



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

Influencia del procesamiento oral y condiciones digestivas en
la digestibilidad de pasta de lentejas

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Salcedo Martínez, Lucía

Tutor/a: Talens Oliag, Pau

Cotutor/a: Arnal Salinas, Milagros

Director/a Experimental: Ribes Llop, Susana

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

INFLUENCIA DEL PROCESADO ORAL Y CONDICIONES DIGESTIVAS EN LA DIGESTIBILIDAD DE PASTA DE LENTEJAS

Resumen:

La población mundial ha experimentado grandes cambios demográficos durante las últimas décadas, observándose un aumento en la población senior. Con la edad, se producen diversos cambios fisiológicos en el organismo, entre los que se encuentran las deficiencias masticatorias y alteraciones digestivas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto del procesado oral y condiciones digestivas *in vitro* en la digestibilidad de nutrientes de pasta de lentejas rojas. Se trabajó con pasta de lenteja roja a dos niveles de cocción y se determinó su textura. Posteriormente, se prepararon distintos bolos *in vivo* simulando una masticación normal y una deficiente, y se determinaron sus propiedades granulométricas, texturales y viscoelásticas. Seguidamente, se llevó a cabo una digestión oro-gastrointestinal *in vitro* (método INFOGEST), simulando las condiciones de adultos sanos y de personas senior. Finalmente, se estudió la digestibilidad de nutrientes a través de la determinación de azúcares reductores, proteínas solubles, péptidos solubles en TCA y grupos amino libres. Los resultados mostraron que la textura de la pasta fue distinta en función del tiempo de cocción. A mayor tiempo de cocción, menor firmeza y fuerza de corte presentaban las muestras. En cuanto al procesado oral de la pasta, se observó que los bolos obtenidos mediante una masticación deficiente estaban menos fragmentados y habían incorporado una menor cantidad de saliva. Con respecto a la textura de los bolos, se apreciaron mayores valores de dureza y cohesividad y menores valores de adhesividad en los bolos de masticación deficiente. Por otra parte, los resultados de las propiedades viscoelásticas evidenciaron que tanto el nivel de cocción como el tipo de masticación tuvieron un impacto significativo en los parámetros de rigidez, extensibilidad y estabilidad de bolos, pudiéndose clasificar como sistemas viscoelásticos débiles y fáciles de deglutir. En cuanto a los resultados de los productos de digestión del almidón, se observó que la masticación deficiente afectó negativamente en la cantidad de azúcares reductores tras la fase oral. Por último, en relación con la digestibilidad proteica, se observó que las condiciones digestivas de una persona senior impactaron negativamente el contenido de proteínas solubles totales. En cambio, dicho efecto no fue tan evidente en el contenido de péptidos solubles en TCA y grupos amino libre.

Palabras clave: procesado oral, masticación deficiente, propiedades del bolo, digestibilidad proteica, productos de digestión del almidón.

Alumno/a: Lucía Salcedo Martínez

Tutor/a académico: Pau Talens Oliag

Tutores/as experimentales: Susana Ribes Llop y Milagros Arnal Salinas

Valencia, junio 2024

INFLUENCE OF ORAL PROCESSING AND DIGESTIVE CONDITIONS ON THE DIGESTIBILITY OF LENTIL PASTA

Abstract:

The world's population is undergoing major demographic changes over the last decades, such as the increase in the senior population. With age, a number of physiological changes occur in the body, including masticatory deficiencies and digestive alterations. The present work aims to study the effect of oral processing and *in vitro* digestive conditions on the digestibility of red lentil pasta. Therefore, the red lentil pasta was cooked at two cooking levels and its textural properties were determined. Subsequently, different boluses were prepared *in vivo* simulating both normal and deficient mastication, and their granulometric, textural and viscoelastic properties were determined. Afterwards, *in vitro* oro-gastrointestinal digestion (INFOGEST method) was carried out, simulating the conditions of healthy adults and seniors. Finally, nutrient digestibility was studied through the determination of reducing sugars, soluble proteins, soluble peptides in TCA and free amino groups. The results showed that the texture of the cooked pasta was different depending on the cooking time, since the longer the cooking time, the lower the firmness and shear strength of the samples. In relation to the oral processing of the pasta, it was observed that the boluses obtained by deficient mastication were less fragmented and had incorporated a lower amount of saliva. Regarding the texture of the boluses, higher values of hardness and cohesiveness and lower values of adhesiveness were observed in the deficient mastication boluses. On the other hand, the results of the viscoelastic properties showed that both the cooking level and the type of mastication had a significant impact on the parameters of rigidity, extensibility and stability of the boluses, and that they could be classified as weak viscoelastic systems and easy to swallow boluses. Regarding the results of starch digestion products, it was observed that deficient mastication negatively affected the amount of reducing sugars after the oral phase. Lastly, in relation to protein digestibility, it was observed that the digestive conditions of a senior person negatively impacted the total soluble protein content. In contrast, this effect was less evident on the content of soluble peptides in TCA and free amino groups.

Keywords: oral processing, deficient mastication, bolus properties, protein digestibility, starch digestion products.

Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda a Primeros Proyectos de Investigación (PAID-06-23) del Vicerrectorado de Investigación de la Universitat Politècnica de València.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. LAS PERSONAS MAYORES: FISIOLÓGÍA Y NECESIDADES NUTRICIONALES	1
1.2. PROCESADO ORAL DE ALIMENTOS (POA)	3
1.2.1. <i>Consideraciones generales</i>	3
1.2.2. <i>Evaluación del POA: la importancia de las propiedades del bolo alimenticio</i>	4
1.2.3. <i>Estructura de los alimentos, procesamiento oral y percepción de la textura</i>	4
1.3. CONSECUENCIAS DEL ENVEJECIMIENTO EN EL POA	6
1.4. POA Y CONSECUENCIAS DEL ENVEJECIMIENTO EN LA DIGESTIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES	7
1.4.1. <i>Digestibilidad de los hidratos de carbono</i>	7
1.4.2. <i>Proteólisis</i>	8
2. OBJETIVOS	10
2.1. OBJETIVO GENERAL	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2.3. PLAN DE TRABAJO	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. MATERIALES Y REACTIVOS	11
3.2. COCCIÓN DE LA PASTA	11
3.3. TEXTURA DE LA PASTA COCIDA: ENSAYO DE CORTE	11
3.4. FORMACIÓN DEL BOLO ALIMENTICIO Y EVALUACIÓN DEL PROCESADO ORAL	11
3.5. CARACTERIZACIÓN DEL BOLO ALIMENTICIO	12
3.5.1. <i>Análisis granulométrico</i>	12
3.5.2. <i>Propiedades texturales</i>	12
3.5.3. <i>Propiedades viscoelásticas</i>	12
3.6. DIGESTIÓN ORO-GASTROINTESTINAL DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS	12
3.7. DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS	13
3.8. DIGESTIBILIDAD PROTEICA DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS	14
3.8.1. <i>Contenido total de proteínas solubles</i>	14
3.8.2. <i>Contenido de péptidos solubles en TCA</i>	14
3.8.3. <i>Contenido de grupos amino libres</i>	14
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. TEXTURA DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS COCIDA	16
4.2. COMPORTAMIENTO DEL PROCESADO ORAL DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS	16
4.3. PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS DE LOS BOLOS	17
4.4. PROPIEDADES TEXTURALES DE LOS BOLOS	18
4.5. PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS DE LOS BOLOS	19
4.6. DIGESTIBILIDAD DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS	22
4.6.1. <i>Digestibilidad de los productos del almidón</i>	22
4.6.2. <i>Digestibilidad proteica</i>	23
5. CONCLUSIONES	26
6. BIBLIOGRAFÍA	27

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza				X
ODS 2. Hambre cero		X		
ODS 3. Salud y bienestar	X			
ODS 4. Educación de calidad				X
ODS 5. Igualdad de género				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras				X
ODS 10. Reducción de las desigualdades				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles				X
ODS 12. Producción y consumo responsables	X			
ODS 13. Acción por el clima	X			
ODS 14. Vida submarina				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos				X

Descripción breve de la alineación del trabajo con los ODS con un grado alto de relación

El presente trabajo tiene un elevado grado de relación con el ODS 3, referido a la salud y bienestar, ya que se centra en reducir el riesgo de padecer determinadas enfermedades comúnmente observadas en la población senior, a través de una alimentación saludable y nutritiva. Además, también intenta promover la salud. De esta forma, se podrá disminuir la prevalencia de dichas patologías y se reducirá la estancia hospitalaria.

Asimismo, este trabajo también está muy relacionado con el ODS 12 basado en la producción y consumo responsables. El cultivo de legumbres es una producción sostenible al tener una huella de agua y de carbono muy baja. Adicionalmente, incrementan la actividad microbiana del suelo y ayudan a fijar el nitrógeno, favoreciendo el crecimiento de otros cultivos. Así pues, se consigue minimizar el impacto ambiental, por lo que también estaría muy ligado al ODS 13 asociado con la acción por el clima.

Índice de tablas

TABLA 1. CONDICIONES ORO-GASTROINTESTINALES OBSERVADAS EN ADULTOS SANOS Y EN PERSONAS SENIOR (MÉTODOS INFOGEST BRODKORB Y COL. (2019) Y MENARD Y COL.(2023), RESPECTIVAMENTE).....	13
TABLA 2. COMPORTAMIENTO DEL PROCESADO ORAL DE LA PASTA TRAS LA MASTICACIÓN <i>IN VIVO</i> NORMAL Y DEFICIENTE.....	17
TABLA 3. TEXTURA DE LOS BOLOS DE PASTA <i>AL DENTE</i> Y DE COCCIÓN SUAVE DESPUÉS DE MASTICACIÓN <i>IN VIVO</i> NORMAL Y DEFICIENTE.....	19
TABLA 4. PARÁMETROS VISCOELÁSTICOS, OBTENIDOS DE UN ENSAYO DE CIZALLAMIENTO OSCILATORIO DE GRAN AMPLITUD (LAOS) REALIZADO A 37°C, DE LOS BOLOS DE PASTA DE COCCIÓN <i>AL DENTE</i> Y DE COCCIÓN SUAVE DESPUÉS DE MASTICACIÓN <i>IN VIVO</i> NORMAL Y DEFICIENTE.	20

Índice de figuras

FIGURA 1. TEXTURA DE LA PASTA DE LENTEJAS ROJAS <i>AL DENTE</i> (CD) Y DE COCCIÓN SUAVE (CS): FIRMEZA (A) Y FUERZA DE CORTE (B).	16
FIGURA 2. PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS DE LOS BOLOS <i>IN VIVO</i> DE PASTA: PESO ACUMULADO DE PARTÍCULAS (%) DE TODOS LOS BOLOS DESPUÉS DE MASTICACIÓN <i>IN VIVO</i> NORMAL Y DEFICIENTE (A). TAMAÑO MEDIO DE PARTÍCULA, EXPRESADO COMO D ₅₀ EN MM, DE TODOS LOS BOLOS DESPUÉS DE MASTICACIÓN <i>IN VIVO</i> NORMAL Y DEFICIENTE (B).	18
FIGURA 3. PARÁMETROS VISCOELÁSTICOS, OBTENIDOS A 37 °C Y A 1 HZ, DE LOS BOLOS DE PASTA DE COCCIÓN <i>AL DENTE</i> Y DE COCCIÓN SUAVE DESPUÉS DE MASTICACIÓN <i>IN VIVO</i> NORMAL Y DEFICIENTE.	21
FIGURA 4. DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN DE PASTA DE COCCIÓN <i>AL DENTE</i> (CD; COLOR MARRÓN) Y DE COCCIÓN SUAVE (CS; COLOR AMARILLO): CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES.	23
FIGURA 5. DIGESTIBILIDAD PROTEICA DE PASTA <i>AL DENTE</i> (CD; COLOR MARRÓN) Y DE COCCIÓN SUAVE (CS; COLOR AMARILLO): PROTEÍNAS SOLUBLES TOTALES (A), PÉPTIDOS SOLUBLES-TCA (B), GRUPOS AMINO LIBRES (C).	24

Índice de abreviaturas

OMS	Organización Mundial de la Salud
RDA	Ración Dietética Recomendada
ATM	Alimento con Textura Modificada
IDDSI	Iniciativa Internacional de Estandarización de la Dieta para la Disfagia
POA	Procesado Oral de Alimentos
IT	Intensidad Temporal
TDS	Dominio Temporal de Sensaciones
PP	Perfil Progresivo
IG	Índice Glicémico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
DIAAS	Puntuación de Aminoácidos Indispensables Digeribles de Proteínas
BSA	Albúmina de Suero Bovina
TNBS	Ácido Trinitrobencenosulfónico
DNS	Ácido 3,5-Dinitrosalicílico
TCA	Ácido Tricloroacético
CD	Cocción <i>al dente</i>
CS	Cocción Suave
MN	Masticación Normal
MD	Masticación Deficiente
TPA	Texture Profile Analysis
LAOS	Ensayo Oscilatorio de Gran Amplitud
SAOS	Ensayo Oscilatorio de Pequeña Amplitud
RVL	Región Viscoelástica Lineal
G'	Módulo elástico o de almacenamiento
G''	Módulo viscoso o de pérdida
G' = G''	Punto de flujo
G*	Módulo complejo
η^*	Viscosidad compleja
Tan δ	Tangente del ángulo de fase
G'_{LVR}	Módulo elástico
DN	Digestión Normal
DS	Digestión Senior
DE	Desviación Estándar
FSS	Fluido Salival Simulado
FGS	Fluido Gástrico Simulado
FIS	Fluido Intestinal Simulado

1. Introducción

1.1. Las personas mayores: fisiología y necesidades nutricionales

Durante las últimas décadas, se han observado grandes cambios demográficos. Así pues, la proporción de personas senior, que se puede definir como aquellas mayores de 65 años, ha aumentado de 260 millones en 1980 a 761 millones en 2021. Además, para los próximos años, se espera que esta tendencia vaya incrementando hasta llegar a 1 billón en 2030 y 1,6 billones en 2050 (United Nations, 2023).

El envejecimiento es un proceso común a todos los organismos vivos, definido como el declive de las funciones fisiológicas a todos los niveles: celular, tisular, orgánico y sistémico. Se trata de un mecanismo complejo en el que influyen numerosos factores (genéticos, ambientales, etc.). Sin embargo, no se conocen las razones exactas por las que se produce (Hayflick, 2007). Entre los problemas de salud más comunes en la tercera edad se encuentran la incontinencia urinaria, las caídas y los estados delirantes como la demencia, que en conjunto se denominan síndromes geriátricos (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2022). Además, las personas mayores suelen sufrir un deterioro progresivo de las funciones fisiológicas, lo que da lugar a una malnutrición que no suele diagnosticarse, y puede provocar diversos problemas de salud. Entre ellos se incluyen una mayor susceptibilidad a las enfermedades infecciosas, el debilitamiento del sistema inmunitario, la osteoporosis, la diabetes, la baja fuerza muscular, y enfermedades crónicas relacionadas con la edad como la disfagia y la fragilidad (Amarya y col., 2015; de Sire y col., 2022). La osteoporosis es una patología que provoca una reducción de la masa ósea crítica. Se ha demostrado que su prevalencia aumenta significativamente en la población mayor de 50 años (Anam e Insogna, 2021; Weaver y col., 2016) y en la población femenina de edad avanzada (Anam y Insogna, 2021). Además, la sarcopenia, que conduce a una disminución progresiva de la masa y fuerza muscular, es otro de los problemas de salud más prevalentes en poblaciones mayores de 50 años (Aguilera y col., 2019; Cruz-Jentoft y Montero-Errasquín, 2018).

