

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y NUTRICIONALES DE PASTA SIN GLUTEN A BASE DE HARINA DE GARBANZO Y HARINA DE CHUFA

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: GIULIA BENEDETTA BRESSI

TUTORA ACADEMICA: M^a EUGENIA MARTÍN ESPARZA
COTUTORA: ANA MARÍA ALBORS SOROLLA

Curso Académico: 2016-2017

VALENCIA, 14 SEPTIEMBRE 2017

ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y NUTRICIONALES DE PASTA SIN GLUTENA BASE DE HARINA DE GARBANZO Y HARINA DE CHUFA

G.B. Bressi, M.E. Martín Esparza¹, A.M. Albors Sorolla¹

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar las materias primas sólidas empleadas y analizar el efecto de la incorporación de harina de chufa -TNF- (rica en fibra insoluble, minerales y lípidos con un perfil de ácidos grasos saludable), harina de garbanzo -CP- (rica en proteínas y con un índice glucémico bajo) y harina de chufa pre-gelatinizada -PG- (como mejorante), en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y comportamiento en la cocción de pasta seca al huevo (pappardelle). Las pappardelle resultantes han sido comparadas con la pasta tradicional (100% DWS). Las materias primas empleadas fueron caracterizadas en cuanto a composición química, tamaño de partícula, propiedades funcionales, temperatura de gelatinización del almidón y microestructura. La pasta seca sin gluten se elaboró con un 50% (p/p) de cada harina, y la CP fue sustituida por un 5 ó 10% (p/p) por el PG. Se determinó el tiempo óptimo de cocción para cada formulación por calorimetría diferencial de barrido, así como las propiedades relacionadas con la cocción y la firmeza de la pasta cocida. La microestructura y el color de la pasta seca fueron asimismo analizados. El análisis composicional de las materias primas refleja el aporte significativamente mayor de fibra (especialmente insoluble), minerales y grasa (proveniente de la harina de chufa, y por tanto rica en ácido oleico) de la pasta sin gluten. El tiempo óptimo de cocción de dicha pasta se situó entre 4 y 5 minutos. No se encontró una relación clara entre ciertas propiedades de las harinas (almidón dañado, porcentaje de amilosa, tamaño de partícula y capacidad de retención de agua) y los valores obtenidos para las propiedades de cocción. El empleo de harina pre-gelatinizada de chufa en las proporciones ensayadas no supuso una mejora en la firmeza de la pasta cocida ni influyó en el tiempo óptimo de cocción, pero sí aportó una cierta continuidad a la estructura de la pasta.

Palabras clave: Pasta sin gluten, harina de chufa, harina de garbanzo, pre-gelatinizado, textura, color, tiempo óptimo de cocción, microestructura.

¹ Dpto. Tecnología de Alimentos. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n 46022.

RESUM

Aquest treball té com a objectiu caracteritzar les matèries primes sòlides empleades i analitzar l'efecte de la incorporació de farina de xufa -TNF- (rica en fibra insoluble, minerals i lípids amb un perfil d'àcids grassos saludable), farina de cigró -CP- (rica en proteïnes i amb un índex glicèmic baix) i farina de xufa pregelatinitzada -PG- (com millorant), en les propietats fisicoquímiques, estructurals i comportament en la cocció de pasta seca a l'ou (pappardelle) . Les pappardelle resultants han sigut comparades amb la pasta tradicional (100% DWS). Les matèries primes empleades van ser caracteritzades en quant a composició química, mida de partícula, propietats funcionals, temperatura de gelatinització del midó i microestructura. La pasta seca sense gluten es va elaborar amb un 50% (p/p) de cada farina, i la CP va ser substituïda per un 5 o 10% (p/p) pel PG. Es va determinar el temps òptim de cocció per a cada formulació per calorimetria diferencial de rastreig, així com les propietats relacionades amb la cocció i la fermesa de la pasta cuita. La microestructura i el color de la pasta seca van ser així mateix analitzats. L'anàlisi composicional de les matèries primes reflecteix l'aportació significativament major de fibra (especialment insoluble) , minerals i greix (provinent de la farina de xufa, i per tant rica en àcid oleic) de la pasta sense gluten. El temps òptim de cocció d'aquesta pasta es va situar entre 4 i 5. No es va trobar una relació clara entre certes propietats de les farines (midó danyat, percentatge d'amilosa, mida de partícula i capacitat de retenció d'aigua) i els valors obtinguts per a les propietats de cocció. La utilització de farina pregelatinitzada de xufa en les proporcions assajades no va suposar una millora en la fermesa de la pasta cuita ni va influir en el temps òptim de cocció, però sí que va aportar una certa continuïtat a l'estructura de la pasta.

Paraules clau: Pasta sense gluten, farina de xufa, farina de cigró, pregelatinitzat, textura, color, temps òptim de cocció, microestructura.

ABSTRACT

This work aims to characterize the solid raw materials used and evaluate the effect of the incorporation of tigernut flour -TNF- (rich in insoluble fiber, minerals and lipids with an healthy fatty acids profile), chickpea flour -CP- (rich in proteins and with a low glycemic index) and pre-gelatinized tigernut flour (as an improver) on the physicochemical, structural and cooking properties of dry egg pappardelle. The resulting pappardelle were compared to traditional pasta (100% DWS). The raw material used were characterized for their chemical composition, particle size, functional properties, temperature of gelatinization of starch and microstructure. Gluten-free dry pasta was made with 50% (w/w) of each flour and CP was replaced by 5% (w/w) or 10% (w/w) PG. It was evaluated for each gluten-free formulations the *optimum* cooking time by differential scanning calorimetry (DSC), as well as the cooking properties and firmness of cooked pasta. It was also analyzed the color and microstructure of

dry pasta. The compositional analysis of raw materials reflects significantly on higher content of fiber (especially insoluble), minerals and fats (from tigernut flour) rich in oleic acid of the gluten-free pasta. The calorimetric analysis allowed to define the *optimum* cooking time, between 4 and 5 minutes, for gluten-free formulations. It was not found any clear relations with the flour properties (starch damage, amylose content, particle size and water holding capacity). The use of pre-gelatinized tigernut flour with the proportions used did not imply an improvement on the firmness of cooked pasta and on the *optimum* cooking time, but did provide some continuity to the pasta structure.

Keywords: Gluten-free pasta, tigernut flour, chickpea flour, pre-gelatinized, texture,color, *optimum* cooking time, microstructure.

