

PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES DE FORMULACIONES DE PASTA FRESCA “RICA EN FIBRA”

Autor: Andreu Miñana Peiró. Directores: M^a Eugenia Martín Esparza, Ana M^a Albors Sorolla

RESUMEN

En el presente trabajo se ha evaluado la viabilidad y el impacto en la calidad de la pasta fresca tipo tallarines obtenida con la incorporación de harina de chufa, salvado de trigo blando y goma xantana (diferentes niveles de sustitución) con el objetivo de obtener un producto con propiedades tecnofuncionales aceptables y “con alto contenido en fibra”. Para ello se estudiaron en la pasta recién elaborada y en la cocida las propiedades físicoquímicas, las propiedades mecánicas, el comportamiento en la cocción, así como los parámetros de color en la pasta recién elaborada. Además se analizó la evolución de la ganancia de agua y de la textura en la cocción. Los resultados fueron comparados con los obtenidos en la formulación control (100% harina de trigo duro). El cambio experimentado en el color de las pastas enriquecidas, tendiendo a tonalidades pardo-rojizas, no supone una valoración negativa del consumidor. El mayor nivel de sustitución por harina de chufa (más del 33%) supuso mayores pérdidas de solubles durante la cocción y peores características texturales. Las formulaciones con propiedades mecánicas más próximas a la formulación control (antes y después de la cocción) fueron la F4 y la F9, siendo la primera la más elástica antes de la cocción. El modelo de Peleg describió adecuadamente las curvas de ganancia de agua. La cinética de cocción y los cambios texturales explicaron que para las formulaciones estudiadas, la F4 es la que presenta características más similares a la FC a partir de los dos minutos de cocción. Teniendo en cuenta todos los parámetros estudiados y la importancia que tiene la textura para el consumidor habitual de pasta, la formulación que presenta unas características globales más aceptables es la F4 (20% S, 0,25% GX), seguida de la F9 (17% S, 10% CH y 0,25% GX).

Palabras clave: pasta fresca, propiedades mecánicas, color, cinética de cocción, fibra dietética.

RESUM

En el present treball s'ha avaluat la viabilitat i l'impacte en la qualitat de la pasta fresca tipus tallarin obtinguda amb la incorporació de farina de xufa, salvat de blat bla i goma xantana (diferents nivells de substitució) amb l'objectiu d'obtenir un producte amb propietats tecnofuncionals acceptables i “amb alt contingut en fibra”. Per fer-ho es van estudiar en la pasta recentment elaborada i en la cuïta les propietats físicoquímiques, les propietats mecàniques, el comportament en la cocció, així com els paràmetres de color en la pasta recentment elaborada. A més es va analitzar l'evolució del guany d'aigua i de la textura en la cocció. Els resultats van ser

comparats amb els obtinguts en la formulació control (100% farina de blat dur). El canvi experimentat en el color de les pastes enriquides, tendint a tonalitats marró-vermelloses, no suposa una valoració negativa del consumidor. El major nivell de substitució per farina de xufa (més del 33%) va suposar majors pèrdues de solubles durant la cocció i pitjors característiques texturals. Les formulacions amb propietats mecàniques més pròximes a la formulació control (abans i després de la cocció) van ser la F4 i la F9, sent la primera la més elàstica abans de la cocció. El model de Peleg va descriure adequadament les corbes de guany d'aigua. La cinètica de cocció i els canvis texturals van explicar que per a les formulacions estudiades, la F4 és la que presenta característiques més similars a la FC a partir dels dos minuts de cocció. Tenint en compte tots els paràmetres estudiats i la importància que té la textura per al consumidor habitual de pasta, la formulació que presenta unes característiques globals més acceptables és la F4 (20% S, 0,25% GX), seguida de la F9 (17% S, 10% CH i 0,25% GX).

Paraules clau: pasta fresca, propietats mecàniques, color, cinètica de cocció, fibra dietètica