Uno de los factores más importantes empleados para lograr un envejecimiento saludable es la mejora de los patrones dietéticos de los mayores. Así pues, la alimentación y el diseño de alimentos adecuados para este segmento poblacional es uno de los temas que más se está estudiando actualmente. En este sentido, deben tenerse en cuenta distintas perspectivas y factores, tanto internos como externos, que van más allá del proceso de envejecimiento (Aguilera y col., 2023). Entre los factores externos, se encuentran los cambios fisiológicos del organismo, la autonomía, el nivel socioeconómico o las circunstancias psicológicas del individuo. Las deficiencias y alteraciones que se producen con la edad asociadas con la masticación y el deterioro quimiosensorial, debido a la pérdida de la fuerza muscular y la percepción olfativa, provocan un cambio en las preferencias alimentarias y una menor ingesta de comida dando lugar a una malnutrición. Por tanto, se deben tener en consideración en el desarrollo de alimentos (Arganini y col., 2014; Claus y col., 2022; Peyron y col., 2018; Sarkar, 2018). Por otro lado, los aspectos internos de la propia persona, como pueden ser la capacidad de deglución o el funcionamiento de la digestión gastrointestinal, serán los que determinarán el diseño y formulación de los alimentos (Aguilera y col., 2023).

Entre las necesidades de macronutrientes de las personas mayores, cabe destacar el consumo de hidratos de carbono y proteínas debido a la función de estos nutrientes en la salud

y los síntomas habituales de su carencia. Los carbohidratos son esenciales para una dieta saludable, siendo la glucosa la principal fuente de energía para el cerebro. Los cambios metabólicos que se producen durante el envejecimiento se asocian a una disminución progresiva de las necesidades energéticas, que pasan de 2700 kcal al día a los 30 años a 2100 kcal al día a los 80 años (Chernoff, 2006). Esta reducción de las necesidades de ingesta energética se debe al cambio del metabolismo basal, que limita la tasa de conversión, junto con un menor nivel de actividad física (Chernoff, 2006). Sin embargo, los estudios de Shikany y col. (2014) y Yang y col. (2023) demostraron que una mayor ingesta de carbohidratos reduce la fragilidad (baja actividad física y pérdida de peso involuntaria) en las personas mayores. Además, también son macronutrientes críticos para muchas funciones fisiológicas, como la cicatrización de heridas (Harris y Fraser, 2004).

Por otra parte, según Richter y col. (2019) y Tieland y col. (2018), la ración dietética recomendada (RDA) de proteínas para las personas mayores es de 1,2 g/kg/día o superior, que es mayor que la RDA para adultos (0,8 g/kg/día). Dado que la población senior consume menos alimentos y menos proteínas que el adulto medio, hasta el 38 % de los varones y el 41 % de las mujeres mayores de 65 años no alcanzan la cantidad diaria recomendada de ingesta proteica. Asimismo, en la población senior se produce una reducción de la síntesis de proteínas musculares. Para estimular el anabolismo muscular de síntesis proteica, es necesaria una ingesta apropiada de proteínas y de aminoácidos esenciales, razón de más para incrementar dicha ingesta (Kaur y col., 2019; Skully, 2014). Una persona mayor con enfermedades agudas o crónicas tendrá una demanda aún mayor de proteínas debido a su respuesta anabólica deteriorada (Dickerson, 2016; Kaur y col., 2019). La deficiencia de proteínas en la dieta de las personas mayores es una de las principales causas de la pérdida de masa muscular, fuerza y función, lo que comúnmente conduce a altas tasas de morbilidad y mortalidad a través del alto riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad (de Sire y col., 2022; Wolfe, 2012). Mantener una buena masa muscular es, por tanto, crucial para conservar una buena salud en las personas mayores. Sin embargo, cumplir con los requisitos de ingesta diaria de proteínas recae en cumplir con la ingesta diaria recomendada de cada aminoácido esencial en lugar de simplemente cumplir con la dosis diaria recomendada de ingesta masiva de proteínas. En este sentido, las proteínas de origen animal contienen todos los aminoácidos esenciales, mientras que las de origen vegetal suelen carecer de los aminoácidos azufrados (Baugreet y col., 2019). Por ello, es necesario ingerir una mayor cantidad de proteína vegetal que animal para satisfacer los mismos requerimientos de aminoácidos esenciales (Pencharz y col., 2016). Dado que las proteínas vegetales son menos digeribles y tienen una biodisponibilidad menor que las proteínas animales (Cervantes-Pahm y col., 2014; Day y col., 2022), la combinación de diferentes proteínas en proporciones adecuadas y la suplementación con proteínas y técnicas novedosas en formulaciones de alimentos para personas mayores pueden garantizar el aporte adecuado de todos los aminoácidos esenciales (Baugreet y col., 2019). En este contexto, las legumbres son de gran interés por sus excelentes propiedades funcionales, tales como una gran capacidad de retención de agua o capacidad de gelificación. Asimismo, se pueden obtener fácilmente concentrados de proteínas de legumbres, los cuales se pueden adicionar a una gran gama de productos como por ejemplo la pasta, incrementando la calidad nutricional de la misma al mejorar el perfil de aminoácidos (Nadeeshani y col., 2022).

Así pues, es necesario el desarrollo de nuevos alimentos específicos para las personas mayores con el fin de ayudarles a mantener una buena salud y calidad de vida. Un ejemplo serían

los alimentos con textura modificada (ATM), los cuales se definen como alimentos sólidos y líquidos a los que se les modifica la textura y viscosidad, respectivamente (Raheem y col., 2021; Ribes y col., 2023b). Estos deben presentar texturas húmedas y suaves, así como tamaños de partícula reducidos con la finalidad de que se puedan mezclar, masticar, deglutir y disgregar fácilmente en la boca (Aguilera y col., 2023; Gallego y col., 2023; Ribes y Talens, 2023). Otra forma de diseñar alimentos específicos para este segmento poblacional es a través de técnicas como la impresión 3D de alimentos, en la que se mezclan y procesan los ingredientes, consiguiendo estructuras y formas que no se obtendrían mediante un procesado tradicional (Yang y col., 2017). Finalmente, el enriquecimiento con proteínas u otros compuestos también podría ser una opción para el desarrollo de nuevos alimentos destinados a personas senior. Sin embargo, cabe remarcar que estos productos deberán de proporcionar todos los nutrientes requeridos con la finalidad de no sufrir ningún tipo de deficiencia nutricional y no deben afectar a la calidad de la composición nutricional (Aguilera y col., 2023; Gallego y col., 2023; Raheem y col., 2021).

1.2. Procesado oral de alimentos (POA)

Debido a los cambios fisiológicos relacionados con la edad, las personas mayores comen menor cantidad de alimentos y consumen una menor variedad de los mismos. La disminución de la fuerza muscular, el deterioro oral y la degradación sensorial minimizan aún más sus opciones alimentarias (Caso y Vecchio, 2022; Hernández-Olivas y col., 2020; van der Zanden y col., 2014). Por ello, para poder diseñar alimentos destinados a personas mayores o con dificultades masticatorias es esencial conocer la relación que se produce entre la textura percibida y las características mecánicas y geométricas de los alimentos. Dicha asociación resulta ser de gran importancia para poder comprender el procesado oral de los alimentos (POA) y también para entender el proceso de formación del bolo alimenticio (Assad-Bustillos y col., 2022).

1.2.1. Consideraciones generales

El ser humano tiene la necesidad de fragmentar mecánicamente los alimentos que se introducen en la boca antes de que la digestión oro-gastrointestinal tenga lugar. Al fragmentar la comida, se incrementa el área de contacto facilitando la actuación de las enzimas digestivas que realizan la degradación química de la misma. En la nutrición humana, el POA es fundamental para la percepción de la textura y el sabor, así como para la asimilación de los nutrientes. Por ello, se considera una etapa clave para su aceptación y valoración (Chen, 2009). De esta manera, durante el POA, las acciones combinadas de los dientes, la lengua y la saliva conducen a la transformación de los alimentos en un bolo listo para ser deglutido con seguridad (Prinz y Lucas, 1997). Además, la incorporación de enzimas presentes en la saliva, como la α -amilasa, permite una mayor degradación del alimento para facilitar la digestión gastrointestinal (Freitas y col., 2018; Pentikäinen y col., 2014). Así pues, la formación del bolo se rige principalmente por dos procesos, la fragmentación y la hidratación que dependen en gran medida de la fisiología bucal del individuo, pero también de las propiedades y estructura de los alimentos (Chen, 2009).

1.2.2. Evaluación del POA: la importancia de las propiedades del bolo alimenticio

La evaluación del POA incluye aspectos relacionados con el comportamiento masticatorio (duración de la masticación, número de ciclos, esfuerzo muscular) y la caracterización de las propiedades del bolo (hidratación, reología y tamaño de partícula), junto con su evolución durante el procesado oral (Assad-Bustillos y col., 2022). Uno de los métodos más habituales para evaluar el comportamiento de la masticación es la electromiografía (Assad-Bustillos y col., 2022; Vanhatalo y col., 2022). Esta técnica cuantifica la señal bioeléctrica que tiene lugar durante la contracción muscular, midiendo tanto el esfuerzo muscular como la duración de la masticación, el número de ciclos y la frecuencia masticatoria (Assad-Bustillos y col., 2022). No obstante, presenta algunos inconvenientes y, por ello, es habitual utilizar otras metodologías como el uso de equipos que permiten preparar bolos alimenticios con una distribución de tamaño de partícula similar a la que se obtendría *in vivo* (Blanquet Diot y col., 2021; Peyron y col., 2018; Ribes y col., 2023a). En estos casos, se registra la fuerza aplicada, el grado de cizallamiento y las partículas recolectadas (Peyron y col., 2018). Otros estudios han optado por utilizar un reómetro (Talens y col., 2021) o por realizarlo directamente *in vivo* con voluntarios, determinando el número de ciclos, el tiempo de masticación y el ratio entre estos dos parámetros (Ribes y col., 2023b).

Como se ha mencionado previamente, también es esencial realizar la caracterización del bolo con la finalidad de entender cómo se lleva a cabo la deglución y cómo se percibe el producto a nivel sensorial durante del POA (Assad-Bustillos y col., 2022). Para la determinación del tamaño de partícula se suelen emplear métodos de tamizado en seco, ya sea manual (Blanquet-Diot y col., 2021; Peyron y col., 2018; Ribes y col., 2023b) o mecánico (Ribes y col., 2023a). Sin embargo, también es posible determinar el tamaño de partícula de los bolos por análisis de imagen (Chen y col., 2022). En cuanto a la incorporación de saliva al bolo, esta se evalúa frecuentemente por diferencia de humedad entre el bolo y el alimento (Chen y col., 2022; Peyron y col., 2018; Ribes y col., 2023b; Vahatalo y col., 2022). Por otro lado, otras propiedades reológicas y viscoelásticas del bolo también son de gran utilidad para comprender el comportamiento durante la masticación. Estas propiedades están relacionadas con la textura de los alimentos, su descomposición y su capacidad para ser deglutidos, lo que finalmente repercute en la digestión gastrointestinal y la bioaccesibilidad de los nutrientes de los alimentos (Ribes y col. 2023b).

Finalmente, con respecto a las propiedades mecánicas del bolo, es habitual el uso de texturómetros para la realización de tests de compresión uniaxiales tales como el TPA (Blanquet-Diot y col., 2021; Ribes y col., 2023b). Sin embargo, estas metodologías suelen calificarse como inadecuadas por ser demasiado simples, dificultando la relación con las propiedades sensoriales (Assad-Bustillos y col., 2022).

1.2.3. Estructura de los alimentos, procesamiento oral y percepción de la textura

Cada alimento tiene una estructura definida con diferentes niveles de organización de la materia que dependen de la naturaleza de la matriz, es decir, natural, como la carne o las plantas o reensamblada después del procesamiento, como el pan y las galletas (Lillford, 2017). Diversos estudios han demostrado que la textura comprende todas las características estructurales y propiedades mecánicas de los alimentos, detectadas mediante instrumentación y/o por los sentidos (visión, oído y tacto). Así pues, la textura puede entenderse como un conjunto complejo

de características sensoriales en el que intervienen diversos parámetros que engloban los aspectos reológicos y estructurales de los alimentos, y que son detectables a través de sensaciones mecánicas, visuales y táctiles (Raheem y col., 2021).

La preferencia por la textura de los alimentos cambia con la edad. El debilitamiento de la fuerza muscular reduce la capacidad de consumir alimentos duros o fibrosos (Cichero, 2016; de Sire y col., 2022). Además, la pérdida de dientes y la reducción de la masa muscular masticatoria hacen que el proceso de comer sea agotador (Peyron y col., 2017), lo que combinado con el consumo de alimentos con una textura dura puede provocar problemas dentales en el envejecimiento (Cichero, 2016). Por todas estas razones, encontrar la relación que guardan la estructura y la textura entre ellas es de gran importancia para poder diseñar alimentos, pudiendo ser el POA determinante para establecer dicha relación (Assad-Bustillos y col., 2022).

1.2.3.1. Impacto de la estructura y composición de los alimentos en el POA

Existen ciertos parámetros que tienen gran influencia en el POA, en los mecanismos de fragmentación y en la formación del bolo alimenticio, tales como la estructura, la composición o el comportamiento mecánico de los alimentos (Assad-Bustillos y col., 2022; Gallego y col., 2022). Asimismo, hay evidencias de que la composición y estructura de los alimentos también tienen efecto sobre la hidratación y propiedades viscoelásticas del bolo (Gallego y col., 2022). En general, se ha observado que los productos a base de cereales que tienen una estructura porosa incrementan la tasa de flujo salival y requieren un mayor esfuerzo durante la masticación (Assad-Bustillos y col., 2022; Gallego y col., 2022). Esto afectaría a las características del bolo, así como a la percepción oral. Adicionalmente, hay que tener en cuenta el estado dental del individuo puesto que los mecanismos de fragmentación serán distintos y, por tanto, habrá una distribución de tamaño de partícula del bolo diferente (Gallego y col., 2022). Otros factores que hay que tener en consideración son la grasa y la corteza de los alimentos. En los alimentos más grasos, se ha observado una reducción del número de ciclos de masticación, mientras que en los alimentos con corteza, tales como el pan, se han obtenido bolos menos hidratados y más heterogéneos (Assad-Bustillos y col., 2022). Finalmente, cabe destacar que la estructura y composición de los alimentos también influirán en la percepción de aroma y sabor. Así pues, se ha observado que la superficie de los fragmentos del bolo puede ser determinante en relación con la intensidad de dulzor del alimento y con la liberación de sal del mismo (Gallego y col., 2022).