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad celiaca (CD) es una enteropatía autoinmune causada por la ingestión de cereales que contienen gluten en sujetos genéticamente susceptibles. La CD tiene una prevalencia media estimada del 1% de la población total a nivel mundial (Lamacchia, Camarca, Picascia, Di Luccia, & Ginafrani, 2014). Hoy en día, el único tratamiento eficaz para estos pacientes es una dieta priva de gluten. La mayoría de los productos sin gluten presentes en el mercado tienen propiedades nutricionales inferiores (O'Shea, Arendt, & Gallagher, 2014) y un elevado índice glucémico (IG) respecto a los productos tradicionales. El índice glucémico se introdujo para clasificar diferentes alimentos ricos en carbohidratos y sus efectos sobre el incremento de la glucemia post-prandial. Los alimentos se pueden clasificar en tres categorías: bajo (≤ 55), medio (55-69) y alto (≥ 70) (Foster-Powell et al., 2002). El consumo de alimentos con bajo índice glucémico ésta asociado con un menor riesgo de desarrollar diabetes de tipo alimentario y resulta beneficioso en la prevención y en el control de la obesidad y de la patologías crónico-degenerativas, como las patologías cardiovasculares (Brand-Miller, McMillan-Price, Steinbeck, & Caterson, 2009). La pasta es uno de los alimentos más demandados por los celíacos (Marti & Pagani, 2013), por lo que resulta de gran interés estudiar la posibilidad de emplear materias primas sin gluten con un bajo IG (por las propiedades físicas y estructurales de su almidón, con ratios amilosa/amilopectina altos menores) (Sandhu & Lim, 2008, Hoover & Zhou, 2003). Por esta razón, en este trabajo se pretende evaluar las características físicoquímicas, la microestructura y el comportamiento en la cocción de pappardelle secas al huevo a base de harina de garbanzo y harina de chufa. Los garbanzos son fuente de proteínas (18-25% en base seca), carbohidratos (50-60% en base seca), polisacáridos (fibra dietética) y oligosacáridos. La chufa (*Cyperus esculentus L.*) es un cultivo importante en España (Ukwuru et al., 2011). Se utiliza principalmente para la elaboración de horchata de chufa. En otros países, la chufa apenas es utilizada a pesar de ser rica en fibra, carbohidratos, lípidos (con un perfil de ácidos grasos similar al aceite de oliva), minerales (K, P, Ca) y vitamina E y C (Sánchez-Zapata et al., 2012). Los productos sin gluten existentes en el mercado (en particular, productos de panadería) contienen frecuentemente aditivos de origen sintético para mejorar su textura. El rechazo por parte del consumidor de los aditivos sintéticos en los productos alimentarios sugiere la necesidad de poder mejorar la textura de estos productos mediante otros agentes estructurantes de origen natural. Diversos estudios muestran el impacto positivo en la textura de pasta sin gluten con el uso de harina pre-gelatinizada de arroz (Marti et al., 2013) y yuca (Fiorda et al., 2013). La harina pre-gelatinizada actúa como aglutinante (Fu, 2008), lo que puede ser útil en el desarrollo de productos sin gluten en cuanto que permite la formación de una masa viscoelástica y compacta, dando una buena palatabilidad y textura a la pasta. En el presente trabajo se investigó el uso de harina de chufa pre-gelatinizada para mejorar la calidad de pasta sin gluten a base de harina de garbanzo y chufa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materias primas

Para llevar a cabo la elaboración de las distintas formulaciones se utilizaron las siguientes materias primas: harina de chufa (TNF), harina de garbanzo (CP), harina de chufa-pregelatinizada (PG), huevo y agua mineral. La sémola de trigo duro (DWS) fue empleada para elaborar la pasta control con gluten y fue suministrada por un proveedor de la industria agro-alimentaria, Harinas Villamayor, S.A. (Huesca, España). La TNF se adquirió en la empresa Tigernuts Traders S.L. (L'Eliana, Valencia, España). El huevo y el agua fueron adquiridos en un supermercado local. La PG se preparó a nivel de laboratorio mediante un tratamiento térmico (80°C, 20 minutos) de la harina de chufa en agua desionizada (1:7,5 g/mL) en condiciones de agitación, seguido de un secado a 40°C durante 24 horas y una molturación.

2.2. Caracterización de las materias primas sólidas

2.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Las materias primas sólidas fueron caracterizadas en cuanto a su contenido en humedad, proteínas, grasas y cenizas utilizando los correspondientes métodos establecido por la Asociación Americana de Químicos de Cereales (AACC, 2001). La fibra total y la fibra soluble e insoluble, el ratio amilosa/amilopectina y el almidón dañado se determinaron con los correspondientes kits enzimáticos K-TDFR, K-SDAM y K-AMYL (Megazyme Ltd., Irlanda). Los carbohidratos digeribles se calcularon por diferencia. Todas las medidas se realizaron por duplicado.

2.2.2. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula de las materias primas sólidas y de sus mezclas se determinó usando un difractómetro láser Mastersizer® 2000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Reino Unido). Se consideró un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. Las medidas se llevaron a cabo por triplicado empleando en cada medida 10-20 g de muestra. Como dispersante se utilizó aire (vía seca). El tamaño medio de las partículas fue expresado en términos del parámetro D [4,3] (ecuación 1), donde n es la cantidad de partículas de diámetro d. Así mismo se consideró el parámetro "Span" o medida de la anchura de la distribución del tamaño de partícula. Cuanto más ancha es dicha distribución, mayor es el valor de este parámetro. Por último se consideró el tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 50% (d(0,5)) y el 90% (d(0,9)) de la muestra.

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n n d_i^4}{\sum_{i=1}^n n d_i^3} \quad (1)$$

2.2.3. PROPIEDADES FUNCIONALES

Las propiedades funcionales de las materias primas sólidas y de sus mezclas fueron determinadas tal y como se explica a continuación. La capacidad de retención de agua (WHC) se determinó utilizando los métodos modificados de Heywood et al. (2002) y Lin y Zayas (1987). La capacidad de retención de solvente (SRC) se determinó de acuerdo al método AACC (Paul y Minn, 2005). Los solventes utilizados fueron sacarosa (50% w/v), bicarbonato sódico (5% w/v) y ácido láctico (5% v/v). La capacidad de absorción de grasa (FAC) se determinó según el método de Ahn et al. (2005).

2.2.4. CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO

La temperatura y entalpía de gelatinización del almidón se determinaron en exceso de agua (relación muestra:agua 1:3) empleando un calorímetro diferencial de barrido DSC1 (Mettler Toledo, España). Los crisoles se sellaron herméticamente y se dejaron equilibrar en nevera durante 24 horas previamente al análisis. Se realizó un barrido de calentamiento desde 20 hasta 95 °C a 5°C/min. Una vez realizado el barrido, se agujereó el crisol y se dejó 24 horas en estufa con el objetivo de analizar las posibles pérdidas de humedad de la muestra. El análisis se realizó por duplicado para cada materia prima.

2.2.5. MICROSCOPIA

Las muestras se fijaron sobre soportes de cobre con un revestimiento de platino y se observaron con un voltaje de aceleración de 2Kv. El equipo utilizado fue un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) (ULTRA 55, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany).

