observó cuando estaba en la zona central, evidenciándose poca deformación del tercer componente (Figura 12) o incluso a desaparecer antes de que llegase el embolo a él como consecuencia de la presión que le está ejerciendo el componente superior (Figura 15). Esto podría ser el motivo por el que las muestras tipo A y B, en las que el caldo es el último componente, y como se comentó anteriormente, fueron las que presentaron un menor valor de la F_{max} (Figura 8).

En base a estos resultados, observados claramente con el empleo de la técnica de imagen, la disposición de los alimentos dentro de una muestra es muy influyente en la resultante global de textura, aun habiendo tenido la misma dureza global que los alimentos analizados individualmente. Esto implicaría el no poder considerar el conjunto como un alimento de textura unificada dado que su consideración podría conllevar un grave problema para gente en ciertos grados de disfagia pues la formación del bolo alimenticio, en función de esta disposición, podría ser diferente.

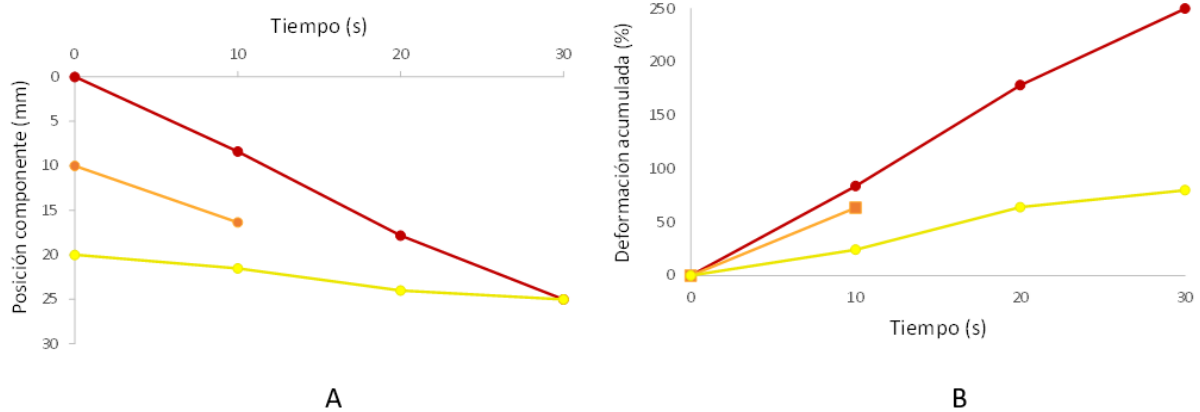


Figura 11. Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada B.

- A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s)
 B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s)

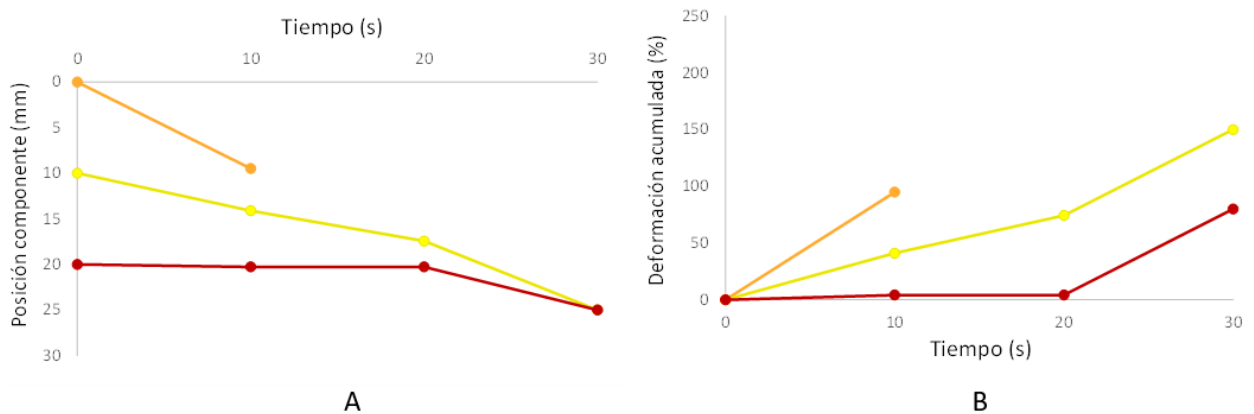


Figura 12. Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada C.