1.2.3.2. Impacto del POA en la percepción de la textura

Tal y como se ha comentado previamente, la textura es uno de los parámetros que determina la calidad y la aceptabilidad del producto por parte del consumidor, además de su vida útil. Todos los alimentos tienen una textura definida y esta influye en el procesado y manipulación de los mismos (Raheem y col., 2021). Además, algunos estudios han demostrado que el POA también tiene un efecto en la percepción de la textura, ya que individuos que presentaban un comportamiento oral parecido, escogían el mismo tipo de alimentos (Assad-Bustillos y col., 2022). Por otro lado, determinados estudios indican que durante el POA pueden producirse cambios dinámicos en la percepción de la textura de los alimentos (Munialo y col., 2019). De esta forma, el POA se describe como un proceso dinámico (Assad-Bustillos y col., 2022) que empieza fuera de la cavidad oral a través de la vista y el oído (Munialo y col., 2019). Posteriormente, en las primeras fases de la masticación, dicha percepción estará más

influenciada por las propiedades reológicas y/o mecánicas iniciales de los alimentos, así como por su estructura; mientras que en las etapas posteriores del POA dependerá más de las propiedades interfaciales y de flujo del bolo alimenticio (Assad-Bustillos y col., 2022; Calligaris y col., 2022). Otro atributo que contribuye a percibir la textura al final del POA es la lubricación, pues determinará las propiedades del bolo e influirá en la facilidad de deglución (Munialo y col., 2019). Una vez se ha formado el bolo, se produce una interpretación cognitiva de la textura y esto deriva en la liberación de sabor (Munialo y col., 2019).

Así pues, para poder cuantificar la percepción de la textura, se han empleado técnicas instrumentales, como son los reómetros o texturómetros (Munialo y col., 2019), y técnicas sensoriales temporales, entre las cuales se encuentra la Intensidad Temporal (IT), el Perfil Progresivo (PP) o el Dominio Temporal de las Sensaciones (TDS) (Assad-Bustillos y col., 2022). Sin embargo, cabe destacar que las técnicas previamente mencionadas suelen ser sofisticadas e inadecuadas para determinados grupos poblacionales como por ejemplo la población senior, pues en este caso hay que tener en cuenta otros factores tales como la manipulación oral o la facilidad de formación del bolo (Assad-Bustillos y col., 2022).

1.3. Consecuencias del envejecimiento en el POA

Durante el envejecimiento, se producen una serie de cambios fisiológicos en el organismo. Entre las alteraciones funcionales de la capacidad masticatoria que se presentan con la edad se encuentran la disminución de la fuerza muscular, debido a la sarcopenia, y el deterioro del estado de salud bucal. Este último se caracteriza por pérdida de dientes, enfermedades dentales y periodontales y reducción del flujo salival, entre otras (Henshaw y Calabrese, 2001).

Diversos estudios han demostrado que la fuerza mandibular (fuerza de mordida) y compresión lengua-paladar se correlacionan de manera negativa con la edad. Además, la fuerza de mordida depende del estado dental de las personas senior, impactando en el número de masticaciones y el gusto por los alimentos (Laguna y col., 2016). Además, la lengua y diversos tejidos móviles como los labios o las mejillas también ayudan en la formación del bolo, posicionando la comida entre los dientes y lubricándola con saliva para producir un bolo más cohesivo, de textura más suave y seguro (Peyron y col., 2018). En cuanto a la saliva, esta se define como un fluido heterogéneo que contiene un 98 % de agua. La tasa de flujo de saliva no estimulada en adultos mayores de 43 años es de 0,45 mL/min, mientras que la tasa de flujo de saliva estimulada es de 1,25 mL/min. Las personas que padecen xerostomía (sequedad bucal) por causas como el envejecimiento, los efectos secundarios de una medicación o las infecciones tendrán dificultades para formar y deglutir un bolo de forma segura, lo que aumenta el riesgo de atragantamiento (Fantozzi y col., 2020). En cuanto a la pérdida de dientes (edentulismo), podría ser la principal causa de la disminución de la eficiencia del proceso de masticación al producirse un incremento en el número de ciclos y, por tanto, una mayor duración de la masticación (Aquilanti y col., 2020; Peyron y col., 2018). Además, como la pérdida de dientes va acompañada de la desaparición del ligamento periodontal, también se pierden la sensibilidad y la percepción táctil. De hecho, los mecanorreceptores de este tejido son los encargados de dar información detallada sobre la relación espacial y la modulación de la carga en el proceso de fragmentación de los alimentos. Debido a ello la presión y las fuerzas ejercidas al masticar se ven perturbadas, lo que provoca alteraciones masticatorias (Johansson y col., 2006). Como consecuencia de todas estas disfunciones, los bolos que se forman tienen un mayor tamaño de

partícula y dureza, reduciéndose el grado de descomposición estructural de la comida y dificultando la liberación oral de nutrientes (Peyron y col., 2018; Ribes y col., 2023a). Además, también se ve influenciada la percepción sensorial y la aceptabilidad de los alimentos (Assad-Bustillos y col., 2022).

1.4. POA y consecuencias del envejecimiento en la digestibilidad de los nutrientes

La digestión de los alimentos es un proceso complejo que comprende las fases oral, gástrica e intestinal, en las que tienen lugar numerosos procesos mecánicos, químicos y enzimáticos. Las personas mayores sufren un deterioro fisiológico, con alteraciones gastrointestinales derivadas del proceso de envejecimiento. Tal y como se ha mencionado previamente, durante el envejecimiento se producen cambios relevantes en la fisiología oral, como el empeoramiento de la dentición y la reducción de la salivación (Khan y col., 2014; Nagler y Hershkovich, 2005). La pérdida de la estructura de los alimentos, que comienza en la boca, es un factor relevante en la digestión de nutrientes (Gao y col., 2022), que probablemente explique las diferencias en la digestión entre adultos y ancianos (Levi y col., 2017).

Por otro lado, el proceso de envejecimiento ralentiza el vaciado gástrico, reduce la secreción de lipasa gástrica y pepsina, y alcaliniza el entorno gástrico (Holt, 2007; Rémond y col., 2015; Salles, 2007). A nivel del intestino delgado, se produce una disminución de la actividad peristáltica y una reducción de la secreción de enzimas pancreáticas y sales biliares (Holt y Balint, 1993; Laugier y col., 1991; Soenen y col., 2016). Además, la salud y la microbiota colónica se alteran con la edad, produciéndose una reducción de la motilidad colónica que predispone al estreñimiento (Salles, 2007). Estos cambios gastrointestinales juegan un papel etiológico en la desnutrición asociada con la edad (de Groot y col., 2000), que se relaciona con graves consecuencias como el aumento de la estancia hospitalaria, disminución de la capacidad motora, empeoramiento de la calidad de vida o el aumento del riesgo de mortalidad (Agarwal y col., 2013).

1.4.1. Digestibilidad de los hidratos de carbono

Uno de los cambios más notables relacionados con la edad en la ingesta de macronutrientes es el aumento del porcentaje de energía alimentaria procedente de los hidratos de carbono (de Groot y col., 2000). Además, el metabolismo de los hidratos de carbono se ve afectado por el proceso de envejecimiento, con una disminución de la tolerancia a la glucosa (Elahi y Muller, 2000). Por estas razones, en los últimos años ha aumentado el interés por evaluar la digestibilidad de los hidratos de carbono en la población senior. Sin embargo, sólo unos pocos estudios han evaluado el impacto de los cambios en la fisiología gastrointestinal de las personas mayores sobre la digestibilidad de los hidratos de carbono (Hernández-Olivas y col., 2020b, 2021a; Li y col., 2022).

La hidrólisis del almidón, aunque se produce principalmente en las fases oral e intestinal, puede producirse también en la fase gástrica debido a la acción residual de la α -amilasa salival antes de que el pH descienda por debajo de 4. Posteriormente, en la fase intestinal, las enzimas del borde en cepillo y la α -amilasa pancreática entran en juego para terminar de absorber la glucosa procedente de la hidrólisis del almidón (Freitas y Le Feunteun, 2019; Ribes y col., 2023c).

Sin embargo, es importante remarcar que las deficiencias orales que originan bolos alimenticios con tamaños de partícula grandes van a dificultar el inicio de la digestión oral, alternado su posterior digestión gastrointestinal (Ribes y col., 2023a).

Por otra parte, cabe remarcar que la hidrólisis del almidón depende de factores como la cristalinidad, el grado de hinchamiento, la gelatinización del gránulo de almidón y, en gran medida, de la estructura inicial de la matriz alimentaria que rige la accesibilidad de la enzima al sustrato (Fardet y col., 2006). De hecho, los alimentos más densos se asocian con valores más bajos de índice glicémico (IG), ya que una estructura más compacta dificulta la difusión de los fluidos digestivos y, por tanto, la accesibilidad de las enzimas. Asimismo, los procesos térmicos como el secado o la pre-cocción pueden inducir la presencia de una red de proteínas altamente reticulada que dificulta la digestión del almidón y, por lo tanto, reduce el IG (Petitot y Micard, 2010).

1.4.2. Proteólisis

La proteína es un nutriente esencial en la dieta de adultos y ancianos y su digestión implica la descomposición mecánica de matrices sólidas, variaciones de pH, hidrólisis catalizada por proteasas dependientes del pH, tránsito a través del tracto gastrointestinal y absorción (Baugreet y col., 2019; Rivera del Río y col., 2022). En la fase oral, a pesar de que no tiene lugar la proteólisis, es importante destacar que, dependiendo de la textura del alimento, del número de ciclos de masticación y de la densidad de la saliva, se formará un bolo más compacto o más desintegrado, que influirá posteriormente en el resto de la digestión. En la fase gástrica, comienza la digestión de las proteínas debido a la acción de la pepsina y el ácido clorhídrico. El ambiente ácido provoca que las proteínas se desplieguen y desenrollen, lo que permite la actividad de la pepsina para descomponer las proteínas en péptidos y aminoácidos (Gropper y Smith, 2013). Finalmente, en el duodeno, las proteasas pancreáticas producen la parte final de la degradación proteica para la absorción intestinal. La biodisponibilidad de las proteínas en las personas mayores puede verse comprometida debido a la reducción de la absorción en la fase intestinal. Dicha absorción de nutrientes digeridos se ve afectada por la secreción digestiva, la motilidad y el control general del sistema nervioso entérico (Hinsberger y Sandhu, 2004). Por ello, la absorción inhibida de proteínas digeridas en los ancianos también debe considerarse al evaluar las características digestivas de las fuentes de proteínas.

Por otro lado, es conveniente resaltar que cualquier modificación en la actividad enzimática, en la duración de la digestión o en la diferente estructura en el bolo oral, podría producir cambios en la digestibilidad de las proteínas en los ancianos en comparación con los adultos. Finalmente, cabe remarcar que una ingesta insuficiente de proteínas provocará inevitablemente sarcopenia en los ancianos con respecto a los adultos jóvenes. Por ello, es importante saber si dicha ingesta es igualmente eficaz en términos de digestibilidad de las proteínas. A partir de este posible cambio, podrían adaptarse a las necesidades de las personas mayores no sólo las recomendaciones de ingesta diaria, sino también la formulación de algunos alimentos. En este sentido, La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda la puntuación de aminoácidos indispensables digeribles de proteínas (DIAAS) como indicador de la calidad de las proteínas (2013). Utilizando esta medida, no se puede afirmar que las proteínas con un DIAAS inferior a 75 sean de alta calidad, mientras que aquellas con un DIAAS de 75 a 99 se consideran de alta calidad y aquellas con un DIAAS ≥ 100 se consideran proteínas

de excelente calidad (Herreman y col., 2020). Una puntuación DIAAS superior a 100 indica que la fuente de proteína no tiene aminoácidos limitantes y puede satisfacer los requisitos fisiológicos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo fue estudiar el impacto del procesado oral y condiciones digestivas *in vitro* en la digestibilidad de nutrientes de pasta de lentejas rojas.

2.2. Objetivos específicos

Con el fin de lograr el objetivo general del trabajo, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades texturales de la pasta de lentejas rojas para dos niveles de cocción.
- Evaluar el comportamiento del procesado oral *in vivo* de los bolos de pasta.
- Determinar las propiedades granulométricas y texturales de los bolos de pasta.
- Caracterizar las propiedades viscoelásticas de los bolos.
- Analizar la digestibilidad *in vitro* de proteínas y productos procedentes de la digestión de almidón.

2.3. Plan de trabajo

Para poder alcanzar todos los objetivos propuestos se realizó el siguiente plan de trabajo:

- Definición de dos niveles de cocción: *al dente* y cocción suave.
- Caracterización de las propiedades texturales de la pasta mediante un ensayo de corte.
- Elaboración *in vivo* de los distintos bolos simulando una masticación normal y deficiente.
- Evaluación del procesado oral de los bolos y determinación de las propiedades granulométricas de los bolos de pasta.
- Determinación de las propiedades texturales y viscoelásticas de los bolos.
- Evaluación de la digestibilidad *in vitro* de productos del almidón mediante la determinación de azúcares reductores por el método DNS.
- Evaluación de la digestibilidad *in vitro* de proteínas a través de la determinación de proteínas solubles totales, péptidos solubles-TCA y grupos amino libres.

3. Materiales y métodos

3.1. Materiales y reactivos

La pasta de harina de lentejas rojas se adquirió en un supermercado local (Valencia, España). Los reactivos empleados en este trabajo fueron las enzimas α -amilasa pancreática, pepsina gástrica y pancreatina porcinas, extracto de bilis porcina/bovina, albúmina de suero bovino (BSA), ácido trinitrobenzenosulfónico (TNBS), ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), L-Tirosina, L-Leucina, colorante azul de Coomassie G-250 y glucosa suministrados por Sigma Aldrich, Co. (St. Louis, MO, USA), y ácido tricloroacético (TCA), cloruro de potasio, fosfato monopotásico, bicarbonato de sodio, cloruro sódico, cloruro de magnesio hexahidratado y cloruro cálcico dihidratado, hidróxido sódico, y ácido clorhídrico suministrados por Scharlab, S.L. (Sentmenat, Barcelona, España).

3.2. Cocción de la pasta

La pasta fue cocida en agua destilada (proporción 1:20, p/v) hasta alcanzar dos niveles de cocción distintos, siguiendo las indicaciones del proveedor: *al dente* (CD) y suave (CS). Tras la cocción, la pasta se escurrió con un colador y se dejó enfriar durante 5 min para su posterior análisis.