2.3. Preparación de la pasta

Se prepararon 4 formulaciones diferentes. La formulación control (S) se obtuvo a partir de sémola de trigo duro (72% p/p), huevo (13% p/p) y agua mineral (15% p/p). Para la formulación sin gluten (TNFCPPG0) se emplearon a partes iguales harina de garbanzo y harina de chufa (76% p/p), huevo (13% p/p) y agua mineral (11% p/p). Para evaluar el efecto de la harina de chufa pre-gelatinizada como agente estructurante, se sustituyó la harina de garbanzo por un 5% (p/p) (TNFCPPG5) o un 10% (p/p) (TNFCPPG10). Las diferentes materias primas fueron pesadas empleando siempre la misma balanza (modelo PFB 300-3) (Kern & Sohn GmbH, Balingen), con una precisión de 0,001 g. Para elaborar la masa se utilizó un robot de cocina (Thermomix TM-31, VorwerkSpain M.S.L., S.C., Madrid). Se mezclaron las materias primas sólidas (a una velocidad media (set 4), 45 s) y líquidas (a una velocidad baja (set 2), 15 s) a velocidad moderada por separado, tras lo cual se realizó un amasado de todos los ingredientes durante 10 minutos con 5 minutos de reposo a mitad del tiempo para la formulación control (S) y durante 20 minutos con 10 minutos de reposo a mitad del tiempo para las

formulaciones sin gluten (que necesitaron mayores tiempos para conseguir trabajar la masa así obtenida). La masa se boleó manualmente y se dejó reposar en nevera a 4°C durante 20 minutos. Posteriormente, la masa fue laminada (modelo A 2500, acoplado a un motor eléctrico (A2500), Imperia Italia), que permite laminar a una velocidad constante, consiguiendo láminas de 1 mm de espesor. La forma definitiva (pappardelle), con unas dimensiones de 4,4 cm de ancho, se obtuvieron con el accesorio Duplex reginette 12/44 mm (código 229) (Imperia, Italia), y se cortaron muestras de 7 cm de largo. Finalmente se procedió al secado de la pasta (Mod. SCC 62, Rationel, Alemania) en condiciones controladas de temperatura (55°C) y humedad relativa (60%) durante 5h y 30 minutos, tiempo necesario para que la pasta alcanzase una humedad del 10-12% (similar a la pasta seca comercial). Tras un breve enfriamiento superficial (30 min a temperatura ambiente), la pasta seca se envasó en bolsas a vacío y se almacenó en nevera a 4°C hasta su análisis.

2.4. Cocción de la pasta

El ensayo de cocción se realizó según el método AACC 16-50 (AACC, 2000). Las muestras de pasta seca fueron sumergidas en agua desionizada (25g/300mL) a 98°C. El volumen de agua se mantuvo constante al menos en un 90% del volumen inicial añadiendo agua en el punto de ebullición y cubriendo parcialmente el recipiente para reducir las pérdidas por evaporación. Una vez transcurrido el tiempo óptimo de cocción, se procedía al enfriamiento de la pasta empleando 50mL de agua desionizada fría, para así interrumpir el proceso de cocción. La pasta era finalmente escurrida durante 2 min. El tiempo óptimo de cocción considerado para evaluar calidad de la pasta tras la cocción (firmeza y propiedades de cocción) fue determinado por calorimetría diferencial de barrido (DSC). Para ello se prepararon muestras cocidas a diferentes tiempos (apartado 2.5.3) siguiendo este mismo procedimiento.

2.5. Caracterización de la pasta

Para la determinación de la humedad se empleó el método gravimétrico AACC 44-40 (AACC, 2000). Este método se basa en la pérdida de agua que experimenta la masa en estufa a 130 °C ± 1°C hasta conseguir un peso constante. Para medir las variaciones de peso, se empleó siempre la misma balanza con una precisión de 0,001 g (modelo PFB 300-3) (Kern & Sohn GmbH, Balingen). La actividad de agua se determinó empleando un higrómetro de punto de rocío, modelo AquaLab 4TE (Decagon Devices, Inc., Lab-Ferrer, Lleida, España). La precisión del equipo es de ± 0,003.

2.5.1. ANÁLISIS DE COLOR

El color de la pasta seca se midió en un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM-3600d, Tokio, Japón) entre 400 y 700 nm, iluminador D65 y 10 ° observador estándar, usando fondo blanco. Con el espectro de reflexión

se obtuvo la escala de color en coordenadas CIEL*a*b*. Los parámetros determinados fueron la luminosidad L* (L* = 0 [negro] y L* = 100 [blanco]), la coordenada a* (-a* = verde; y +a* = rojo), la coordenada b* (-b* = azul; y +b* = amarillo). Las mediciones se realizaron por triplicado. Además, se calculó la diferencia total de color (ΔE^*) (Francis y Clydesdale, 1975) entre la pasta sin gluten (TNFCP) y la formulada con sémola de trigo duro (DWS) (ecuación 2):

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L_{TNFCP}^* - L_{DWS}^*)^2 + (a_{TNFCP}^* - a_{DWS}^*)^2 + (b_{TNFCP}^* - b_{DWS}^*)^2]} \quad (2)$$

2.5.2. MICROSCOPIA

Se llevó a cabo el análisis de la microestructura de las formulaciones de pasta seca sin gluten, empleando la misma metodología que para las materias primas (apartado 2.2.5.).

2.5.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN

El tiempo óptimo de cocción se determinó a partir del análisis por calorimetría diferencial de barrido (mismo ensayo descrito en el apartado 2.2.4. para las materias primas sólidas) de muestras de pasta cocida a diferentes tiempos (0, 2, 3, 4 y 5 minutos para la pasta sin gluten, y cada minuto entre 0 y 12 para la pasta control). A partir de la entalpía de gelatinización obtenida (ΔH_i , $i=0$ para la pasta seca; $i=t$ para la pasta cocida), se determinó el grado de gelatinización (DG) alcanzado (ecuación 3) en cada tiempo. Cuando se observó ninguna transición en los termogramas, se consideró que se había alcanzado una gelatinización completa del almidón.

$$DG (\%) = \left(1 - \left(\frac{\Delta H_t}{\Delta H_0} \right) \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Por otra parte, se midieron los siguientes parámetros en los diferentes tiempos de cocción considerados: peso, humedad, dimensiones y firmeza (según los métodos descritos en el apartado 2.5.).

2.5.4. PROPIEDADES DE COCCIÓN

El índice de absorción de agua (WAI (g/g)) se calculó relacionando el incremento de peso y la humedad antes y después de la cocción de la pasta seca (ecuación 4). Para ello las muestras se pesaron antes de la cocción (m_0) y una vez cocidas y retirado el exceso de agua (m_c). El contenido en agua (x_w , g agua/g producto) se determinó con el método AACC 44-40 (AACC, 2000)

$$WAI = \frac{m_c \cdot x_{wc} - m_0 \cdot x_{w0}}{m_0} \quad (4)$$

Las pérdidas durante la cocción (cantidad de sólidos perdidos en el agua de cocción) se determinaron con el método 16-50 (AACC, 2000). Para ello se

cocieron según el método descrito en el apartado 2.4., recogiendo el agua de cocción junto con el agua de enfriamiento en un recipiente de aluminio, y colocando éste a 100°C para evaporar toda el agua hasta peso constante. De esta forma se obtuvo el peso del residuo (m_r). Con estos datos se calculó el porcentaje de pérdidas durante la cocción (ecuación 5).

$$\%CL = \left(\frac{m_c}{m_r} - 1 \right) \cdot 100 \quad (5)$$

El índice de hinchamiento (SI) se expresa como el cambio de volumen entre las muestras de pasta seca y pasta cocida (ecuación 6). Para determinar el SI se calcularon las dimensiones (espesor, anchura y longitud) de las pappardelle con un pie de rey (PCE- DCP 200N, PCE Ibérica S.L., Albacete, España). Con estas medidas se calculó el volumen de las pappardelle seca (V_0) y cocida (V_c).

$$SI = \frac{(V_c - V_0)}{V_0} \quad (6)$$

2.5.5. PROPIEDADES MECÁNICAS: ENSAYO DE CORTE

La firmeza de las pappardelle cocidas se realizó mediante un ensayo de corte usando un Texturómetro TAXT2 (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, uk) acoplado a un PC con adquisición de datos y el software Texture Exponent Version 6.1.7 (Stable Micro Systems). El ensayo fue realizado según el método AACC 16-50 (AACC, 2000) empleando una sonda caracterización láminas de pasta (código A/LKB-F) a una velocidad de 0,17 mm/s y hasta su deformación total. Este ensayo se realizó por triplicado.