- A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s)
 B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s)

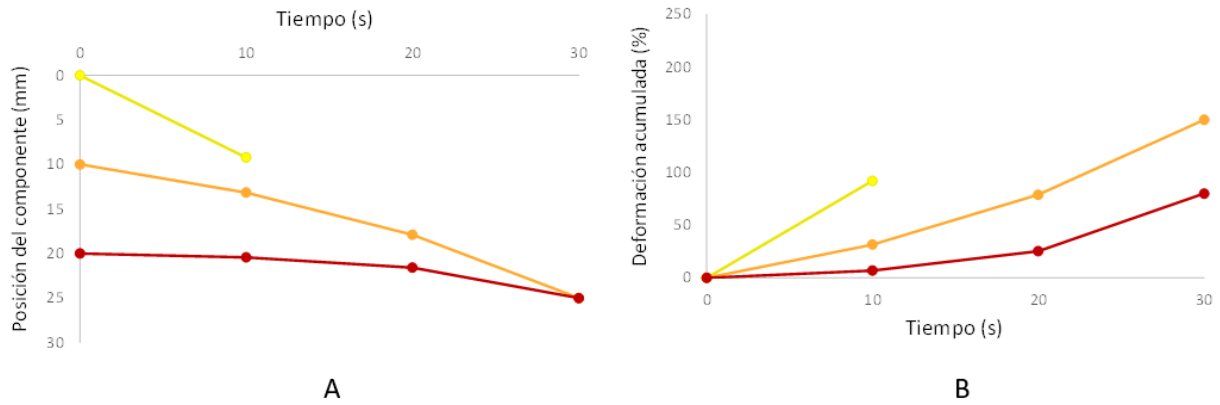


Figura 13. Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada D.

- A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s)
 B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s)

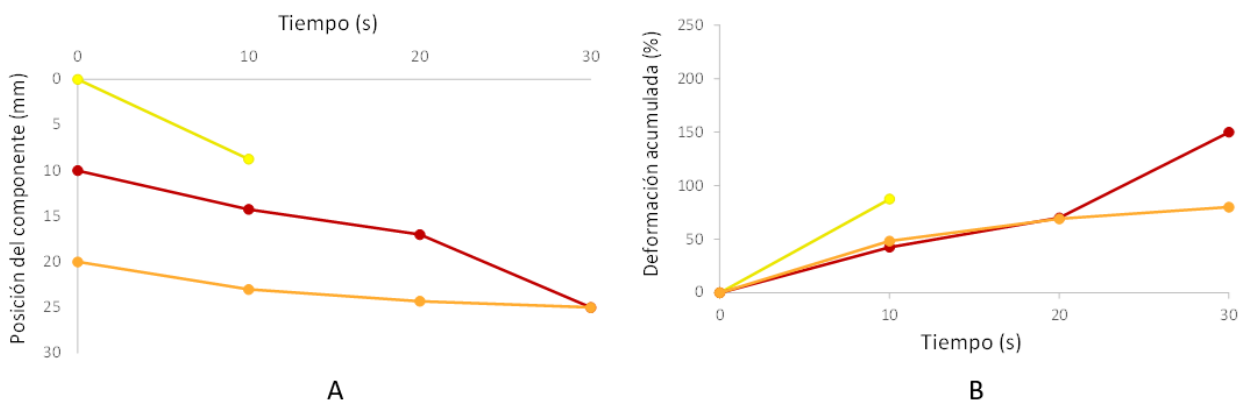


Figura 14. Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada E.