ABSTRACT

Incorporation of wheat bran, tiger nut flour and xanthan gum into basic fresh egg tagliatelle (100% durum wheat flour) at different substitution levels was assessed to obtain a pasta product (labelled as “rich of fiber”) with good technological properties. Uncooked and cooked pasta was evaluated for physicochemical, cooking mechanical and optical properties (these only on uncooked samples) to determine the formula producing acceptable quality. Moreover, water gain and texture changes were evaluated during cooking. Basic formula was used as control. Enriched pasta presented a more brown-reddish tone, which do not represent a negative appreciation for consumers. Incorporation of tiger nut flour at the highest substitution levels (more than 33%) into the pasta formula implies the greatest losses during cooking and the worst textural characteristics. Results highlight that F4 and F9 are the formulae with most similar mechanical properties to those of control pasta, being F4 the most elastic one before cooking. Water gain curves could be adequately described by using Peleg’ model. Changes in mechanical properties during cooking showed the same behavior for all studied samples, being F4 the most similar to the control formula (from 2 minutes). Taking into account all assessed parameters and being the texture the main quality parameter for pasta consumers, it can be concluded that the more acceptable formula is F4 (20% S, 0,25% GX), followed by F9 (17% S, 10% CH y 0,25% GX).

Key Words: Fresh pasta, mechanical properties, color, kinetikal of cooking, diet fibre.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas ha habido un reconocimiento especial al papel de la fibra en la dieta humana, con especial interés en la proveniente de los cereales. Diversos estudios epidemiológicos han puesto de relieve la relación que existe entre las dietas con un ingesta inadecuada de fibra y la aparición de ciertas patologías denominadas “occidentales” como el cáncer de colon, enfermedades cardiovasculares, alteraciones en el ritmo y tránsito intestinal, etc. (García y Velasco, 2007).

Actualmente, se recomienda a los consumidores que incrementen el consumo de productos vegetales (frutas, cereales, leguminosas, etc.) en sus dietas y a la industria de alimentos, para que «enriquezcan» sus productos con fibra alimentaria o con algunos componentes de ella, hoy en día considerados como fitoquímicos (García et al., 2008). De acuerdo con las recomendaciones actuales, la cantidad diaria ingerida de fibra dietética (FD) por un adulto debería situarse entre 25 y 38 g (Romo et al., 2008). No obstante, el consumo medio de FD total en los hogares españoles se halla muy por debajo de las ingestas dietéticas de referencia (FESNAD, 2010).

La FD engloba a las partes comestibles de plantas o carbohidratos análogos, resistentes a la digestión y la absorción en el intestino delgado humano con fermentación en el intestino grueso (Martínez y García, 2001). La FD se suele clasificar en fibra soluble (oligosacáridos, pectinas, β -glucanos, y galactomananos) o insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) en el agua (Tudorica et al., 2002). La fibra soluble tiene varias funciones físico-químicas, como son la fijación de agua y la variación de la viscosidad del producto final, lo que aporta beneficios fisiológicos como la prevención del estreñimiento facilitando el tracto intestinal, el descenso del nivel de colesterol en sangre y la regulación de los niveles de glucosa en sangre (García y Velasco, 2007). La fibra insoluble promueve el movimiento a través del sistema digestivo, además de ser fermentada a lo largo del intestino aumentando el crecimiento de la microflora intestinal (Foschia et al., 2013).

La pasta es un alimento amiláceo ampliamente difundido y consumido en el mundo, con 13,5 millones de toneladas producidas en 2011 (IPO, 2011), incluido en la dieta mediterránea y muy apreciado por su facilidad de transporte, manipulación, cocinado y almacenamiento. Por este motivo la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Food and Drug Administration (FDA) consideran que la pasta es un buen vehículo para la adición de nutrientes, para así prevenir enfermedades y mejorar la salud de los consumidores. Además, la adición de fibra a la pasta ha influido en una reducción del índice glucémico, con lo que las personas diabéticas no tendrían tantos problemas al consumir este tipo de pasta (Brennan y Tudorica, 2008).

Varios autores han intentado mejorar las propiedades nutricionales de la pasta incluyendo la suplementación con proteína, fibra dietética, vitaminas y minerales, o sustituyendo total o parcialmente la sémola de trigo duro por harinas no convencionales, como las de guisantes (Torres et al., 2007), frijoles (Gallegos-Infante et al., 2010), cacahuetes (Howard et al., 2011), amaranto (Borneo y Aguirre, 2008) o quinoa y avena (Chillo et al., 2009).

Desde un punto de vista tecnológico, la sustitución de la harina de trigo duro por otras harinas de origen vegetal representa un desafío pues se produce una disminución en el contenido de gluten y por tanto una pasta de calidad inferior (Granito, 2003). Por lo tanto, el diseño de nuevas formulaciones requiere del estudio de las características en cuanto a textura y comportamiento en la cocción que validen su utilización. En resumen, es necesario optimizar los potenciales beneficios en la salud derivados de la incorporación de FD pero manteniendo la aceptabilidad del producto por parte del consumidor en términos de textura, sabor y color (Brockmole & Zabik, 1976).