2.6. Análisis estadísticos

Para el análisis de los resultados obtenidos en las diferentes formulaciones, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95% y utilizando para las comparaciones el test LSD. Los datos fueron analizados mediante el Software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.17. (StatPoint Technologies, Inc., 2011).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de las materias primas sólidas

3.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización química de las materias primas sólidas empleadas. Resultados similares han sido reportados para el contenido en agua, proteína, grasa y cenizas por Gull et al. (2015) para la DWS, Aguilar et al. (2014) para la TNF y Osorio-Díaz et al. (2008) para la CP. Asimismo los valores del resto de parámetros analizados son concordantes con datos bibliográficos (Aranda et al., 2000). Se han incluido dos valores bibliográficos para el contenido proteico y el de amilosa de la CP debido a puntuales errores experimentales. Es posible observar que el empleo de harina de garbanzo y harina de chufa (al 50%) permitiría obtener pasta sin gluten con un contenido proteico similar y un contenido significativamente mayor en fibra (especialmente insoluble), minerales y grasa que una pasta control (100% DWS). Por otra parte, la cantidad de carbohidratos digeribles sería inferior, y con un porcentaje de amilosa ligeramente menor. La mayor presencia de fibra (especialmente insoluble) y de grasa (con mayor lentitud de digestión), y menor cantidad de almidón, podría implicar un índice glucémico inferior (Foster-Powell et al., 2002). La TNF y la CP presentan un contenido significativamente menor de almidón dañado. En lo referente al pre-gelatinizado (PG), la composición obtenida es, lógicamente, similar a la de la TNF, exceptuando la fibra (mayor capacidad de extracción) y el almidón dañado (gelatinización).

TABLA 1. Media (desviación estándar) obtenida para la caracterización química de las materias primas estudiadas (%)

	DWS	TNF	CP	PG
Humedad	13,43 (0,13) ^b	12 (0,7) ^c	11,48 (0,95) ^c	16,8 (0,3) ^a
Proteínas	13,18 (0,7)	3,7 (0,2)	23,7 (0,07) ^{**}	-
Grasas	0,9 (0,05) ^d	21,44 (0,06) ^b	4,31 (0,03) ^c	23,59 (0,04) ^a
Cenizas	0,27 (0,03) ^c	2,29 (0,07) ^b	3,298 (0,007) ^a	2,32 (0,03) ^b
Fibra				
-Soluble	2,99 (0,13) ^b	3,5 (1,3) ^b	6 (3) ^{ab}	7,5 (0,8) ^a
-Insoluble	7 (3) ^c	16,6 (0,8) ^b	24 (0,6) ^a	24 (4) ^a
-Total	9,1 (0,4) ^c	20 (2) ^b	30 (3) ^a	32 (3) ^a
CH_{dig}*	63,3 (0,2) ^a	40 (2) ^b	28 (4) ^c	-
Amilosa (%)	27,2 (1,4) ^a	17 (2) ^b	28 (2) ^{a,***}	-
Almidón dañado	3,31 (0,12) ^b	0,622 (0,109) ^c	0,6717 (0,005) ^c	20 (3) ^a

En la misma columna, valores con la misma letra no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$).

*Calculados por diferencia

** Según Osorio-Díaz et al. (2008)

**Según Meares et al. (2004) y Polesi et al. (2011)

3.1.2. DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

La distribución del tamaño de partícula de las materias sólidas empleadas (DWS, TNF, CP y PG) y sus mezclas (TNFCPPG0, TNFCPPG5 y TNFCPPG5) (Tabla 2) proporciona información acerca de la capacidad (velocidad) y uniformidad de absorción de agua (disolución en sistemas sólidos o suspensiones). El tamaño de partícula afecta al comportamiento de las formulaciones durante su procesado y cocción, y a la uniformidad del producto final.

TABLA 2. Valores medios (desviación estándar) del tamaño medio de partícula (D[4,3]), del tamaño máximo de partículas para el el 50% ó el 90% de la muestra (d(0,5) ó d(0,9)), y del número Span para las materias primas sólidas (y sus mezclas) empleadas.

Muestra	D[4,3](μm)	d(0.5)(μm)	d(0.9)(μm)	Span
DWS	317,9 (1,8) ^b	306,7 (1,7) ^b	508 (2) ^b	1,156 (0,012) ^f
TNF	221 (4) ^d	177 (8) ^e	469 (11) ^d	2,39 (0,03) ^c
CP	141 (12) ^f	47 (7) ^g	353,2 (1,5) ^f	6,9 (0,9) ^a
PG	632 (8) ^a	581 (10) ^a	1195 (28) ^a	1,77 (0,03) ^d
TNFCPPG0	225 (2) ^d	192 (3) ^d	479 (4) ^{cd}	2,382 (0,008) ^c
TNFCPPG5	191,3 (0,9) ^e	137,65 (1,06) ^f	444,6 (5,6) ^e	3,07 (0,05) ^b
TNFCPPG10	232 (3) ^c	204 (4) ^c	483 (5) ^c	2,22 (0,03) ^c

En la misma columna, valores con la misma letra no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$).

Se puede observar que tanto los valores del tamaño medio de partícula (expresado como diámetro medio del volumen equivalente) como el d(0,5) y d(0,9) son significativamente inferiores para la harina de garbanzo, seguida de la TNF y la DWS. Por otra parte, la harina de chufa pre-gelatinizada tiene un tamaño medio de partícula significativamente superior que las otras materias primas, lo cual podría deberse a la hidratación de la fibra y sobre todo al hinchamiento y cambio estructural de los gránulos de almidón. La uniformidad en la distribución de tamaño de partícula (Span) fue superior en la sémola de trigo duro (producto obtenido en molturación industrial) y el pre-gelatinizado (que se ha obtenido con molturación tras la gelatinización). La mayor presencia de fibra en la harina de chufa (20 (2)%), harina de garbanzo (30 (3)%) podría ser la responsable de su mayores heterogeneidades. Las mezclas presentan valores de Span en línea con las materias primas utilizadas.