- A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s)
 B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s)

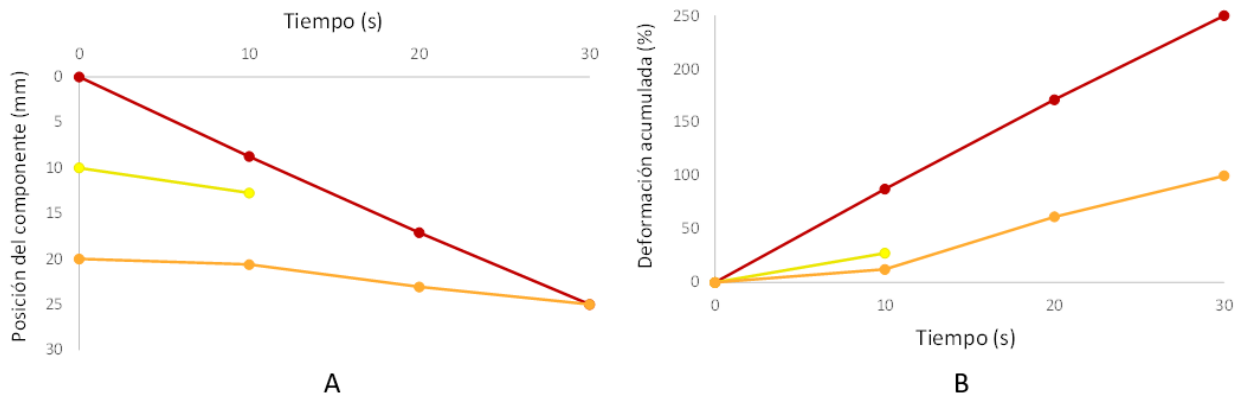


Figura 15. Representaciones gráficas tras los resultados obtenidos en el análisis de imagen del ensayo de compresión de la muestra combinada F.

A: Gráfico de la posición de cada componente (siendo 0 mm la superficie del primero, 10 mm la superficie del segundo y 20 mm la superficie del tercero) en función del tiempo de ensayo (s)

B: Gráfico de la deformación acumulada (%) de cada componente en función del tiempo de ensayo (s)

5. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio han evidenciado que alimentos texturalmente modificados para tener una misma dureza, al combinarse en diferentes disposiciones dentro de una misma muestra, siguen presentado la misma fuerza máxima global, independientemente de dicha disposición. Por lo que desde un punto de vista de la dureza estas muestras combinadas podrían ser ingeridas por población con dificultades para tragar.

Sin embargo, tras los análisis de textura a través de las curvas F_{max} vs tiempo, pero fundamentalmente de imagen, se ha evidenciado que el comportamiento global de la textura de las muestras combinadas no es el mismo como consecuencia de la interacción entre los alimentos y su disposición dentro del estudio. Desde el punto de vista de la interacción, la naturaleza inicial de los alimentos (origen animal, vegetal y líquido) y como se consiguió la unificación de su dureza, son factores que los caracterizan y les hacen diferentes. Esto hace que su respuesta al esfuerzo aplicado sea también diferente. Es por ello que su disposición sea también influyente dado que la transmisión del esfuerzo será diferente en función del orden en que se encuentren.

Por otro lado, el uso de la técnica de imagen se ha presentado como una herramienta que complementa los resultados de un análisis de textura e incrementa la información que se obtienen en él al poder visualizar la interacción entre los componentes.