3.3. Textura de la pasta cocida: ensayo de corte

La textura de la pasta cocida fue evaluada a través de un ensayo de corte, haciendo uso de un texturómetro TA-TX2 (Stable Micro Systems, Surrey, UK) con una sonda *Light Knife Blade*. Las condiciones del ensayo fueron: velocidad antes y durante el ensayo de 1 mm/s, velocidad después del ensayo de 10 mm/s y 100 % de esfuerzo. Los parámetros registrados en este ensayo fueron la fuerza máxima (N) y el área bajo la curva obtenida (N·s). Se realizaron 20 repeticiones por cada tipo de cocción y masticación y se analizaron los datos con el software *Exponent*.

3.4. Formación del bolo alimenticio y evaluación del procesado oral

Los bolos alimenticios fueron preparados por 4 voluntarios, con buena salud bucal, a los cuales se les pidió que masticasen $6,0 \pm 0,1$ g de pasta hasta que sintiesen la necesidad de deglutir. Este tipo de masticación fue denominada masticación normal (MN). Tras el procesado oral de las muestras, se evaluó el número de ciclos de masticación realizados para las pastas CD y CS, así como el tiempo transcurrido durante la masticación de las muestras y la cantidad de saliva incorporada al bolo (Álvarez y col., 2020). Por otro lado, también se simuló una masticación deficiente (MD). En este caso, el número de ciclos se redujo al 50 % con la finalidad de imitar las condiciones orales comúnmente observadas en personas senior (Blanquet-Diot y col., 2021; Hernández-Olivas y col., 2020).

3.5. Caracterización del bolo alimenticio

3.5.1. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico fue llevado a cabo mediante un tamizado manual en seco, siguiendo el protocolo descrito por Ribes y col. (2023b). Los bolos se vertieron sobre una tela de nylon y se enjuagaron con agua con la finalidad de eliminar los restos de saliva. A continuación, se secaron en estufa a 37 °C durante 30 min y las partículas secas se vertieron sobre una columna de 11 tamices ordenados de mayor a menor tamaño de poro (10-0,125 mm). Finalmente, los resultados se expresaron como el peso acumulado de las partículas retenidas en cada tamiz. Asimismo, también se determinó el tamaño medio de partícula (d_{50}), definido como la apertura de un tamiz teórico a través del cual pasaría el 50 % del peso del bolo (Peyron y col., 2018). Se realizaron 8 repeticiones por cada tipo de cocción y masticación.

3.5.2. Propiedades texturales

La textura de los distintos bolos se determinó con un ensayo de doble compresión (TPA) empleando un texturómetro TA-TX2 (Stable Micro Systems, Surrey, UK), equipado con una célula de carga de 25 kg (Ribes y col., 2023). Los bolos se recogieron en recipientes cilíndricos de 50 mm de altura y 28 mm de diámetro y fueron comprimidos con una sonda cilíndrica de 20 mm. Los parámetros del ensayo fueron: velocidad pre y post ensayo de 5 mm/s, velocidad de ensayo de 3 mm/s y compresión de doble ciclo al 70 %. Los parámetros de textura que se midieron fueron la dureza, cohesividad y adhesividad (Wee y col., 2019). Se utilizaron 24 bolos por cada tipo de cocción y masticación. Los datos fueron analizados con el software *Exponent*.

3.5.3. Propiedades viscoelásticas

La caracterización viscoelástica de los distintos bolos se realizó utilizando un reómetro Kinexus Pro placa-placa (Malvern Instruments Ltd., MA, USA). El equipo consta de un cartucho *Peltier* con control de temperatura. Mediante un ensayo oscilatorio de gran amplitud (LAOS), se definieron los límites de la región viscoelástica lineal (RVL) y las características viscoelásticas no lineales. La prueba se llevó a cabo a 1 Hz, en un rango de deformación comprendido entre 0,1 y 100 %. Del ensayo, y mediante el empleo del software *rSpace* de Kinexus, se obtuvo el punto de flujo ($G' = G''$), módulo elástico o de almacenamiento (G'), módulo viscoso o de pérdida (G''), módulo complejo (G^*), la viscosidad compleja (η^*), la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) y módulo elástico (G'_{RVL}), los valores de estrés (Stress_{RVL}) y los valores de deformación (Strain_{RVL}) en la RVL. Para realizar las pruebas se prepararon 8 bolos de pasta CD y CS por condición de masticación y todos los ensayos se realizaron a 37 °C.

3.6. Digestión oro-gastrointestinal de la pasta de lentejas rojas

Se utilizaron cuatro modelos de digestión oro-gastrointestinal: i) Masticación Normal-Digestión Normal (MN-DN); ii) Masticación Deficiente-Digestión Normal (MD-DN); iii) Masticación Normal-Digestión Senior (MN-DS); y iv) Masticación Deficiente-Digestión Senior (MD-DS). La digestión normal se realizó siguiendo el protocolo INFOGEST descrito por Brodkorb y col. (2019), pero con ciertas modificaciones, ya que la fase oral se realizó *in vivo* por una

voluntaria joven con buena salud bucal (sección 3.4). En el caso de la digestión senior, el protocolo INFOGEST se adaptó a dicha población (Menard y col., 2023). Las condiciones oro-gastrointestinales de cada una de las digestiones se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Condiciones oro-gastrointestinales observadas en adultos sanos y en personas senior (métodos INFOGEST Brodkorb y col. (2019) y Menard y col. (2023), respectivamente).

Etapa de la digestión	Condiciones	Tipo de digestión	
		Normal	Senior
Oral	Duración	2 min	2 min
	Amilasa	75 U/mL	75 U/mL
	Simulación	<i>In vivo</i>	<i>In vivo</i>
Gástrica	Duración	120 min	180 min
	Pepsina	2000 U/mL	1200 U/mL
	pH	3	3,7
	Simulación	<i>In vitro</i>	<i>In vitro</i>
Intestinal	Duración	120 min	120 min
	Pancreatina	100 U/mL	80 U/mL
	Bilis porcina	10 mM	6,7 mM
	pH	7	7
	Simulación	<i>In vitro</i>	<i>In vitro</i>

En primer lugar, se prepararon los distintos fluidos empleados en la digestión oro-gastrointestinal *in vitro*: el fluido salival simulado (FSS), el fluido gástrico simulado (FGS) y el fluido intestinal simulado (FIS), tal y como describe Minekus y col. (2014). Además, para simular la digestión oro-gastrointestinal se empleó un Intell-Mixer™ RM-2 (ELMI Ltd., Riga, Latvia) a 40 rpm y una estufa Selecta (JP Selecta, S.A., Barcelona, España) a 37 °C. Todos los ensayos de digestión se realizaron en tubos falcon por duplicado. Una vez finalizada la fase oral el pH se ajustó a 3 con la adición de HCl (6 M) para simular la fase gástrica. Al terminar esta etapa se añadió NaOH (1M) hasta pH 7 con el fin de parar la reacción enzimática. En ese momento, se extrajo una alícuota de 1 mL de cada tubo, que fue centrifugada durante 10 min a 4 °C y 8.000 g. El sobrenadante se recogió y almacenó para posteriores análisis. A continuación, se simuló la fase intestinal, y tras los 120 min, las muestras se pusieron en un baño de agua hirviendo (98 °C, 5 min), seguido de un baño de hielo con el objetivo de parar la reacción enzimática. Por último, se centrifugaron durante 15 min a 4 °C y 8.000 g, y el sobrenadante se recogió y almacenó para las siguientes determinaciones. Paralelamente, se prepararon blancos (mezcla de fluidos digestivos, enzimas y sales biliares, sin muestra) que también se sometieron al proceso de digestión oro-gastrointestinal *in vitro* descrito.

3.7. Digestibilidad del almidón de la pasta de lentejas rojas

Con el objetivo de evaluar los productos de digestión del almidón, se determinó la concentración de azúcares reductores de las muestras usando el método descrito por Miller (1959). Brevemente, se agregaron a 50 µL de muestra, 500 µL de la solución DNS y se incubó en un baño de agua a 98 °C durante 5 min. Posteriormente, se enfriaron en un baño de hielo y se añadieron 4,5 mL de agua bidestilada. La mezcla se agitó y se midió la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Helios Zeta, Thermo Scientific, Reino Unido). Los resultados

fueron expresados en mg de glucosa/g muestra (base seca, b.s.) a partir de una recta patrón de glucosa en un rango de concentraciones de 0 a 30 mg/mL.

3.8. Digestibilidad proteica de la pasta de lentejas rojas

3.8.1. Contenido total de proteínas solubles

La determinación del contenido total de proteínas solubles se realizó siguiendo el método descrito por Bradford (1976). Para ello, se mezclaron 40 μ L de muestra con 2 mL de reactivo de Bradford, los cuales se dejaron incubando 5 min a temperatura ambiente. La absorbancia de las muestras se determinó a 595 nm mediante un espectrofotómetro UV-Visible (Helios Zeta, Thermo Scientific, Reino Unido). Las muestras se analizaron por triplicado y los resultados se expresaron en mg de proteína seroalbúmina bovina (BSA)/g muestra b.s., por lo que fue necesario elaborar una recta patrón de BSA con concentraciones de 0 a 1 mg/mL.

3.8.2. Contenido de péptidos solubles en TCA

El contenido de péptidos solubles en TCA se determinó siguiendo el método propuesto por Ketnawa y Ogawa (2019). En primer lugar, se adicionaron 450 μ L de TCA 5 % (p/v) a 50 μ L de muestra, se agitaron en un vórtex, y se almacenaron a 4 °C durante 60 min. Pasado ese tiempo, se centrifugaron las muestras a 8.000 g y 4 °C durante 10 min. Finalmente, se recogió el sobrenadante y se midió la absorbancia a 280 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Helios Zeta, Thermo Scientific, Reino Unido). Las muestras se analizaron por triplicado. Los resultados se expresaron en mg de Tirosina/g muestra b.s., obtenidos a partir de una recta patrón de L-Tirosina (0-1 mg/mL).

3.8.3. Contenido de grupos amino libres

El contenido de grupos amino libres se determinó según la metodología TNBS descrita por Adler-Nissen (1979). Para el análisis, a 40 μ L de muestra se le adicionaron 320 μ L de tampón fosfato de sodio 0,2 M a pH 8,2 y 320 μ L de TNBS 0,1% (v/v). Seguidamente, la mezcla fue agitada e incubada a 50 °C durante 60 min. A continuación, se añadieron 640 μ L de HCl 0,1 N con el fin de parar la reacción y se volvió a incubar durante 30 min a temperatura ambiente. Una vez transcurrido ese tiempo, se midió la absorbancia a 340 nm con un espectrofotómetro UV-Visible (Helios Zeta, Thermo Scientific, Reino Unido). Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron como mg de L-Leucina/g muestra b.s. Para ello, se elaboró una recta patrón de L-Leucina disuelta en SDS 1% con concentraciones comprendidas entre 0 y 2,75 mM.

3.9. Análisis estadístico

Los datos se trataron estadísticamente con el programa Statgraphics Centurion XVIII (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, EE. UU) y se presentaron como media \pm desviación estándar (DE). Para estudiar las diferencias entre la distribución del tamaño de partícula de los bolos se utilizó la prueba ANOVA de medidas repetidas de una vía, seguida de la prueba *post-hoc* de Tukey-Kramer para las comparaciones de medias. Además, se realizó un ANOVA simple, seguido de la prueba *post-hoc* de Tukey-Kramer para las comparaciones de

medias, a fin de determinar las diferencias entre la textura de la pasta tras la cocción, el d_{50} de los bolos (MN y MD), la textura y las propiedades viscoelásticas de los bolos, y la digestibilidad de las muestras bajo diferentes modelos de digestión. El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

4. Resultados y discusión

4.1. Textura de la pasta de lentejas rojas cocida

La Figura 1 presenta los resultados de textura de la pasta CD y CS. Como puede observarse, las muestras presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con relación a la fuerza de corte y la firmeza, entendida esta última como la resistencia de la pasta cocida a la masticación (Cimini y col., 2019). En los dos atributos medidos, la pasta CS mostró valores más bajos que la pasta CD. Esto puede explicarse por el aumento del tiempo de cocción de la pasta. Así pues, la pasta absorberá más agua y será menos firme, disminuyendo la fuerza de corte (Oduro-Obeng y col., 2021). Este parámetro es de gran importancia durante POA, ya que podría estar relacionado con el número de ciclos y el tiempo de masticación (Munialo y col., 2019).

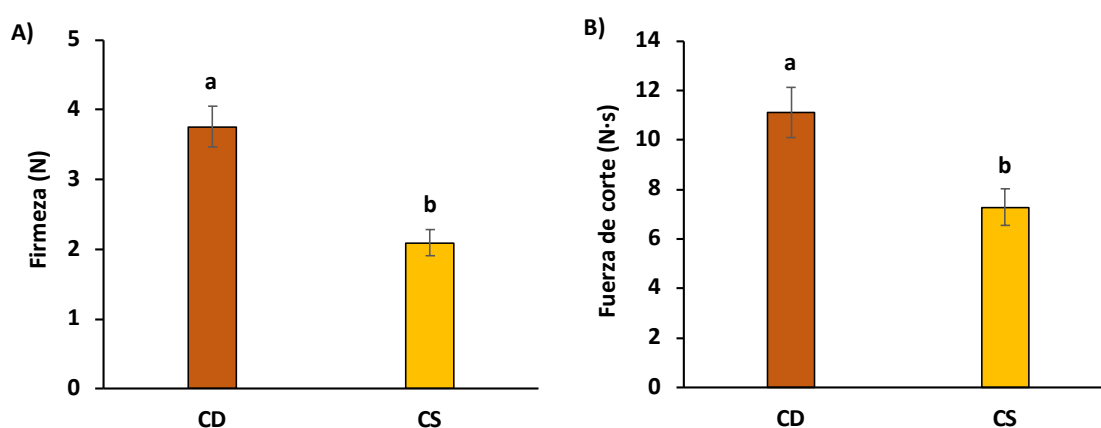


Figura 1. Textura de la pasta de lentejas rojas *al dente* (CD) y de cocción suave (CS): firmeza (A) y fuerza de corte (B). Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras cocinadas ($p < 0,05$).

4.2. Comportamiento del procesado oral de la pasta de lentejas rojas

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos durante el estudio del POA. Tal y como puede observarse, existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el tiempo de masticación y en el número de ciclos de masticación. Concretamente, para la muestra CD-MN se requirió un número de masticaciones significativamente mayor ($p < 0,05$), en comparación con la CS-MN, con la finalidad de obtener un bolo que fuese seguro para deglutir. En cuanto a las muestras MD, el número de ciclos de masticación se redujo a la mitad para simular las deficiencias orales observadas en personas senior (Hernández-Olivas y col., 2022; Ribes y col., 2023b). Como se ha comentado anteriormente, la pasta CD se cocinó durante menos tiempo que la pasta CS, incorporando una menor cantidad de agua y, por tanto, adquiriendo una mayor firmeza. En este sentido, Bolhuis y Forde (2020) observaron que aquellos alimentos que contenían una menor cantidad de agua inicial necesitaban más ciclos de masticación, lo que coincide con los resultados obtenidos.