3.1.3. PROPIEDADES FUNCIONALES

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos tras analizar las propiedades funcionales de las materias primas sólidas evaluadas (DWS, TNF, CP y PG) y sus mezclas (TNFCPPG0, TNFCPPG5 y TNFCPPG5). La capacidad de retención de agua (WHC) informa de la habilidad para absorber y retener agua ligada hidrodinámicamente, capilarmente y físicamente atrapada contra la gravedad. Los resultados muestran una WHC significativamente mayor ($p < 0,05$) en la TNF, CP y PG frente a la sémola de

trigo duro. Esta diferencia puede ser atribuida, por una parte, al mayor contenido en fibra de la harina de chufa (Ade-Omowaye et al., 2008) y de la harina de garbanzo. El menor tamaño medio de partícula de la TNF y de la CP supone además la existencia de una mayor área superficial disponible para la absorción de agua (Albors et al., 2016). El PG es el que presentó un valor significativamente superior, probablemente debido al mayor contenido de almidón dañado, si bien su presencia no afectó a los valores obtenidos en la mezcla TNF-CP. La capacidad de retención de solvente informa de la capacidad de retención de agua por los pentosanos (SRC_S), el almidón dañado (SRC_B) y la glutenina (SRC_{AL}). No se obtuvieron los resultados esperados, pues no se encontró una relación entre la ausencia de glutenina y los valores de SRC_{AL} y en cuanto al SRC_B, únicamente cabría destacar el aumento significativo ($p < 0,05$) en la PG, lo cual podría deberse a una mayor presencia de almidón dañado. La capacidad de absorción de grasa se atribuye a la habilidad que tienen las proteínas para ligar lípidos. En este caso, los resultados muestran diferencias significativas solamente en la harina de chufa.

TABLA 3. Propiedades funcionales de la sémola de trigo duro (DWS), harina de chufa (TNF), harina de garbanzo (CP), harina de chufa pre-gelatinizada (PG) y sus mezclas (TNFCPPG0, TNFCPPG5 y TNFCPPG10).

Muestra	SRC _S (%)	SRC _B (%)	SRC _{AL} (%)	WHC (g agua/g harina)	FAC (g aceite/g harina)
DWS	133 (11) ^b	74,3 (0,6) ^d	117 (6) ^e	0,9 (0,07) ^d	1,2 (0,2) ^b
TNF	91(12) ^b	60 (5) ^e	150 (0,9) ^b	2,1 (0,2) ^b	1,749 (0,104) ^a
CP	106 (1) ^b	98,4 (1,4) ^b	105,6 (1,4) ^f	1,98 (0,2) ^b	1,25 (0,04) ^b
PG	117 (7) ^b	147 (10) ^a	175 (8) ^a	2,9 (0,2) ^a	1,31 (0,06) ^b
TNFCPPG0	104 (14) ^b	116,0 (0,7) ^b	124 (2) ^d	1,591 (0,112) ^c	1,29 (0,02) ^b
TNFCPPG5	158 (5) ^a	104 (17) ^b	136 (2) ^c	1,586 (0,012) ^c	1,3 (0,03) ^b
TNFCPPG10	164 (2) ^a	83.4 (0.5) ^c	133,6 (0,9) ^c	1,6 (0,4) ^c	1,19 (0,06) ^b

En la misma columna, valores con la misma letra no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$).

3.1.4. TEMPERATURA Y ENTALPÍA DE GELATINIZACIÓN

En la Tabla 4 pueden observarse los valores medios obtenidos para la temperatura (T_p) y entalpía específica (ΔH_s) de gelatinización para las materias primas sólidas empleadas. Los valores son similares a los obtenidos por Dermirkesen et al. (2013) para la TNF y Jogihalli et al. (2017) para la CP. Obviamente no se obtuvieron datos en la muestra PG. Estos valores servirán para tener una referencia en el análisis de DSC realizado en las muestras de pasta seca (apartado 3.3.), especialmente en los valores de T_p .

TABLA 4. Medias (desviación estándar) de la temperatura (T_p) y entalpía específica (ΔH_s) de gelatinización para la sémola de trigo duro (DWS), harina de chufa (TNF), harina de garbanzo (CP) y harina de chufa pre-gelatinizada (PG).

Muestra	T_p (°C)	ΔH (J/g)	ΔH_s (J/g almidón)*
DWS	59,1 (0,4) ^a	1,33 (0,04) ^a	2,09 (0,06) ^a
TNF	77,7 (0,4) ^c	0,68 (0,13) ^b	2,2 (0,4) ^a
CP	73,1 (0,5) ^b	0,31 (0,05) ^c	1,11 (0,04) ^b
PG	-	-	-

*Calculado considerando el valor de CH_{dig} y teniendo en cuenta que la TNF tiene un 9% de azúcares no almidón

En la misma columna, valores con la misma letra no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$).

Es sabido que los solutos aumentan la temperatura de gelatinización del almidón al descender la disponibilidad de agua y estabilizar la región amorfa del gránulo de almidón (Ghiasi et al., 1982). Por tanto, la mayor temperatura registrada para la TNF y CP podría ser debida a la cantidad de fibra, azúcar y grasa (éstas últimas en el caso de la TNF) presentes en dichas harinas. Por su parte, teniendo en cuenta que a mayor cantidad de almidón, mayor energía requerida para abrir la estructura en hélice del almidón (Xue y Ngadi, 2007), se calculó la entalpía específica de gelatinización (ΔH_s) para eliminar el efecto del contenido en almidón sobre dicha entalpía. Los valores reflejan que la TNF y la DWS presentan valores similares y significativamente superiores a la harina de garbanzo. Cabría esperar que un menor ratio amilosa/amilopectina implicara mayor entalpía de gelatinización. Esto justificaría la entalpía específica superior de la TNF pero no así la de la DWS, por lo que esta no parece ser la única causa posible de las diferencias encontradas en los valores de ΔH_s , sino que de nuevo podrían explicarse con los efectos de otros componentes de la harina tales como la grasa, la fibra y el azúcar sobre la gelatinización del almidón.

3.2. Caracterización de la pasta seca

La humedad alcanzada tras el secado de la pasta se encuentra dentro del rango 9,817(0,113)-13,7(0,3) (% p/p) mientras que el valor de la actividad de agua se situó por debajo de 0,5 (valores similares a los encontrados en la pasta seca comercial).

3.2.1. ANÁLISIS DEL COLOR

En la figura 1 se muestran los valores CIE $L^*a^*b^*$ para las muestras secas. La pasta tradicional tiene un color claro y amarillento muy suave, debido al huevo y a la sémola de trigo duro que contiene caroteno. Tal y como puede observarse, las muestras control mostraron tonalidades más claras en la zona de los amarillos claros. Al incorporar harina de chufa, las pappardelle adquieren un color más oscuro que la formulación control debido al color marrón oscuro característico de la TNF. Esto no penaliza la aceptación

sensorial (visual) de la pasta, ya que normalmente el consumidor asocia la pasta rica en fibra dietética con un color más oscuro (Chillo et al., 2008, Albors et al., 2016). Otros autores muestran resultados similares en pasta enriquecida con fibra (Aravind, Sissons, Egan, et al., 2012), harina de trigo sarraceno (Chillo et al., 2008) y harina de legumbre (Gallegos-Infante et al., 2010). La presencia de la harina de chufa pre-gelatinizada influye sobre los resultados del color.