Nuevos estudios son necesarios para el desarrollo de alimentos con texturas uniformes, que mantengan su integridad visual y sean capaces de pasar los test de la IDDSI a fin de ser consumidos con seguridad por poblaciones con algún grado de disfagia.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA J. M., PARK D. J. (2016). Texture-modified foods for the elderly: Status, technology and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 57.
- CANTO, A. C., LIMA, B. R. C., SUMAN, S. P., LAZARO, C. A., MONTEIRO, M. L. G., CONTE-JUNIOR, C. A., FREITAS, M. Q., CRUZ, A. G., SANTOS, E. B., & SILVA, T. J. (2014). Physico-chemical and sensory attributes of low-sodium restructured caiman steaks containing microbial transglutaminase and salt replacers. *Meat Science*, 96(1), 623-632.
- EOM, S. H., CHUN, Y. G., PARK, C. E., KIM, B. K., LEE, S. H., PARK, D. J. (2018). Application of freeze-thaw enzyme impregnation to produce softened root vegetable foods for elderly consumers. *Journal of texture studies*, 49(4), 404-414.
- FUNAMI, T.; ISHIHARA, S.; NAKAUMA, M.; KOHYAMA, K.; NISHINARI, K. (2012). Texture design for products using food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 26:412-420
- FUNAMI, T. (2017). In vivo and rheological approaches for characterizing food oral processing and usefulness of polysaccharides as texture modifiers- A review. *Food Hydrocolloids*, 68.
- GONZÁLEZ, R., BEVILACQUA, J. (2009). Disfagia en el paciente neurológico. *Rev Hosp Clín Univ Chile*, 20, 252-62.
- a. HERNÁNDEZ, S., RIBES, S., VERDÚ, S., BARAT, J.M., TALENS, P., & GRAU, R. (2022). Developing a homogeneous texture dish by combining solid and liquid foodstuff matrices, *LWT*, 166.
- b. HERNÁNDEZ, S., GALLEGO, M., VERDÚ, S., BARAT, J.M., TALENS, P., & GRAU, R. (2022). Physicochemical Characterization of Texture-Modified Pumpkin by Vacuum Enzyme Impregnation: Textural, Chemical, and Image Analysis. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 122-134.
- HOSHINO, T. (2020). Analysis of viscosity measurements obtained using the short back extrusion method. Part 1: Theory of short back extrusion in viscometry. *Journal of Texture Studies*, 51(2), 201-213.
- IDDSI (2019). International dysphagia diet standardisation initiative framework. Consulta el 20 de julio de 2023, en www.iddsi.org.
- ISTRATI, D. (2008). The influence of enzymatic tenderization with papain on functional properties of adult beef. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 14, 140-146.
- KOÇ, H.; VINYARD, C. J.; ESSICK, G. K. & FOEGEDING, E. A. (2013). Food oral processing: conversion of food structure to textural perception. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 4:237-66.
- MÁRQUEZ, E., ARÉVALO, E., BARBOZA, Y., BENÍTEZ, B., RANGEL, L., & ARCHILE, A. (2006). Efecto de la concentración de transglutaminasa y tiempo de reacción en la estabilidad de productos reestructurados. *Revista Científica*, 16(6), 662-667. Consulta el 26 de agosto de 2023, en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592006000600014
- MOHD AZMI, S. I., KUMAR, P., SHARMA, N., SAZILI, A. Q., LEE, S. J., & ISMAIL-FITRY, M. R. (2023). Application of Plant Proteases in Meat Tenderization: Recent Trends and Future Prospects. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(6), 1336.
- NAKATSU, S., KOHYAMA, K., WATANABE, Y., SHIBATA, K., SAKAMOTO, K., & SHIMODA, M. (2012). Mechanical properties of softened foodstuffs processed by freeze-thaw infusion of macerating enzyme. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 267-276.
- NAKATSU, S., SHIMODA, M., SHIBATA, K., KAJIHARA, R., ISHIHARA, M., & SAKAMOTO, K. (2014). Effect of citrate ions on the softening of root crops prepared with freeze-thaw impregnation of macerating enzymes. *Journal of Food Science*, 79(3), E333-E341.
- NISHINARI, K.; TAKEMASA, M.; SU, L.; MICHIWAKI, Y.; MIZUNUMA, H.; OGOSHI, H. (2011). Effect of shear thinning on aspiration: Toward making solutions for judging the risk of aspiration. *Food Hydrocolloids*, 25:1737-1743.

- NISHINARI K., TAKEMASA M., BRENNER T., SU L., FANG Y., HIRASHIMA M., YOSHIMURA M., NITTA Y., MORITAKA H., TOMCZYNSKA-MLEKO M., MLEKO S., MICHIWAKI Y. (2016). The Food Colloid Principle in the Design of Elderly Food. *Journal of Texture Studies*.
- SHIBATA, K., SAKAMOTO, K., ISHIHARA, M., NAKATSU, S., KAJIHARA, R., & SHIMODA, M. (2010). Effects of freezing conditions on enzyme impregnation into food materials by freezethaw infusion. *Food Science and Technology Research*, 16(5), 359–364.
- TAKEI, R., HAYASHI, M., UMENE, S., NARITA, K., KOBAYASHI, Y., MASUNAGA, H., (2015). Changes in Physical Properties of Enzyme-Treated Beef Before and After Mastication. *J. Texture Stud.* 46, 3–11.