Tabla 2. Comportamiento del procesado oral de la pasta tras la masticación normal y deficiente.

Muestra	N.º de masticaciones	Tiempo de masticación (s)	Saliva (g)
CD-MN	24 ± 2 ^a	19 ± 2 ^a	2,5 ± 1,1 ^a
CD-MD	12 ± 0 ^c	9 ± 1 ^c	1,9 ± 1,1 ^{ab}
CS-MN	18 ± 3 ^b	14 ± 2 ^b	1,3 ± 0,7 ^{ab}
CS-MD	9 ± 0 ^d	7 ± 1 ^c	0,9 ± 0,8 ^b

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre los bolos ($p < 0,05$). CD-MN: Cocción *al dente*-Masticación Normal; CD-MD: Cocción *al dente*-Masticación Deficiente; CS-MN: Cocción Suave-Masticación Normal; CS-MD: Cocción Suave-Masticación Deficiente

Por otro lado, la muestra CD-MN requirió un mayor tiempo de masticación. Adicionalmente, cabe destacar que la muestra CS-MN necesitó un tiempo de masticación significativamente ($p < 0,05$) menor. En este contexto, Chen y col. (2022) demostraron que productos más duros necesitaron un mayor número de ciclos para alcanzar un umbral de deglución adecuado, así como una mayor fuerza mandibular para poder fragmentarlos. Finalmente, Álvarez y col. (2020), observaron que los alimentos con un menor contenido en humedad requirieron un mayor tiempo de masticación

En relación con la incorporación de saliva, las muestras estudiadas mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellas. Las muestras MN contenían una mayor cantidad de saliva con respecto a las MD. La muestra que más saliva incorporó fue la CD-MN, seguida por la CD-MD, CS-MN y CS-MN. Diferentes estudios indican que los alimentos incorporarán una mayor o menor cantidad de saliva en función de su humedad inicial y su estructura. Así pues, Álvarez y col. (2020) observaron que alimentos como chips de patata y manzana laminada incorporaron diferente cantidad de saliva durante la masticación, siendo mayor en el caso de las chips de patata, debido su menor contenido en humedad.

4.3. Propiedades granulométricas de los bolos

En la Figura 2, se muestran los resultados de la distribución del tamaño de partícula, así como el d_{50} de los distintos bolos. En cuanto a la distribución del tamaño de partícula, existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los bolos formados con una MN y simulando una MD. Los bolos formados con una MN presentaron menor proporción de partículas grandes que los bolos MD (Figura 2 A). Por otro lado, en lo que respecta al d_{50} , los valores fueron significativamente ($p < 0,05$) menores en los bolos CD-MN y CS-MN en comparación con los dos bolos formados con una MD (Figura 2 B). Esto podría explicarse por la presencia de bolos poco disgregados o fragmentados tras simular la masticación deficiente (sección 3.4). En general, las personas senior forman bolos con mayores tamaños de partícula y menor grado de desestructuración (Peyron y col., 2018). Por último, es conveniente remarcar que la estructura de los alimentos también juega un papel importante en la producción de un bolo seguro para deglutir (Calligaris y col., 2022), así como en la fragmentación de los mismos. De esta forma, los bolos CS presentaron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores de d_{50} que los bolos CD. Esto podría deberse a la mayor cantidad de agua incorporada durante la cocción y menor firmeza adquirida, tal y como se ha comentado anteriormente (Figura 2 B).

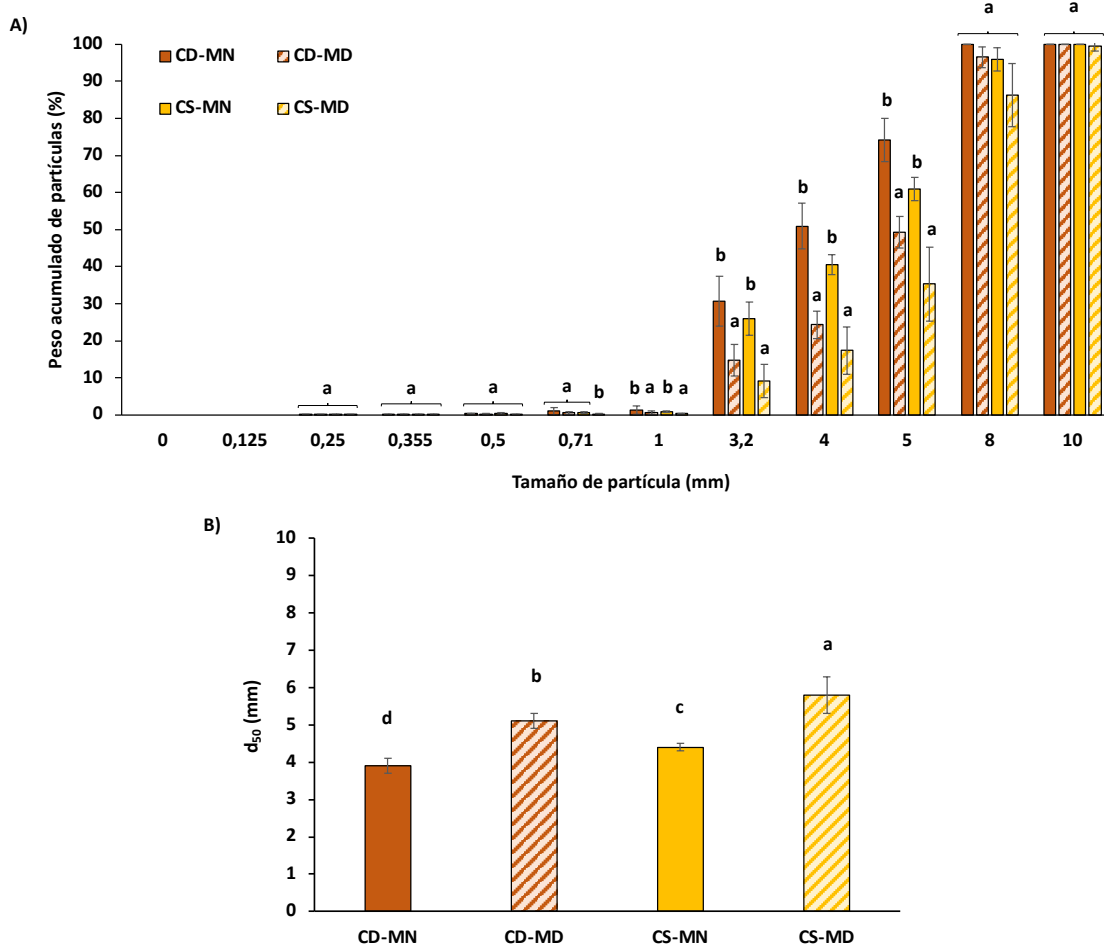


Figura 2. Propiedades granulométricas de los bolos *in vivo* de pasta: Peso acumulado de partículas (%) de todos los bolos después de una masticación *in vivo* normal y deficiente (A). Tamaño medio de partícula, expresado como d_{50} en mm, de todos los bolos después de una masticación *in vivo* normal y deficiente (B). Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre los bolos ($p < 0,05$).

4.4. Propiedades texturales de los bolos

Los resultados de los distintos parámetros de textura de los bolos formados con una MN y simulando una MD de la pasta se muestran en la Tabla 3. La mayor dureza se observó en el bolo CD-MD, seguido por los bolos CS-MD, CS-MN y CD-MN. Adicionalmente, cabe remarcar que los bolos formados con una MN mostraron valores de dureza más bajos, lo cual podría deberse al mayor número de masticaciones y cantidad de saliva incorporada. En general, se ha observado que los bolos formados por la población senior con deficiencias masticatorias suelen ser más duros y cohesivos (Gallego y col., 2022).

Tabla 3. Textura de los bolos de pasta *al dente* y de cocción suave después de masticación *in vivo* normal y deficiente.

Tipo de muestra	Dureza (N)	Cohesividad (%)	Adhesividad (N·s)
CD-MN	10 ± 2 ^b	36 ± 5 ^c	- 0,25 ± 0,17 ^c
CD-MD	15 ± 3 ^a	42 ± 4 ^b	- 0,08 ± 0,12 ^{ab}
CS-MN	11 ± 2 ^b	43 ± 3 ^b	- 0,11 ± 0,09 ^b
CS-MD	15 ± 3 ^a	49 ± 3 ^a	- 0,001 ± 0,000 ^a

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre los bolos ($p < 0,05$).

CD-MN: Cocción *al dente*-Masticación Normal; CD-MD: Cocción *al dente*-Masticación Deficiente; CS-MN: Cocción Suave-Masticación Normal; CS-MD: Cocción Suave-Masticación Deficiente.

En relación con la adhesividad, los resultados presentan valores significativamente ($p < 0,05$) mayores en los bolos CD-MN en comparación con los CD-MD, posiblemente por el efecto de la incorporación de saliva (Gallego y col., 2023). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Blanquet-Diot y col. (2021) cuando analizaron las propiedades texturales de bolos formados con una MN y MD de pasta integral. Por otro lado, se observó que los bolos CD tenían valores de adhesividad significativamente ($p < 0,05$) mayores que los bolos CS. Durante el cocinado de la pasta, los gránulos de almidón difunden hacia el agua de cocción y rodean la superficie del alimento, fenómeno que puede estar relacionado con la adhesividad (Milde y col., 2020). Así pues, la pasta CS podría haber exudado más gránulos de almidón al haber estado más tiempo cociéndose, presentando una menor adhesividad.

En cuanto a la cohesividad, se han observado diferencias significativas ($p < 0,05$) entre bolos. En este sentido, los bolos formados con una MD presentaron mayores valores de adhesividad en comparación con los bolos obtenidos con MN. Estos resultados concuerdan con los observados por Peyron y col. (2018) al estudiar el impacto de las deficiencias orales en las características de los bolos de albóndigas. Asimismo, cabe destacar que los bolos CS presentaron mayor cohesividad que los bolos CD lo que podría atribuirse a la mayor incorporación de agua a la pasta durante la cocción.

4.5. Propiedades viscoelásticas de los bolos

En la Tabla 4, se presentan los resultados de los distintos parámetros viscoelásticos de los bolos de pasta obtenidos tras realizar el ensayo LAOS a 37 °C. El parámetro G'_{LVR} está vinculado con la rigidez del producto y los parámetros $Strain_{LVR}$ y $Stress_{LVR}$ con la extensibilidad y estabilidad de los mismos (Ribes y col., 2022b; Ribes y col., 2023b). En este trabajo, la estabilidad de los bolos de pasta hace referencia a aquellos bolos menos disgregados o masticados. En cuanto a los valores de G'_{LVR} , no se apreciaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos bolos de pasta. A pesar de ello, los bolos formados con una MD mostraron valores más altos de este parámetro que los bolos formados con una MN. Esto podría atribuirse a la menor cantidad de saliva incorporada y al menor número de ciclos de masticación. Estos resultados coinciden con los registrados al medir la dureza de los bolos (sección 4.4.). Además, cabe remarcar que los bolos de pasta CD presentaron la mayor rigidez, al contrario que los bolos CS que mostraron los valores más bajos de rigidez, lo cual podría explicarse por la mayor incorporación de agua durante el cocinado de la pasta.

Tabla 4. Parámetros viscoelásticos, obtenidos de un ensayo de cizallamiento oscilatorio de gran amplitud (LAOS) realizado a 37 °C, de los bolos de pasta de cocción *al dente* y de cocción suave después de masticación *in vivo* normal y deficiente.

Muestra	G'_{LVR} (Pa)	$Stress_{LVR}$ (Pa)	$Strain_{LVR}$ (%)	$G'=G''$ (Pa)
CD-MN	9591 ± 2654 ^a	28 ± 11 ^b	0,28 ± 0,05 ^b	247 ± 59 ^a
CD-MD	10592 ± 2375 ^a	42 ± 11 ^a	0,39 ± 0,03 ^a	265 ± 64 ^a
CS-MN	8198 ± 1519 ^a	20 ± 5 ^b	0,24 ± 0,03 ^b	217 ± 27 ^a
CS-MD	8798 ± 1604 ^a	26 ± 8 ^b	0,29 ± 0,06 ^b	255 ± 50 ^a

Parámetros viscoelásticos del ensayo LAOS: valor del módulo elástico en LVR, G'_{LVR} ; valor de la deformación en LVR, $Strain_{LVR}$; valor de la tensión en LVR, $Stress_{LVR}$; punto de fluidez, $G'=G''$.

Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre los bolos ($p < 0,05$).

CD-MN: Cocción *al dente*-Masticación Normal; CD-MD: Cocción *al dente*-Masticación Deficiente; CS-MN: Cocción Suave-Masticación Normal; CS-MD: Cocción Suave-Masticación Deficiente.

Por otro lado, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes bolos de pasta en relación con los parámetros viscoelásticos de $Strain_{LVR}$ y $Stress_{LVR}$. Los bolos formados con una MD presentaron valores más altos de $Strain_{LVR}$ y $Stress_{LVR}$, siendo menos extensibles y estables. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ribes y col. (2023b) cuando analizaron las propiedades viscoelásticas de bolos preparados con una MN y una MD de queso fresco y pechuga de pavo. Finalmente, se entiende por punto de flujo ($G' = G''$) la rotura de la estructura interna de los alimentos (Gallego y col., 2020). No se apreciaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los bolos de pasta en lo que respecta al parámetro $G' = G''$. Sin embargo, es conveniente destacar que los bolos formados con una MD presentaron valores más elevados que los bolos obtenidos con una MN. Este efecto podría atribuirse a la menor lubricación con saliva de estos bolos durante el POA, tal y como se ha comentado en la sección 4.2. Según Chen y col. (2022) un aumento en la incorporación de saliva a los alimentos durante la masticación y un aumento en la fluidez podrían favorecer el transporte de los bolos hacia el esófago y, de esta forma, se podría disminuir el riesgo de aspiración de partículas pequeñas de comida facilitando la deglución sencilla y segura.