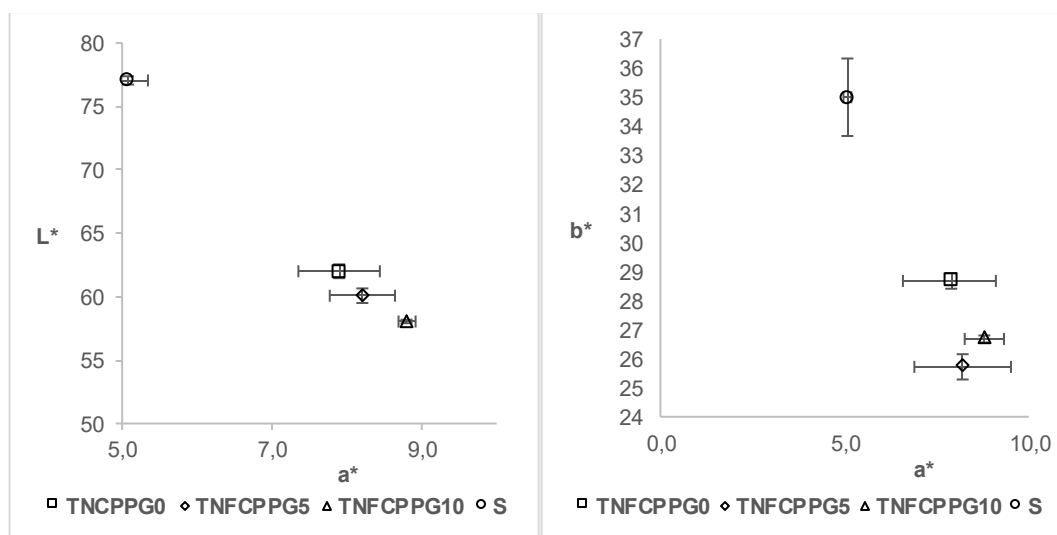


FIGURA 1. Diagramas cromáticos L* vs a* y b* vs a* para las formulaciones de pasta seca

En la figura 2, se muestran las diferencias de color entre las formulaciones estudiadas y la formulación control. Se observa que no sólo la incorporación de chufa aumenta la diferencia de color, sino también la incorporación de harina de chufa pre-gelatinizada en las formulaciones, consecuencia de una disminución en la luminosidad y en el parámetro b* (oscurecimiento debido al tratamiento de gelatinización y posterior secado).

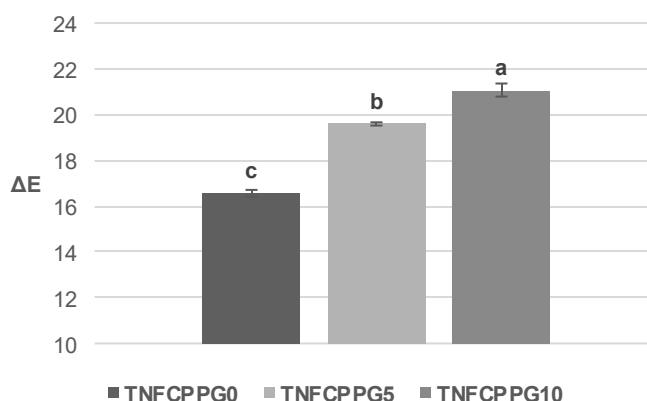


FIGURA 2. Diferencia de color en las formulaciones de pasta seca sin gluten y la control. Valores con la misma letra no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$).

3.2.2. MICROESTRUCTURA

Se ha realizado el análisis de la microestructura tanto de las materias primas empleadas como de las formulaciones de pasta seca a través de microscopía mediante FESEM. En la figura 3 se observan los gránulos de almidón de la chufa con morfología ovalada y que tienen un diámetro aproximado de 10,6 μm (Abo-El-Fetoh et al., 2010), mientras que en el caso de CP se observan gránulos de tamaño heterogéneos tal y como describen Ma et al., (2011). Los gránulos grandes de CP miden aproximadamente 14,2 μm y los pequeños en torno a 4,9 μm . Por el contrario las muestras de PG presentan una estructura dispersa en la cual los gránulos no se observan de forma evidente por efecto de la gelatinización.

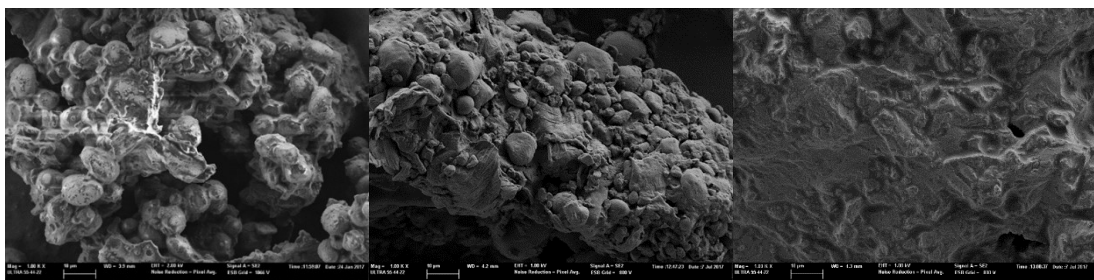


Figura 3. FESEM para las materias primas TNF, CP y PG con aumento 1.00 kx.

En las muestras de pasta seca, figura 4, puede observarse en todos los casos una estructura más o menos compacta de gránulos de almidón embebidos en una matriz proteica. En la formulación TNFCPPG10 puede observarse una matriz más homogénea y menos porosa debido a la mayor presencia de PG.

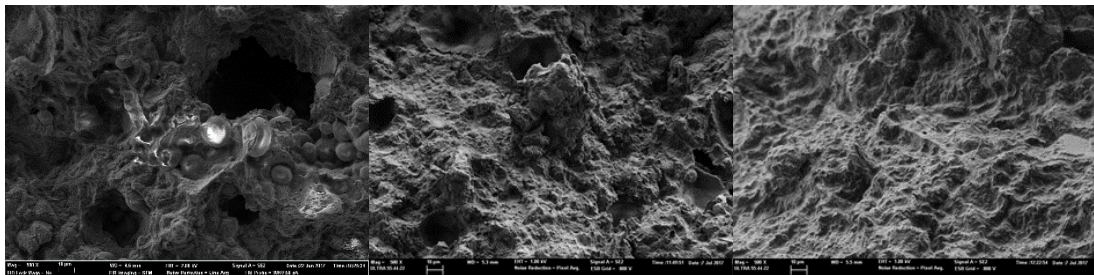


Figura 4. FESEM pasta seca TNFCPPG0, TNFCPPG5 y TNFCPPG10 con aumento 500x.

3.3. Comportamiento en la cocción de la pasta

3.3.1. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN

En la Tabla 5 se han reflejado los valores de entalpía y temperatura de gelatinización de las muestras de pasta seca y cocida a diferentes tiempos. Tal como se ha explicado en materiales y métodos, se determinó el grado de gelatinización alcanzado en cada caso (DG). Como era de esperar, la entalpía de gelatinización disminuye con el tiempo de cocción para todas las formulaciones de pasta ensayadas, hasta llegar a un tiempo en el que no se observó pico de transición en los termogramas. Y en coherencia, el grado de gelatinización aumenta hasta alcanzar el 100%, momento que se puede considerar como tiempo óptimo de cocción. Dicho tiempo fue de 9 minutos para la pasta control, de 5 minutos para las formulaciones sin gluten sin (TNFCPPG0) y con un 10% de pre-gelatinizado (TNFCPPG10), y de 4 minutos para la TNFCPPG5 (Tabla 5). Por tanto, no existen diferencias en el tiempo óptimo de cocción con el uso de PG en las formulaciones, si bien parece existir una mayor rapidez en la gelatinización entre 0 y 2 minutos a medida que se aumenta la cantidad empleada de PG. Esta mayor velocidad inicial no supuso, sin embargo, mayores índices de absorción de agua (WAI) ni de hinchamiento (SI) una vez alcanzado el tiempo óptimo de cocción (Tabla 6). También es posible observar un aumento significativo de la entalpía de la pasta seca (tiempo 0) con el porcentaje de pre-gelatinizado empleado. Por otra parte, los valores obtenidos para la formulación control fueron, como era previsible, significativamente mayores al ser la única con presencia de gluten y por tanto con una estructura que dificulta más el acceso del agua a los gránulos de almidón entrapados en ella.