En este trabajo se ha empleado la harina de trigo duro para la elaboración de la pasta fresca tipo tallarín y se ha investigado el efecto de la sustitución parcial de dicha harina por harina de chufa y salvado de trigo blando en diferentes proporciones con el objetivo de aumentar el contenido en fibra hasta porcentajes superiores al 6%, de forma que según la legislación europea, el producto sea declarado como “producto con alto contenido en fibra” (EFSA, Reglamento (EC) No 1924/2006). Además, también se ha estudiado la incorporación de un hidrocoloide, concretamente goma xantana, con el objetivo de aportar mejores características texturales (simular propiedades viscolásticas del gluten).

Por tanto se podría decir que el objetivo de este estudio es evaluar el impacto de la incorporación de salvado de trigo, harina de chufa y goma xantana sobre las propiedades tecnofuncionales de la pasta, siendo el objetivo de esta incorporación aumentar la cantidad de fibra dietética.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materias primas

En el desarrollo de las formulaciones de pasta se emplearon como materias primas: harina de trigo duro (HTD con extracción del 74%), harina de chufa (CH), salvado de trigo blando (S), huevo líquido pasteurizado (HP), agua potable (W) y goma xantana (GX). Tanto la HTD como el S fueron suministrados por el proveedor de las industrias agroalimentarias Harineras Villamayor, S.A. (Huesca, España). La CH fue distribuida por la empresa productora de chufa y derivados Tigernuts Traders S.L. (L’Eliana, Valencia). El HP proviene de la industria Avícola Llombai S.A. (Llombai, Valencia, España). La GX fue proporcionada por la empresa de aditivos alimentarios EPSA (Torrent, Valencia, España). El agua empleada fue siempre agua potable, por lo que se empleó la procedente de la red local del laboratorio. La composición y granulometría de las materias primas se muestran en la **TABLA 1**.

TABLA 1 - Características de las materias primas (Fuente: Análisis por Proveedores).

	HTD	CH	HP	S	GX
Humedad (%)	15	-	77,5	-	15
Proteína (%)	12	4,4	11	-	-
Lípidos (%)	-	17,0	9	-	-
Grasas saturadas	-	2,2	-	-	-
Carbohidratos (%)	70	54,7	1	-	-
Fibra dietética total (%)	3	11,2	-	40	-
Cenizas (%)	0,90	-	0,6	-	13
Granulometría	50% 250-350 μm				>95%
	50% 132-250 μm	0,3 mm	-	-	<180 μm

2.2 Diseño experimental

La pasta fresca se obtuvo modificando una receta básica de la pasta elaborada con harina de trigo duro (67%), huevo pasteurizado (13%) y agua potable (20%). Se eligieron diferentes sustituciones de harina de trigo duro por harina de chufa y/o salvado, así como por goma xantana, teniendo en cuenta para dichas sustituciones el contenido mínimo en fibra dietética necesario para que la pasta obtenida pueda declararse como pasta con “alto contenido en fibra” (6g fibra/100g (EFSA, 2006)). En la **TABLA 2** se pueden observar todas las formulaciones ensayadas.

TABLA 2 - Composición de las formulaciones (% en peso)

CÓDIGO	% sustitución (g/100g HTD)			% W (g/100g pasta)
	S	CH	GX	
FC	0	0	0	20
F1	10	39	0	18
F2	20	0	0	22
F3	10	36	0,25	18
F4	20	0	0,25	22
F5	10	33	0,5	18
F6	20	0	0,5	22
F7	18	10	0	20
F8	15	20	0	20
F9	17	10	0,25	20
F10	14	20	0,25	20
F11	16	10	0,5	20
F12	13,5	20	0,5	20

2.3 Elaboración de la pasta

A continuación, se detalla en que consistió cada uno de los pasos seguidos en el proceso de elaboración de las formulaciones de pasta fresca, esquematizado en el diagrama de flujo de la **FIGURA 1**.