Los resultados de los parámetros viscoelásticos de los bolos de pasta se muestran en la Figura 3. Con la finalidad de poder realizar una mejor comparación de los resultados, los parámetros se registraron a una frecuencia de 1 Hz. En este sentido, valores de $G' > G''$ indican que todos los bolos de pasta presentaron propiedades de gel débiles y, por tanto, podrían ser considerados como sistemas viscoelásticos débiles (Gallego y col., 2020). En cuanto a G^* y η^* , cabe resaltar que están asociados a la rigidez y dureza de las muestras y a la resistencia del producto a la fluidez en base a la frecuencia angular, respectivamente (Gallego y col., 2023). Como se puede observar en las Figuras 3 A-D, no se contemplaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los diversos bolos de pasta en lo referente a los valores de G' , G'' , G^* y η^* . Los valores más altos de G^* y η^* se obtuvieron para las muestras CD-MD. Sin embargo, los valores más bajos fueron registrados para las muestras CS-MN. Además, los bolos formados con una MD presentaron valores ligeramente superiores de G^* y η^* en comparación con los bolos preparados con una MN, lo cual podría atribuirse al menor número de masticaciones y a la menor incorporación de saliva, así como a los valores más altos de dureza (ver secciones 4.2. y 4.4). Estos cambios en la reología de los bolos podrían atribuirse a la continua lubricación con saliva a los alimentos, lo

que contribuye a formar un bolo más cohesivo y seguro durante la deglución (Munialo y col., 2019; Talens y col., 2021). Por último, cabe mencionar que la $\text{Tan } \delta$ fue empleada con el objetivo de determinar bolos fáciles de deglutir (Gallego y col., 2023). En este contexto, los valores de $\text{Tan } \delta$ de los distintos bolos están en el rango de 0,1-1 (Figura 3 E), siendo considerados como fáciles de deglutir (Talens y col., 2021). Como se puede observar en este caso, los valores de todos los bolos se situaron próximos a 0,2, por lo que pueden ser clasificados como fáciles de deglutir. En este contexto, Sharma y col. (2022) observaron resultados similares tras evaluar las propiedades viscoelásticas de purés con textura modificada.

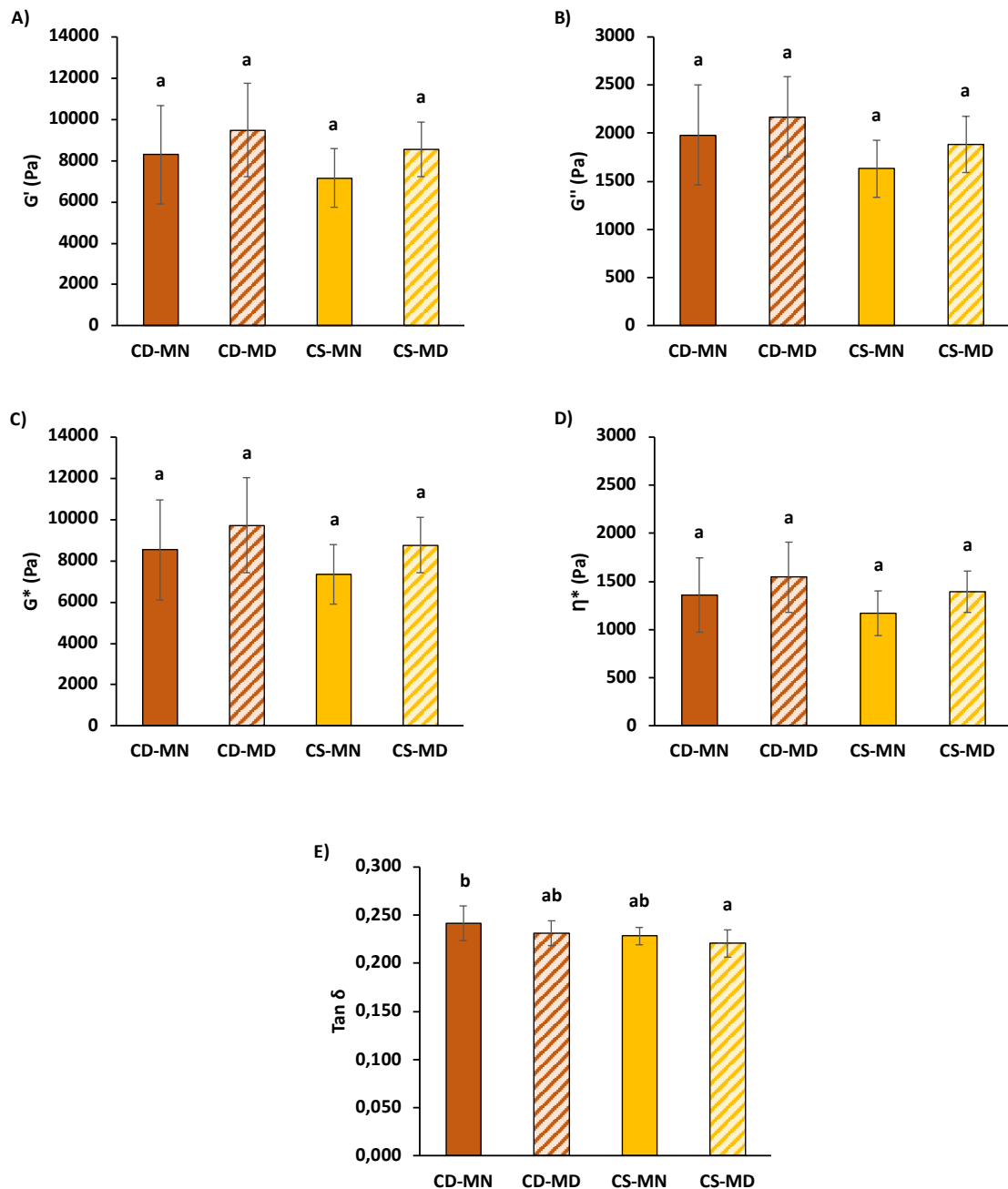


Figura 3. Parámetros viscoelásticos, obtenidos a 37 °C y a 1 Hz, de los bolos de pasta de cocción *al dente* y de cocción suave después de masticación *in vivo* normal y deficiente. Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre los bolos ($p < 0,05$). CD-MN: Cocción *al dente*-Masticación Normal; CD-MD: Cocción *al dente*-Masticación Deficiente; CS-MN: Cocción Suave-Masticación Normal; CS-MD: Cocción Suave-Masticación Deficiente.

4.6. Digestibilidad de la pasta de lentejas rojas

Las Figuras 4 y 5, presentan los resultados de digestibilidad del almidón y proteínas de los dos tipos de pasta (CD y CS). En este sentido, se analizaron el contenido de azúcares reductores, proteínas solubles totales, péptidos solubles en TCA y grupos amino libres, simulando las condiciones oro-gastrointestinales observadas en adultos sanos y seniors.

4.6.1. Digestibilidad de los productos del almidón

Con respecto a la digestibilidad de los productos del almidón los resultados muestran que el contenido de azúcares reductores era mayor a medida que progresaba la digestión oro-gastrointestinal (Figura 4). En ese sentido, al final de la fase oral, se observaron diferencias significativas entre las muestras de los diferentes modelos de digestión. Las muestras CD-MD-DN y CD-MD-DS presentaron valores de azúcares reductores más bajos. Esto indicaría que los bolos elaborados por personas con deficiencias masticatorias no están lo suficientemente fragmentados y, como consecuencia, la digestión oral del almidón se ve afectada por la mayor proporción de partículas grandes y menor relación superficie/volumen para la impregnación con saliva (Blanquet-Diot y col., 2021). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tipos de masticación para la pasta CS, posiblemente por la menor dureza de la misma debido al mayor tiempo de cocción. Con el cocinado y tratamiento térmico de los alimentos, se produce la gelatinización del almidón, incrementando su solubilidad y poder de hinchamiento favoreciendo, a su vez, la hidrólisis del almidón (Gallego y col., 2022). Además, durante la cocción también disminuye la dureza, por lo que las enzimas tendrán un mayor acceso a los gránulos de almidón de la pasta. Tras la fase gástrica, se apreció un aumento significativo ($p < 0,05$) del contenido de azúcares reductores en las muestras sometidas a la digestión senior (Figura 4). Esto podría deberse a la mayor duración de esta etapa (3 h en lugar de 2 h) y al pequeño incremento de pH utilizado (pH 3,7 en lugar de 3). Es conveniente destacar que la α -amilasa salival pierde su actividad cuando el pH es inferior a 3,5, aunque a pH 4 continúa con una actividad próxima al 50 % de la óptima (Freitas y col., 2018). Por último, al finalizar la fase intestinal, se obtuvieron los valores más altos de azúcares reductores debido a la actividad de la α -amilasa pancreática que hidroliza la mayor parte del almidón (Freitas y Le Feunteun, 2019). A pesar de ello, no se apreció una tendencia clara entre las distintas muestras.

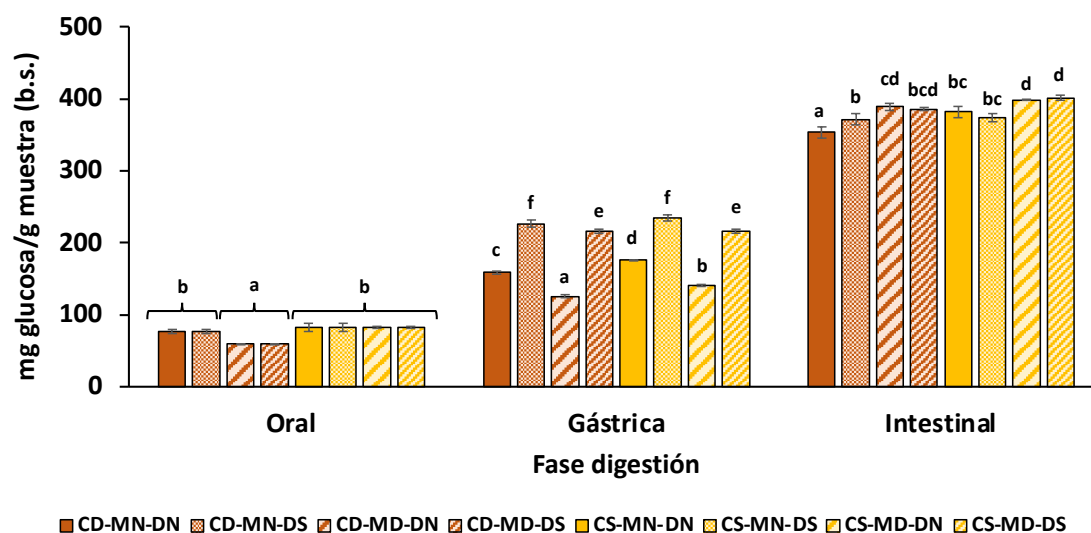


Figura 4. Digestibilidad de almidón de pasta de cocción *al dente* (CD; color marrón) y de cocción suave (CS; color amarillo): contenido de azúcares reductores. Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras digeridas dentro de la misma etapa de la digestión. MN-DN: Masticación Normal-Digestión Normal; MN-DS: Masticación Normal-Digestión Senior; MD-DN: Masticación Deficiente-Digestión Normal; MD-DS; Masticación Deficiente-Digestión Senior.

4.6.2. Digestibilidad proteica

En cuanto a la digestibilidad proteica, en la Figura 5 se puede observar que, a medida que avanzó la digestión, la cantidad de proteínas solubles totales, péptidos solubles en TCA y grupos amino libres fue aumentando. Con respecto a las proteínas solubles totales, tras la fase oral, las muestras con una MN presentaron un contenido significativamente ($p < 0,05$) mayor que las muestras formadas con una MD (Figura 5 A). La digestibilidad de las proteínas no suele iniciarse en esta etapa. Estos resultados podrían deberse a la interacción de las proteínas con la α -amilasa salival, favoreciendo precipitación o agregación de dichas proteínas (Gallego y col., 2020; Gallego y col., 2023). Al final de la fase gástrica, los modelos CD-MN-DS y CD-MD-DS presentaron mayores contenidos de proteínas solubles totales, lo cual podría atribuirse a la mayor duración de esta etapa (3h en vez de 2h) durante la digestión senior. En contraste, las menores cantidades de proteínas solubles totales observadas en los modelos CS-MD-DN y CS-MD-DS sugieren que, debido a la mayor proporción de partículas grandes que llegan al estómago, la superficie de exposición de las proteínas es mínima y, por tanto, se dificulta el acceso de las enzimas (Ribes y col., 2023a). Finalmente, al final de la fase intestinal, se mostraron valores más bajos de proteínas solubles totales en todas las muestras DS. Esto podría estar relacionado con la menor actividad de la pancreatina (80 U/mL en vez de 100 U/mL) y con la menor concentración de sales biliares (6,7 mM en vez de 10 mM) utilizadas durante la digestión gastrointestinal. Es conveniente remarcar que la disminución de la actividad de la pancreatina y de la concentración de sales biliares favorecen una mala digestión y malabsorción de nutrientes, originando deficiencias nutricionales (Hernández-Olivas y col., 2021). Estos resultados concuerdan con los observados por Ribes y col. (2023b) cuando analizaron la digestibilidad proteica de pechuga de pavo y queso fresco simulando las condiciones digestivas de personas senior.

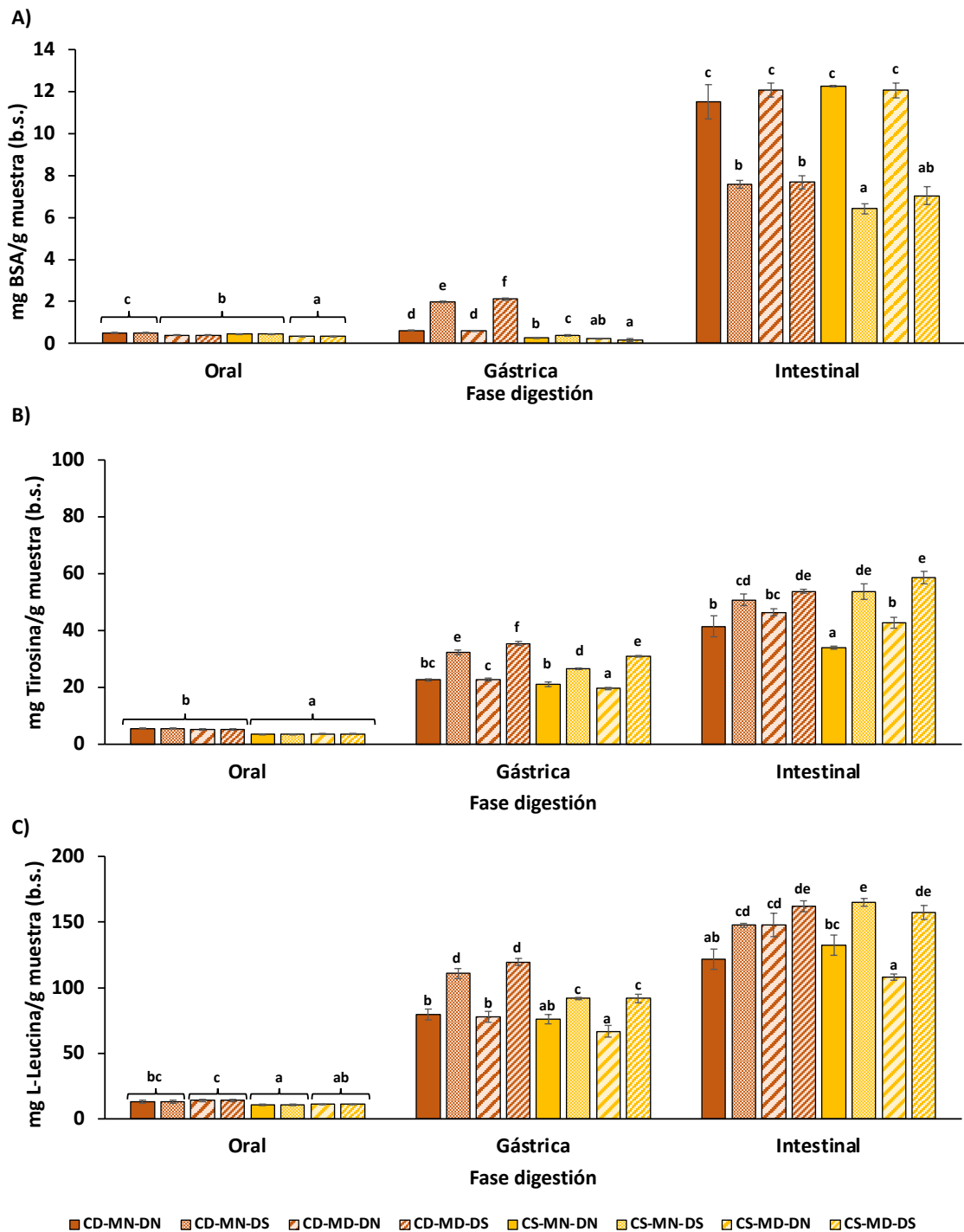


Figura 5. Digestibilidad proteica de pasta *al dente* (CD; color marrón) y de cocción suave (CS; color amarillo): proteínas solubles totales (A), péptidos solubles-TCA (B), grupos amino libres (C). Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre las muestras digeridas dentro de la misma etapa de la digestión. MN-DN: Masticación Normal-Digestión Normal; MN-DS: Masticación Normal-Digestión Senior; MD-DN: Masticación Deficiente-Digestión Normal; MD-DS; Masticación Deficiente-Digestión Senior.