TABLA 5. Temperatura de gelatinización y % de almidón gelatinizado de cada una de las formulaciones estudiadas tras la cocción de las mismas a diferentes tiempos.

Muestra		ΔH (J/g)	T_p (°C)	DG (%)
S	t=0'	1,28 (0,12)aA	55,93-58,88	0
	t=4'	0,93 (0,14)b	58,86-61,96	27,2 (1,2)
	t=9'	-	-	-
TNFCPPG0	t=0'	0,96 (0,14)a	71,59-79,06	0
	t=2'	0,58 (0,08)b	76,3-76,92	39,6 (1,3)
	t=3'	0,33 (0,05)c	76,14-76,25	66 (5)
	t=4'	0,220 (0,012)d	78,67-78,39	77,1 (1,4)
	t=5'	-	-	-
TNFCPPG5	t=0'	3,2 (0,9)a	70,65-78,19	0
	t=2'	0,58 (0,09)b	76,62-83,27	81,9 (1,4)
	t=3'	0,29 (0,09)c	77,44	91,0 (1,2)
	t=4'	-	-	-
	t=5'	-	-	-
TNFCPPG10	t=0'	6,1 (0,8)a	71,27-80,48	0
	t=2'	0,43 (0,09)b	73,90-75,77	93,0 (0,9)
	t=3'	0,460 (0,002)b	75,78-76,03	92,480 (0,002)
	t=4'	0,23 (0,08)c	77,33-78,13	96,3 (1,3)
	t=5'	-	-	-

3.3.2. PROPIEDADES DE COCCIÓN

En la Tabla 6 se han reflejado los valores medios de los parámetros de cocción considerados: índice de absorción de agua (WAI), pérdidas en la cocción (%CL), grado de hinchamiento (SI) y firmeza de la pasta cocida (F). La determinación de los parámetros de textura después de la cocción de la pasta tiene una gran importancia desde el punto de vista de la aceptabilidad por el consumidor. La pasta de buena calidad posee un alto grado de firmeza y elasticidad, lo que se conoce como "al dente" (Antognelli, 1980; Pomeranz, 1987). La firmeza de las formulaciones sin gluten es, como era de esperar, significativamente inferior a la de la pasta control. Por otra parte, los valores obtenidos muestran una disminución significativa al aumentar el pre-gelatinizado, si bien se trata de variaciones pequeñas para este parámetro. Otro estudio muestra un mejoramiento de la firmeza en formulaciones sin gluten con el 40% de pre-gelatinizado de harina de yuca (Fiorda et al., 2008). Es posible que las cantidades empleadas de PG en este estudio sean pequeñas para obtener un efecto positivo sobre la textura, aunque tal como se ha explicado previamente, la microscopia muestra una mayor homogeneidad estructural, aportando una cierta continuidad (menos huecos) al aumentar el pre-gelatinizado. Por otra parte, hay que considerar que el PG sustituye a la harina de garbanzo (fuente de proteína en las formulaciones sin gluten).

TABLA 6. Medias (desviación estándar) del índice de absorción de agua (WAI), pérdidas en la cocción (%CL), índice de hinchamiento (SI) y firmeza (N) en el tiempo óptimo de cocción.

Formulación	WAI (g/g)	%CL	SI	F (N)
S	1,74 (0,02) ^a	2,9 (0,2) ^c	0,80 (0,02) ^a	20,6 (0,2) ^a
TNFCPPG0	0,82 (0,05) ^b	11,7 (0,2) ^a	0,62 (0,06) ^b	8,8 (0,5) ^b
TNFCPPG5	0,79 (0,003) ^b	8,7 (0,2) ^b	0,58 (0,03) ^b	7,6 (0,3) ^c
TNFCPPG10	0,812 (0,015) ^b	12,0 (0,2) ^a	0,37 (0,012) ^c	6,5 (0,4) ^d

En la misma columna, valores con la misma letra no hay diferencias significativas entre los valores ($p > 0,05$).

Según Mestres, Colonna, Alexandre, & Matencio (1993), las pérdidas durante la cocción para formulaciones de pasta sin gluten pueden alcanzar valores más elevados que una pasta de sémola de trigo duro, hasta el 20-25%. Teniendo en cuenta la ausencia de gluten en las formulaciones estudiadas, los valores obtenidos se pueden considerar comparables a los referenciados para otras formulaciones de pasta sin gluten a base de harina de otras legumbres (Giuberti, et al., 2015) y de quinoa (Caperuto, Amaya-Farfan y Camargo, 2000). El valor inferior de %CL para las pappardelle cocidas con un 5% de PG podría ser debido a que el tiempo óptimo de cocción fuera de 4 minutos, pues a los 5 minutos dicho parámetro alcanzó valores similares a las otras dos formulaciones sin gluten. La presencia de PG no afectó al índice de absorción de agua y de hinchamiento, que sí fueron significativamente inferiores para las formulaciones sin gluten con respecto a la formulación control.

4. CONCLUSIONES

El empleo de harina de garbanzo y harina de chufa (al 50%) permitió obtener pappardelle sin gluten que, de acuerdo con la composición de dichas harinas, aportaría un contenido significativamente mayor de fibra (especialmente insoluble), minerales y grasa (proveniente de la harina de chufa, y por tanto rica en ácido oleico). El análisis calorimétrico permitió definir un tiempo óptimo de cocción entre 4 y 5 minutos para las formulaciones sin gluten. El empleo de harina pre-gelatinizada de chufa en las proporciones ensayadas no supuso una mejora en la firmeza de la pasta cocida ni influyó en el tiempo óptimo de cocción, pero sí aportó una cierta continuidad a la estructura de la pasta, por lo que se sugiere estudiar el efecto que tendría el uso de mayores cantidades de pre-gelatinizado.