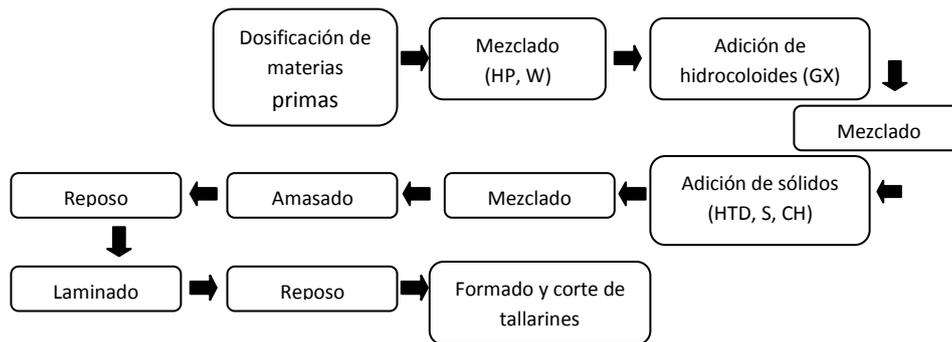


FIGURA 1 - Diagrama de flujo de elaboración de la pasta cruda

Etapa 1. Dosificación de los ingredientes

Todos los ingredientes, tanto sólidos (HTD, CH, S y GX) como líquidos (HP y W) se dosificaron en la misma balanza con una precisión de 0,001g (modelo PFB 300-3, Kern & Sohn GmbH, Balingen).

Etapa 2. Mezclado ingredientes

Tanto los sólidos como los líquidos se mezclaron en un equipo Thermomix modelo TM-31 (Vorwerk España M.S.L., S.C., Madrid). Se introdujeron primero las materias primas líquidas (HP y W) y se homogeneizó la mezcla durante 15s a velocidad 2. Seguidamente, se incorporaron los ingredientes sólidos, en primer lugar la GX mezclándola durante 30s a velocidad 4 y a continuación, las harinas previamente mezcladas y mezclándolas durante 45s a velocidad 4.

Etapa 3. Amasado y Reposo

El amasado se realizó en la misma Thermomix durante dos periodos de 2 min y 30s, a velocidad de amasado, intercalando 5 min dentro del equipo para fomentar la formación de la red proteica. Posteriormente se le dio a la masa forma de bola manualmente y se dejó reposar durante 20 min en una bolsa hermética para evitar la desecación.

Etapa 4. Laminado

Una vez finalizado el tiempo de reposo, se procedió a laminar la bola de masa reposada pasándola por una laminadora-formadora-cortadora (modelo Simplex SP150, Imperia, Italia) acoplada a un motor eléctrico que lamina la masa a velocidad constante. Se pasó por la zona de laminado hasta obtener el espesor deseado (1mm).

Etapa 5. Formado y corte

La lámina de masa se pasó por el accesorio de corte tipo tallarín de la laminadora-formadora-cortadora (modelo Simplex SP150, Imperia, Italia), de nuevo con la velocidad controlada por el motor eléctrico para obtener los tallarines de dimensiones uniformes y deseadas. Se dejaron reposar los tallarines 5 min en el soporte especial para pasta para eliminar su humedad superficial.

Finalmente, para realizar los diferentes análisis programados en la pasta recién elaborada y en la cocida, se procedió al corte de los tallarines con una longitud de 7 cm. Las muestras eran almacenadas en refrigeración (a 6°C, como máximo 24h) hasta su posterior análisis.

2.4 Ensayos de cocción

Los ensayos de cocción se realizaron por triplicado para cada tipo de formulación elaborada según el método AACC 16-50 (AACC, 2000). Consisten en la inmersión de 25g de pasta fresca (tallarines de 7 cm de longitud) en 300 mL de agua desionizada a una temperatura aproximada de 100°C (controlada con termómetro) durante un tiempo de 4 min (tiempo óptimo de cocción para la formula control). El volumen de agua se mantuvo constante al menos en un 90% del volumen inicial, de manera que no fue necesario añadir agua en el punto de ebullición. Una vez transcurrido el tiempo, la pasta fue enfriada empleando 50 mL de agua desionizada fría para interrumpir el proceso de cocción, y finalmente escurrida durante 2 min, eliminando así la mayor parte de agua y humedad superficial.

2.5 Caracterización de las pastas: evaluación de la calidad.

Los parámetros analizados fueron medidos por triplicado para cada formulación a excepción de los parámetros mecánicos (por quintuplicado) en las formulaciones de pasta antes y después del ensayo de cocción (excepto el color que fue evaluado sólo en la pasta recién elaborada).

2.5.1. HUMEDAD

Este parámetro se determinó empleando el método gravimétrico AACC 44-40 (AACC, 2000), que consiste en evaluar la pérdida de peso (balanza con precisión de 0,001 g modelo PFB 300-3 (Kern & Sohn GmbH, Balingen)) experimentada por una muestra de aproximadamente 5 g de pasta, cuando ésta es sometida a una temperatura de 130 °C ± 1°C en una estufa hasta alcanzar un peso constante.