Por otro lado, respecto al contenido en péptidos solubles en TCA se puede observar que, tras la fase oral, no se apreciaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos modelos de digestión. Sin embargo, se observó que las muestras CS presentaban menores cantidades de

péptidos solubles en TCA (Figura 5 B). Esto podría estar asociado con la agregación de las proteínas debido al mayor tiempo de cocción de la pasta lo que dificultaría la acción de la pepsina para llevar a cabo la proteólisis (Hernández-Olivas y col., 2022). Por el contrario, tras la fase gástrica e intestinal, las muestras DS mostraron una cantidad significativamente ($p < 0,05$) mayor (Figura 5 B). Esto podría deberse a la mayor duración de la fase gástrica (3h en vez de 2h) que favorecería la difusión enzimática y, como consecuencia, liberaría mayores contenidos de péptidos solubles en TCA y contrarrestaría las condiciones deficientes utilizadas en la fase intestinal.

Por último, en cuanto a los grupos amino libres, tras la fase oral, se apreciaron mayores cantidades de grupos amino libres en los modelos CD-MD-DN, CD-MD-DS, CS-MD-DN y CS-MD-DS. Sin embargo, la masticación no ejerció un efecto claro en la liberación de estos compuestos después de esta fase, ya que posiblemente a lo largo de la digestión se fue reduciendo el tamaño de partícula de los bolos MD (Figura 5 C). Una tendencia similar fue vista por Ribes y col. (2023b) cuando determinaba el contenido de grupos amino libres de queso fresco. En contraste, se contemplaron menores cantidades de grupos amino libres en las muestras CS en comparación con las muestras CD sugiriendo que el mayor tiempo de cocinado a altas temperatura fomenta la agregación de proteínas y reduce la proteólisis que realiza la pepsina (Hernández-Olivas y col., 2022). Tras las fases gástrica e intestinal, las muestras con DS presentaron un contenido significativamente ($p < 0,05$) mayor de grupos amino libres. Como se ha comentado anteriormente, esto podría estar asociado a la mayor duración de la fase gástrica que compensaría las condiciones subóptimas propias de la etapa intestinal de las personas senior.

5. Conclusiones

Este trabajo demuestra que la textura de la pasta cocida, el tiempo de cocción, el comportamiento del procesado oral y el grado de fragmentación del bolo alcanzado durante la masticación juegan un papel importante en las propiedades granulométricas, texturales y viscoelásticas de la pasta de lentejas rojas. La masticación deficiente tuvo un impacto significativo en la fragmentación del bolo e incorporación de saliva, siendo en ambos casos menor en comparación con los bolos formados con una masticación normal. Los bolos formados durante el proceso de masticación normal presentaron menores valores de dureza y cohesividad, y mayores valores de adhesividad. El tipo de masticación y nivel de cocción tuvieron un efecto notable en la rigidez, extensibilidad y estabilidad de los bolos formados.

En relación con los productos de la digestión del almidón, cabe destacar que la masticación deficiente tuvo un impacto negativo en el contenido de azúcares reductores tras la digestión oral. Finalmente, en cuanto a la digestibilidad proteica, es conveniente remarcar que el efecto negativo de las condiciones digestivas senior fue más pronunciado en el contenido de proteínas solubles totales, mientras que en el contenido de péptidos solubles-TCA y grupos amino libre dicho impacto no fue tan claro. Los resultados obtenidos en este trabajo brindan información útil sobre las respuestas del procesado oral de los alimentos, las propiedades físicas y mecánicas de los bolos y la bioaccesibilidad de los nutrientes en adultos y personas mayores con diferentes capacidades orales, lo que abre nuevas perspectivas para diseñar alimentos a base de legumbres para poblaciones específicas.

6. Bibliografía

Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 27(6), 1256-1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>

Agarwal, E., Miller, M., Yaxley, A., & Isenring, E. (2013). Malnutrition in the elderly: A narrative review. *Maturitas*, 76(4), 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.07.013>

Aguilera, J. M., & Covacevich, L. (2023). Designing foods for an increasingly elderly population: a challenge of the XXI century. *Current Opinion In Food Science*, 51, 101037. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101037>

Aguilera, J. M., Kim, B., & Park, D. J. (2019). Particular Alimentations for Nutrition, Health and Pleasure. En *Advances in food and nutrition research* (pp. 371-408). <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.07.005>

Álvarez, M. D., Paniagua, J., & Herranz, B. (2020). Assessment of the Miniature Kramer Shear Cell to Measure Both Solid Food and Bolus Mechanical Properties and Their Interplay with Oral Processing Behavior. *Foods*, 9(5), 613. <https://doi.org/10.3390/foods9050613>

Amarya, S., Singh, K., & Sabharwal, M. (2015). Changes during aging and their association with malnutrition. *Journal Of Clinical Gerontology And Geriatrics*, 6(3), 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.jcgg.2015.05.003>

Anam, A. K., & Insogna, K. (2021). Update on Osteoporosis Screening and Management. *Medical Clinics Of North America/The Medical Clinics Of North America*, 105(6), 1117-1134. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2021.05.016>

Aquilanti, L., Alia, S., Pugnali, S., Coccia, E., Mascitti, M., Santarelli, A., Limongelli, L., Favia, G., Mancini, M., Vignini, A., & Rappelli, G. (2020). Impact of Elderly Masticatory Performance on Nutritional Status: An Observational Study. *Medicina*, 56(3), 130. <https://doi.org/10.3390/medicina56030130>

Arganini, C., Donini, L.M., Peparajo, M., & Sinesio, F. (2014). Influence of chemosensory impairment on intake and liking of a functional drink in undernourished institutionalized elderly people. *Journal of Aging Research & Clinical Practice*.: <https://www.researchgate.net/publication/260423594>

Assad-Bustillos, M., Feron, G., & Della Valle, G. (2022). Guiding the formulation of soft cereal foods for the elderly population through food oral processing: Challenges and opportunities. En *Advances in food and nutrition research* (pp. 137-188). <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.11.003>

Baugreet, S., Gomez, C., Auty, M. A., Kerry, J. P., Hamill, R. M., & Brodkorb, A. (2019). *In vitro* digestion of protein-enriched restructured beef steaks with pea protein isolate, rice protein and lentil flour following sous vide processing. *Innovative Food Science And Emerging Technologies/Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *54*, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.04.005>

Blanquet-Diot, S., François, O., Denis, S., Hennequin, M., & Peyron, M. (2021). Importance of oral phase in *in vitro* starch digestibility related to wholegrain versus refined pastas and mastication impairment. *Food Hydrocolloids*, *112*, 106277. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106277>

Bolhuis, D. P., & Forde, C. G. (2020). Application of food texture to moderate oral processing behaviors and energy intake. *Trends In Food Science & Technology*, *106*, 445-456. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.021>

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Feunteun, S. L., . . . Recio, I. (2019). INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, *14*(4), 991-1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>

Calligaris, S., Moretton, M., Melchior, S., Mosca, A. C., Pellegrini, N., & Anese, M. (2022). Designing food for the elderly: the critical impact of food structure. *Food & Function*, *13*(12), 6467-6483. <https://doi.org/10.1039/d2fo00099g>

Caso, G., & Vecchio, R. (2022). Factors influencing independent older adults (un)healthy food choices: A systematic review and research agenda. *Food Research International*, *158*, 111476. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111476>

Cervantes-Pahm, S. K., Liu, Y., & Stein, H. H. (2014). Digestible indispensable amino acid score and digestible amino acids in eight cereal grains. *British Journal Of Nutrition*, *111*(9), 1663-1672. <https://doi.org/10.1017/s0007114513004273>

Chen, J. (2009). Food oral processing—A review. *Food Hydrocolloids*, *23*(1), 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.013>

Chen, L., Lv, B., Zhang, X., Xu, Y., Wu, P., Zhou, W., & Chen, X. D. (2022). The swallowing threshold and starch hydrolysis of cooked rice with different moisture contents for human mastication. *Food Research International*, *160*, 111677. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111677>

Chernoff, R. (2006). Carbohydrate, fat and fluid requirements in older adults en *Geriatric nutrition*. Jones and bartlett publishers: 23-30

Cichero, J. (2016). Adjustment of Food Textural Properties for Elderly Patients. *Journal Of Texture Studies*, 47(4), 277-283. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12200>

Cimini, A., Cibelli, M., Messia, M. C., Marconi, E., & Moresi, M. (2018). Cooking quality of commercial spaghetti: effect of the water-to-dried pasta ratio. *European Food Research & Technology*, 245(5), 1037-1045. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3205-2>

Cimini, A., Cibelli, M., Messia, M. C., Marconi, E., & Moresi, M. (2018b). Cooking quality of commercial spaghetti: effect of the water-to-dried pasta ratio. *European Food Research & Technology*, 245(5), 1037-1045. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3205-2>

Claus, L. E., Leland, E. M., Tai, K. Y., Schlosser, R. J., Kamath, V., Lane, A. P., & Rowan, N. R. (2022). Olfactory Loss and Beyond: A Practical Review of Chemosensory Dysfunction. *Journal Of The American Board Of Family Medicine*, 35(2), 406-419. <https://doi.org/10.3122/jabfm.2022.02.210373>

Cruz-Jentoft, A. J., & Montero-Errasquín, B. (2018). Sarcopenia. En *Practical issues in geriatrics* (pp. 99-105). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61997-2_10

Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends In Food Science & Technology*, 119, 428-442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>

De Groot, C., Van Staveren, W., & De Graaf, C. (2000). Determinants of macronutrient intake in elderly people. *European Journal Of Clinical Nutrition*, 54(S3), S70-S76. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601028>

De Sire, A., Ferrillo, M., Lippi, L., Agostini, F., De Sire, R., Ferrara, P. E., Raguso, G., Riso, S., Rocuzzo, A., Ronconi, G., Invernizzi, M., & Migliario, M. (2022). Sarcopenic Dysphagia, Malnutrition, and Oral Frailty in Elderly: A Comprehensive Review. *Nutrients*, 14(5), 982. <https://doi.org/10.3390/nu14050982>

Del Rio, A. R., Boom, R. M., & Janssen, A. E. M. (2022). Effect of Fractionation and Processing Conditions on the Digestibility of Plant Proteins as Food Ingredients. *Foods*, 11(6), 870. <https://doi.org/10.3390/foods11060870>

Dickerson, R. N. (2016). Nitrogen Balance and Protein Requirements for Critically Ill Older Patients. *Nutrients*, 8(4), 226. <https://doi.org/10.3390/nu8040226>

Elahi, D., & Muller, D. (2000). Carbohydrate metabolism in the elderly. *European Journal Of Clinical Nutrition*, 54(S3), S112-S120. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601032>

Fantozzi, P. J., Pampena, E., Di Vanna, D., Pellegrino, E., Corbi, D., Mammucari, S., Alessi, F., Pampena, R., Bertazzoni, G., Minisola, S., Mastroianni, C. M., Polimeni, A., Romeo, U., & Villa, A. (2020). Xerostomia, gustatory and olfactory dysfunctions in patients with COVID-19. *American Journal Of Otolaryngology*, 41(6), 102721. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2020.102721>

[FAO \(2013\). Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation. Food and Nutrition Paper, 92, 1–66](#)

Fardet, A., Leenhardt, F., Lioger, D., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2006). Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition Research Reviews*, 19(1), 18-25. <https://doi.org/10.1079/nrr2006118>

Freitas, D., & Feunteun, S. L. (2019). Oro-gastro-intestinal digestion of starch in white bread, wheat-based and gluten-free pasta: Unveiling the contribution of human salivary α -amylase. *Food Chemistry*, 274, 566-573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.025>

Freitas, D., Feunteun, S. L., Panouillé, M., & Souchon, I. (2018). The important role of salivary α -amylase in the gastric digestion of wheat bread starch. *Food & Function*, 9(1), 200-208. <https://doi.org/10.1039/c7fo01484h>

Freitas, D., Feunteun, S. L., Panouillé, M., & Souchon, I. (2018b). The important role of salivary α -amylase in the gastric digestion of wheat bread starch. *Food & Function*, 9(1), 200-208. <https://doi.org/10.1039/c7fo01484h>

Gallego, M., Arnal, M., Barat, J. M., & Talens, P. (2020). Effect of Cooking on Protein Digestion and Antioxidant Activity of Different Legume Pastes. *Foods*, 10(1), 47. <https://doi.org/10.3390/foods10010047>

Gallego, M., Barat, J. M., Grau, R., & Talens, P. (2022). Compositional, structural design and nutritional aspects of texture-modified foods for the elderly. *Trends In Food Science & Technology*, 119, 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.008>

Gallego, M., Ribes, S., Grau, R., & Talens, P. (2023). Food matrix impact on rheological and digestive properties of protein-enriched and texture-modified mushroom creams. *Food Hydrocolloids*, 135, 108143. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108143>