6. REFERENCIAS

- AACC. 2005. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, (10th edn). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists
- AACC, 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, **46 (3)**: 112–126
- AACC. 2000. Approved methods of the AACC (10th ed). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists
- Abo-El-Fetoh, S.M, Al Sayed, H.M.A.; Nabih, N.M.N. 2010. Physicochemical properties of starch extracted from different sources and their applications in pudding and white sauces. *World Journal of Dairy & Food Science*, **5 (2)**: 173-182
- Ade-Omowaye; B. I. O.; Akinwande, B. A.; Bolarinwa, I. F.; Adebisi, A. O. 2008. Evaluation of tigernut (*Cyperus esculentus*) wheat composite flour and bread. *African Journal Food Science*, **2**: 87-91
- Ahn, H.J.; Kim, J.H., Ng, P.K.W. 2005. Functional and thermal properties of wheat, barley, and soy flours and their blends treated with a microbial transglutaminase. *Journal Food Science*, **70**: 380–386
- Aguilar, N.; Albanell, E.; Minarro, B.; Guamis, B.; Capellas, M. 2014. Effect of tigernut-derived products in gluten-free batter and bread. *Food Science and Technology International*, **21(5)**: 323-331
- Albors, A.; Raigon, M. D.; García-Martínez, M. D.; Martín-Esparza, M. E. 2016. Assessment of techno-functional and sensory attributes of tiger nut fresh egg tagliatelle. *LWT-Food Science and Technology*, **74**: 183-190
- Angioloni, A.; Collar, C.; Ronda, F.; Pérez-Quirce, S. 2013. Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: a fundamental and empirical rheological approach. *Food Hydrocolloids*, **32(2)**: 252-262
- Antognelli, C. 1980. The manufacture and applications of pasta as a food and as a food ingredient. *Journal of Food Technology*, **15**: 125–145
- Aranda, P.; Dostalova, J.; Frias, J.; Lopez-Jurado, M.; Kozłowska, H.; Pokorny, J.; Urbano, G.; Vidal-Valverde, C.; Zdyunczyk, Z. Nutrition. 2000. In: Carbohydrates in Grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. Hedley, C.L. (editor). CAB International, Wallingford, GB. ProQuest ebrary. Web. 14 September 2017. Págs. 61-87.
- Aravind, N.; Sissons, M.; Fellows, C.M. 2012. Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat shetti. *Food Chemistry*, **131(3)**: 893-900
- Bashir, K.; Aggarwal, M. 2016. Effects of gamma irradiation on the physicochemical, thermal and functional properties of chickpea flour. *LWT – Food Science and Technology*, **69**: 614-622
- Brand-Miller, J.; McMillan-Price, J.; Steinbeck, K.; Caterson, I. 2009. Dietary glycemic index: Health implications. *The Journal of the American College of Nutrition*, **28**: 446-449
- Brennan, C.S.; Tudorica, C.M. 2007. Fresh pasta quality as affected by enrichment of non starch polysaccharides. *Journal of Food Science*, **72(9)**: 659-665
- Caperuto, L.C.; Amaya-Farfan, J.; Camargo, C.R.O. 2000. Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten free spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81**: 95-101

- Chillo, S.; Laverse, J.; Falcone, P. M.; Protopapa, A.; Del Nobile, M. A. 2008. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *Journal of Cereal Science*, **47(2)**:144-152
- Fiorda, F.A.; Soares Jr. M.S.; da Silva, F.A.; Grosmann, M.V.E.; Souto, L.R.V. 2013. Microstructure, texture and colour of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse. *Food Science and Technology*, **54**: 132-138
- Francis, F. J.; Clydesdale, F. M. 1975. The measurement of meat color. *Food Colorimetry: Theory and Application*. The AVI Publishing Company, Westport, CT; 73-111
- Foster-Powell, K.; Holt, S.H.A.; Brand-Miller, J.C. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **76**: 5-56
- Fu, B.X. 2008. Asian noodles: history, classification, raw materials, and processing. *Food Research International*, **41**: 888–902
- Gallegos-Infante, J.A.; Rocha-Guzman, N.E.; Gonzalez-Laredo, R.F.; Ochoa-Martinez, L.A., Corzo, N., Bello-Perez, L.A. et al. 2010. Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, **119 (4)**: 1544-1549
- Ghiasi, K.; Hosoney, R.C.; Varriano-Marston, E. 1982. Gelatinization of wheat starch. I. Excess-water systems. *Cereal Chemistry*, **59**: 81
- Giuberti, G.; Gallo, A.; Cerioli, C.; Fortunati, P.; Masoero, F. 2015. Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chemistry*, **175**: 43–49
- Gull, A.; Prasad, K.; Kumar, P. 2015. Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta. *LWT Food Science and Technology*, **63(1)**: 470-474
- Heywood, A.A., Myers, D.J.; Bailey, T.B., Johnson, L.A. 2002. Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion expelling system. *American Oil Chemistry Society*, **79**:1249–1253
- Hoover, R.; Zhou, Y. 2003. *In vitro* and *in vivo* hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formations in legumes. A review. *Carbohydrate Polymers*, **54**: 401-417
- Jogihalli, P.; Singh, L.; Kumar, K.; Singh Sharanagat, V. 2017. Physico-functional and antioxidant properties of sand-roasted chickpea (*Cicer arietinum*). *Food Chemistry*, **237**: 1124-1132
- Lamacchia, C.; Camarca, A.; Picascia, S.; Di Luccia, A.; Ginafrani, C. 2014. Cereal based gluten-free food: How to reconcile nutritional and technological properties of wheat proteins with safety for celiac disease patients. *Nutrients*, **6**: 575-590
- Lin C.S; Zayas J.F. 1987. Functionality of defatted corn germ proteins in a model system: fat binding capacity and water retention. *Food Science*, **52**: 1308–1311
- Ma, Z.; Joyce I.; Boye, J.I., Benjamin K. Simpson, B.K; Prasher, S.O.; Monpetit, D.; Malcolmson, L. 2011. *Food Research International*, **44**: 2534–2544
- Marti, A.; Caramanico, R.; Bottega, G.; Pagani, M.A. 2013. Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. *Food Science and Technology*, **54**: 229-235
- Marti, A.; Pagani, M.A. 2013. What can play the role of gluten free pasta? *Trends in Food Science & Technology*, **31**: 63-71
- Meares, C.A.; Bogracheva, T.Y.; S.E; Hill, S.E.; Hedleya, C.L. Development and Testing of Methods to Screen Chickpea Flour for Starch Characteristics. *Starch*, **56**: 215–224
- Mestres, C.; Colonna, P.; Alexandre, M.C.; Matencio, F. 1993. Comparison of various processes for making maize pasta. *Journal of Cereal Science*, **17**: 277-290
- O’Shea, N.; Arendt, E.; Gallagher, E. 2014. State of the art of gluten-free research. *Journal of Food Science*, **79**, 1067-1076

- Osorio-Díaz, P.; Agama-Acevedo, E.; Mendoza-Vinalay, M.; Tovar, J.; Bello-Pérez, L.A. 2008. Pasta added with chickpea flour: chemical composition, in vitro starch digestibility and predicted glycemic index. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, **6**: 6-12
- Polesi, L.F.; Sarmiento, S.B.S; dos Anjos, C.B.P. 2011. Composition and characterization of pea and chickpea starches. *Brazilian Journal of Food Technology*, **14 (1)**: 74-81
- Pomeranz, Y. 1987. Modern cereal science and technology. New York, USA: 121–122
- Sanchez-Zapata, E., Fernandez-Lopez, J., Sendra, E., & Perez-Alvarez, J. A. 2012. Tiger nut (*Cyperus esculentus*) commercialization: health aspects, composition, properties, and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **11**: 366-377
- Sandhu, K.S.; Lim, S.T. 2008. Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. *Carbohydrate Polymers*, **71**: 245-252
- Xue, J.; Ngadi, M. 2007. Thermal properties of batter systems formulated by combinations of different flours. *LWT- Food Science and Technology*, **40**: 1459-1465.
- Ukwuru, M.U.; Ibeneme, C.L.; Agbo, C.I. 2011. *Pakistan Journal of Nutrition*, **10 (2)**: 101-105