2.5.2. PESO

Para el control de la ganancia de peso en el proceso de cocción se empleó una balanza de precisión 0,001g modelo PFB 300-3 (Kern & Sohn GmbH, Balingen). Los cálculos del índice de absorción de agua (IAA) se realizaron de acuerdo con la ecuación (1), donde se han tenido en cuenta los correspondientes pesos (m) y humedades (x_w , g agua/g producto) de la pasta antes (subíndice o) y después (subíndice c) de la cocción.

$$IAA \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{m_c \cdot x_{wc} - m_o \cdot x_{wo}}{m_o} \quad \text{Ec. (1)}$$

2.5.3 DIMENSIONES

Las dimensiones de los tallarines (espesor (e), anchura (a) y longitud (l), Figura 2) se midieron mediante un pie de rey modelo PCE-DCP 200N (PCE Ibérica S.L. (PCE Inst.), Tobarra, Albacete).

Se calculó el volumen (V) de los tallarines ($e \cdot a \cdot l$), por triplicado, tanto de la pasta cruda (V_o) como de la pasta cocida (V_c), para poder evaluar el grado de hinchamiento o variación de volumen (ΔV , Ecuación 2) entre la pasta cruda (V_o) y la pasta cocida (V_c)

$$\Delta V = \frac{(V_c - V_o)}{V_o} \quad \text{Ec. (2)}$$

2.5.4 PÉRDIDAS DE SÓLIDOS

Las pérdidas de sólidos en la cocción se calcularon a partir del residuo seco obtenido tras la evaporación del agua de cocción recogida junto con el agua de enfriamiento, y referidas al peso inicial de pasta (aproximadamente 25 g) (AACC, 2005).

La eliminación del agua se realizó en dos etapas: evaporación de 2/3 del volumen de líquido en un secador de bandejas (modelo 500, J. Lizondo, Barcelona, España) a 50°C, y sublimación del resto de líquido, una vez congelado a -40°C (modelo CVN-40/105, Matek), en un liofilizador (modelo Lioalfa, Telstar S.A., Madrid, España).

2.5.5. ANÁLISIS DEL COLOR

En el análisis de color de las muestras antes de la cocción se utilizó un espectrocolorímetro (MINOLTA, CM 3600D, Tokio, Japón) previamente calibrado con un negro y blanco estándar, utilizando como referencia el observador 10° y el iluminante D65. Cada formulación fue evaluada por quintuplicado.

A partir del espectro de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color en espacio CIE $L^*a^*b^*$, correspondientes a la luminosidad (L^* , eje vertical) que representa la cantidad de luz que emite una superficie al someterla a un haz de luz ($L=0$ negro, $L=100$ blanco), y a las coordenadas horizontales cromáticas, a^* y b^* , donde a^* representa la cantidad de rojo (+) o verde (-), y b^* la cantidad de amarillo (+) o azul (-). A partir de los valores de L^* , a^* y b^* , se calcularon las magnitudes cromáticas, siendo el croma (C^*_{ab} , Ecuación 4) el indicador de la intensidad, pureza o saturación del color en proporción a su luminosidad, y el tono (h_{ab} , Ecuación 3), un atributo de la sensación visual, en el cual una superficie es similar a una porción o diversas proporciones de dos de los colores percibidos como amarillo, naranja, rojo, verde, azul y púrpura, donde 0°= rojo-púrpura; 90°= amarillo; 180°= azul-verde; y 270°= azul.

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. (4)}$$

2.5.6 ANÁLISIS DE LA TEXTURA

Se realizó un ensayo de corte sobre las distintas formulaciones de pasta antes y después del proceso de cocción, usando un Texturómetro Analizador Universal de Textura TA.XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, UK) acoplado a un PC con adquisición de datos y el software Texture Exponent Version 1.22 (Stable MicroSystems).

El ensayo se realizó según una modificación del método AACC 16-50 (AACC, 2000) (Gallegos-Infante et al., 2010) y consistió en el corte de 5 muestras de 7 cm de longitud adyacentes entre sí con una sonda Blade Set with Warner Bratzler (código HDP/BSW) a una velocidad constante de 0,17 mm/s y hasta deformación total de la muestra.