Gao, Y., Liu, T., Su, C., Li, Q., & Yu, X. (2022). Fortification of Chinese steamed bread with flaxseed flour and evaluation of its physicochemical and sensory properties. *Food Chemistry*, X, 13, 100267. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100267>

Gropper, S. S., & Smith, J. L. (2013). *Advanced nutrition and human metabolism*. <https://thuvienso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/9488>

Harris, C. L., & Fraser, C. (2004). Malnutrition in the institutionalized elderly: the effects on wound healing. *PubMed*, 50(10), 54-63. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15509882>

Hayflick, L. (2007). Biological Aging Is No Longer an Unsolved Problem. *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, 1100(1), 1-13. <https://doi.org/10.1196/annals.1395.001>

Henshaw, M. M., & Calabrese, J. M. (2001). Oral Health and Nutrition in the Elderly. *Nutrition In Clinical Care*, 4(1), 34-42. <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2001.00109.x>

Hernández-Olivas, E., Muñoz-Pina, S., Andrés, A., & Heredia, A. (2020). Impact of elderly gastrointestinal alterations on *in vitro* digestion of salmon, sardine, sea bass and hake: Proteolysis, lipolysis and bioaccessibility of calcium and vitamins. *Food Chemistry*, 326, 127024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127024>

Hernández-Olivas, E., Muñoz-Pina, S., Andrés, A., & Heredia, A. (2021). Age-related gastrointestinal alterations of legumes and cereal grains digestibility. *Food Bioscience*, 41, 101027. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101027>

Hernández-Olivas, E., Muñoz-Pina, S., García-Hernández, J., Andrés, A., & Heredia, A. (2022). Impact of common gastrointestinal disorders in elderly on *in vitro* meat protein digestibility and related properties. *Food Bioscience*, 46, 101560. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101560>

Herreman, L., Nommensen, P., Pennings, B., & Laus, M. C. (2020). Comprehensive overview of the quality of plant- And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition*, 8(10), 5379-5391. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1809>

Hinsberger, A., & Sandhu, B. (2004). Digestion and absorption. *Current Paediatrics*, 14(7), 605-611. <https://doi.org/10.1016/j.cupe.2004.08.004>

Holt, P. R. (2007). Intestinal Malabsorption in the Elderly. *Digestive Diseases*, 25(2), 144-150. <https://doi.org/10.1159/000099479>

Holt, P. R., & Balint, J. A. (1993). Effects of aging on intestinal lipid absorption. *American Journal Of Physiology. Gastrointestinal And Liver Physiology/American Journal Of Physiology: Gastrointestinal And Liver Physiology*, 264(1), G1-G6. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.1993.264.1.g1>

Johansson, A. S., Svensson, K. G., & Trulsson, M. (2006). Impaired Masticatory Behavior in Subjects With Reduced Periodontal Tissue Support. *Journal Of Periodontology*, 77(9), 1491-1497. <https://doi.org/10.1902/jop.2006.050355>

Kaur, D., Rasane, P., Singh, J., Kaur, S., Kumar, V., Mahato, D. K., Dey, A., Dhawan, K., & Kumar, S. (2019). Nutritional Interventions for Elderly and Considerations for the Development of Geriatric Foods. *Current Aging Science*, 12(1), 15-27. <https://doi.org/10.2174/1874609812666190521110548>

Ketnawa, S., & Ogawa, Y. (2019). Evaluation of protein digestibility of fermented soybeans and changes in biochemical characteristics of digested fractions. *Journal Of Functional Foods*, 52, 640-647. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.046>

Khan, A., Carmona, R., & Traube, M. (2014). Dysphagia in the Elderly. *Clinics In Geriatric Medicine*, 30(1), 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.10.009>

Laguna, L., Barrowclough, R. A., Chen, J., & Sarkar, A. (2016). New Approach to Food Difficulty Perception: Food Structure, Food Oral Processing and Individual's Physical Strength. *Journal Of Texture Studies*, 47(5), 413-422. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12190>

Laugier, R., Bernard, J., Berthezene, P., & Dupuy, P. (1991). Changes in Pancreatic Exocrine Secretion with Age: Pancreatic Exocrine Secretion Does Decrease in the Elderly. *Digestion*, 50(3-4), 202-211. <https://doi.org/10.1159/000200762>

Levi, C. S., Goldstein, N., Portmann, R., & Lesmes, U. (2017). Emulsion and protein degradation in the elderly: Qualitative insights from a study coupling a dynamic *in vitro* digestion model with proteomic analyses. *Food Hydrocolloids*, 69, 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.017>

Li, S., Yang, Z., Tian, H., Ren, S., Zhang, W., & Wang, A. (2022). Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, intestinal digestion, lipid and carbohydrate metabolism of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquaculture Reports*, 24, 101117. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101117>

Lillford, P. J. (2017). Food Structure, Its Formation and Breakdown. *Microscopy And Microanalysis*, 23(S1), 1122-1123. <https://doi.org/10.1017/s1431927617006274>

Makran, M., Miedes, D., Cilla, A., Barberá, R., Garcia-Llatas, G., & Alegría, A. (2022). Understanding the influence of simulated elderly gastrointestinal conditions on nutrient digestibility and functional properties. *Trends In Food Science & Technology*, 129, 283-295. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.005>

Menard, O., Lesmes, U., Shani-Levi, C. S., Calahorra, A. A., Lavoisier, A., Morzel, M., Rieder, A., Feron, G., Nebbia, S., Mashiah, L., Andres, A., Bornhorst, G., Carrière, F., Egger, L., Gwala, S., Heredia, A., Kirkhus, B., Macierzanka, A., Portman, R., . . . Dupont, D. (2023). Static *in vitro* digestion model adapted to the general older adult population: an INFOGEST international consensus. *Food & Function*, 14(10), 4569-4582. <https://doi.org/10.1039/d3fo00535f>

Milde, L. B., Chigal, P. S., Olivera, J. E., & González, K. G. (2020). Incorporation of xanthan gum to gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie/Food Science & Technology*, 131, 109674. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109674>

Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carriere, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Feunteun, S. L., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., . . . Brodkorb, A. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113-1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>

Munialo, C. D., Kontogiorgos, V., Euston, S. R., & Nyambayo, I. (201290). Rheological, tribological and sensory attributes of texture-modified foods for dysphagia patients and the elderly: A review. *International Journal Of Food Science & Technology*, 55(5), 1862-1871. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14483>

Nadeeshani, H., Senevirathne, N., Somaratne, G., & Bandara, N. (2022). Recent Trends in the Utilization of Pulse Protein in Food and Industrial Applications. *ACS Food Science & Technology*, 2(5), 722-737. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00448>

Nagler, R. M., & Hershkovich, O. (2005). Age-related changes in unstimulated salivary function and composition and its relations to medications and oral sensorial complaints. *Aging Clinical And Experimental Research*, 17(5), 358-366. <https://doi.org/10.1007/bf03324623>

Oduro-Obeng, H., Fu, B. X., & Beta, T. (2021). Influence of cooking duration on carotenoids, physical properties and *in vitro* antioxidant capacity of pasta prepared from three Canadian durum wheat cultivars. *Food Chemistry*, 363, 130016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130016>

Pencharz, P. B., Elango, R., & Wolfe, R. R. (2016). Recent developments in understanding protein needs – How much and what kind should we eat? *Applied Physiology, Nutrition And Metabolism/Applied Physiology, Nutrition, And Metabolism*, 41(5), 577-580. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0549>

Pentikäinen, S., Sozer, N., Närväinen, J., Ylätaalo, S., Teppola, P., Jurvelin, J., Holopainen-Mantila, U., Törrönen, R., Aura, A., & Poutanen, K. (2014). Effects of wheat and rye bread structure on mastication process and bolus properties. *Food Research International*, 66, 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.034>

Petitot, M., & Micard, V. (2010). Legume-Fortified Pasta. Impact of Drying and Precooking Treatments on Pasta Structure and Inherent *In Vitro* Starch Digestibility. *Food Biophysics*, 5(4), 309-320. <https://doi.org/10.1007/s11483-010-9180-1>

Peyron, M., Sante-Lhoutellier, V., François, O., & Hennequin, M. (2018). Oral declines and mastication deficiencies cause alteration of food bolus properties. *Food & Function*, 9(2), 1112-1122. <https://doi.org/10.1039/c7fo01628j>

Peyron, M., Woda, A., Bourdiol, P., & Hennequin, M. (2017). Age-related changes in mastication. *Journal Of Oral Rehabilitation*, 44(4), 299-312. <https://doi.org/10.1111/joor.12478>

Prinz, J. F., & Lucas, P. W. (1997). An optimization model for mastication and swallowing in mammals. *Proceedings - Royal Society. Biological Sciences/Proceedings - Royal Society. Biological Sciences*, 264(1389), 1715-1721. <https://doi.org/10.1098/rspb.1997.0238>

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/International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 18(10), 5125. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105125>

Rémond, D., Shahar, D. R., Gille, D., Pinto, P., Kachal, J., Peyron, M., Santos, C. N. D., Walther, B., Bordoni, A., Dupont, D., Tomás-Cobos, L., & Vergères, G. (2015). Understanding the gastrointestinal tract of the elderly to develop dietary solutions that prevent malnutrition. *Oncotarget*, 6(16), 13858-13898. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.4030>

Ribes, S., & Talens, P. (2023). Correlating instrumental measurements and sensory perceptions of foods with different textural properties for people with impaired oral and swallowing capabilities – A review. *Food Research International*, 173, 113472. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113472>

Ribes, S., Arnal, M., & Talens, P. (2023b). Influence of food oral processing, bolus characteristics, and digestive conditions on the protein digestibility of turkey cold meat and fresh cheese. *Food Research International*, 173, 113297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113297>

Ribes, S., Gallego, M., Barat, J. M., Grau, R., & Talens, P. (2022a). 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>

Ribes, S., Genot, M., Aubry, L., Talens, P., Vénien, A., Santé-Lhoutellier, V., & Peyron, M. (2023a). Oral impairments decrease the nutrient bioaccessibility of bread in the elderly. *Food Hydrocolloids*, 135, 108202. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108202>

Ribes, S., Genot, M., Vénien, A., Santé-Lhoutellier, V., & Peyron, M. (2023c). Oral and gastrointestinal nutrient bioaccessibility of gluten-free bread is slightly affected by deficient mastication in the elderly. *Food Research International*, 165, 112523. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112523>

Ribes, S., Grau, R., & Talens, P. (2022b). Use of chia seed mucilage as a texturing agent: Effect on instrumental and sensory properties of texture-modified soups. *Food Hydrocolloids*, 123, 107171. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107171>

Richter, M., Baerlocher, K., Bauer, J. M., Elmadfa, I., Heseker, H., Leschik-Bonnet, E., Stangl, G., Volkert, D., & Stehle, P. (2019). Revised Reference Values for the Intake of Protein. *Annals Of Nutrition & Metabolism*, 74(3), 242-250. <https://doi.org/10.1159/000499374>

Salles, N. (2007). Basic Mechanisms of the Aging Gastrointestinal Tract. *Digestive Diseases*, 25(2), 112-117. <https://doi.org/10.1159/000099474>

Sarkar, A. (2018). Oral processing in elderly: understanding eating capability to drive future food texture modifications. *Proceedings Of The Nutrition Society*, 78(3), 329-339. <https://doi.org/10.1017/s0029665118002768>

Sharma, M., Pondicherry, K. S., & 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>

Shikany, J. M., Barrett-Connor, E., Ensrud, K. E., Cawthon, P. M., Lewis, C. E., Dam, T. L., Shannon, J., & Redden, D. T. (2013). Macronutrients, Diet Quality, and Frailty in Older Men. *The Journals Of Gerontology. Series A, Biological Sciences And Medical Sciences*, 69(6), 695-701. <https://doi.org/10.1093/gerona/glt196>

Skully, R. (2014). Essential nutrient requirements of the elderly. *Nutrition And Dietary Supplements*, 59. <https://doi.org/10.2147/nds.s35381>

Soenen, S., Rayner, C. K., Jones, K. L., & Horowitz, M. (2016). The ageing gastrointestinal tract. *Current Opinion In Clinical Nutrition And Metabolic Care*, 19(1), 12-18. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000000238>

Talens, P., Castells, M., Verdú, S., Barat, J., & Grau, R. (2021). Flow, viscoelastic and masticatory properties of tailor made thickened pea cream for people with swallowing problems. *Journal Of Food Engineering*, 292, 110265. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110265>

Tieland, M., Trouwborst, I., & Clark, B. C. (2017). Skeletal muscle performance and ageing. *Journal Of Cachexia, Sarcopenia And Muscle*, 9(1), 3-19. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12238>

United Nations (2023). *World Social Report 2023*. <https://desapublications.un.org/publications/world-social-report-2023-leaving-no-one-behind-ageing-world>

Van Der Zanden, L. D., Van Kleef, E., De Wijk, R. A., & Van Trijp, H. C. (2014). Knowledge, perceptions and preferences of elderly regarding protein-enriched functional food. *Appetite*, 80, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.025>

Vanhatalo, S., Dall'Asta, M., Cossu, M., Chiavaroli, L., Francinelli, V., Di Pedè, G., Dodi, R., Närviäinen, J., Antonini, M., Goldoni, M., Holopainen-Mantila, U., Cas, A. D., Bonadonna, R., Brighenti, F., Poutanen, K., & Scazzina, F. (2022). Pasta Structure Affects Mastication, Bolus

Properties, and Postprandial Glucose and Insulin Metabolism in Healthy Adults. *The Journal Of Nutrition/The Journal Of Nutrition*, 152(4), 994-1005. <https://doi.org/10.1093/jn/nxab361>

Weaver, C. M., Alexander, D. D., Boushey, C. J., Dawson-Hughes, B., Lappe, J. M., LeBoff, M. S., Liu, S., Looker, A. C., Wallace, T. C., & Wang, D. D. (2015). Calcium plus vitamin D supplementation and risk of fractures: an updated meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *Osteoporosis International*, 27(1), 367-376. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3386-5>

Wee, M., Loud, D., Tan, V., & Forde, C. (2019). Physical and sensory characterisation of noodles with added native and denatured pea protein isolate. *Food Chemistry*, 294, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.042>

Wolfe, R. R. (2012). The role of dietary protein in optimizing muscle mass, function and health outcomes in older individuals. *British Journal Of Nutrition*, 108(S2), S88-S93. <https://doi.org/10.1017/s0007114512002590>

World Health Organization: WHO. (2022, 1 octubre). *Envejecimiento y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>

Yang, F., Zhang, M., & Bhandari, B. (2015). Recent development in 3D food printing. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 57(14), 3145-3153. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1094732>

Yang, Y., Zheng, Y., Ma, W., Zhang, Y., Sun, C., & Fang, Y. (2023). Meat and plant-based meat analogs: Nutritional profile and *in vitro* digestion comparison. *Food Hydrocolloids*, 143, 108886. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108886>