Los parámetros considerados para evaluar la pasta fueron: la fuerza máxima de corte (F), que se usa como una medida de la firmeza de los tallarines, la pendiente inicial de la curva fuerza-tiempo (S_i), relacionada con el módulo de elasticidad de la pasta, y el área total (A_r) englobada debajo de la curva fuerza-tiempo, desde el inicio hasta el punto donde se encuentra la fuerza máxima de corte (F), y que representa el trabajo requerido para cortar la pasta (da una idea de su consistencia). Para determinar la pendiente inicial, se consideraron los puntos comprendidos entre el primer punto de inflexión desde el origen (a partir de los primeros 50 datos adquiridos) hasta el siguiente punto de inflexión existente en los 80 registros siguientes.

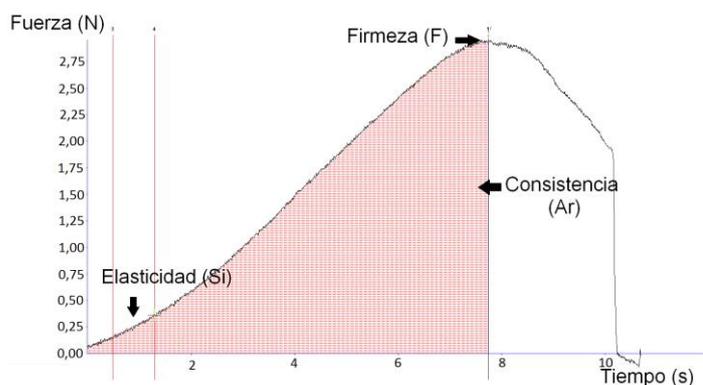


FIGURA 2 Gráfica fuerza-distancia obtenida en los ensayos de corte realizados con el texturómetro

2.5.8 CINÉTICA DE COCCIÓN Y TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN

El objetivo de este ensayo fue determinar el tiempo óptimo de cocción de la pasta fresca. Basándose en la curva de ganancia de agua y la variación en las propiedades mecánicas, se procedió de la siguiente forma: Se preparó cada una de las formulaciones tal y como se ha descrito anteriormente y se realizaron ensayos de cocción (apartado 2.4) para cinco

tiempos (60, 120, 180, 240 y 300 s). Para cada uno de ellos, se analizó la textura de la pasta mediante el método descrito en el apartado 2.5.6, así como la ganancia de peso (2.5.2) y la humedad (2.5.1).

2.5.7 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95% y utilizando para las comparaciones múltiples el test LSD. Se realizó además un análisis de los componentes principales (PCA) para descubrir las relaciones entre las formulaciones y las variables analizadas.

Para ambos análisis se empleó el Software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.17. (StatPoint Technologies, Inc., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tal y como se ha mencionado en la introducción, la disminución de la proporción de sémola de trigo duro en la formulación de pasta fresca implica, a priori, una pérdida en las propiedades tecnofuncionales de la masa y una peor estructuración de la matriz proteína-almidón. Estos cambios se deben, por una parte, al menor contenido en gluten de la formulación obtenida, y de otra, a la incorporación de otras harinas o componentes en sí mismas. Algunas características de la pasta tales como la firmeza, el índice de absorción de agua, las pérdidas durante la cocción, y la pegajosidad, pueden asociarse con el contenido proteico, la fuerza del gluten y con la composición de almidón. Además, el color de la pasta está influenciado por una serie de factores entre los que se encuentran el tipo y cantidad de harinas utilizadas, ya que el color de la harina influye en la pigmentación final del producto.

3.1 Análisis de los datos individuales

El impacto de la sustitución parcial de la harina de trigo duro por salvado y/o harina de chufa, se ha analizado en primer lugar mediante un análisis de los datos individuales a través de un análisis de la varianza de cada variable estudiada y considerando como factores la formulación global y el porcentaje empleado de los componentes por separado (salvado, harina de chufa, agua y goma xantana).

3.1.1 EFECTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y FÍSICAS DE LA PASTA

El análisis de varianza realizado sobre la humedad y actividad del agua de la pasta recién elaborada reflejó, tal como era de esperar, que el factor que más influye en las diferencias significativas encontradas entre las formulaciones es la cantidad de agua empleada en su elaboración (**FIGURA 3b**). Así, aquellas formuladas con menor cantidad de agua (18% en peso de la pasta) que son las que contienen mayor cantidad de chufa (<30% sustitución) son las que alcanzaron un valor significativamente inferior

($p < 0,05$) de estos parámetros y aquellas elaboradas con un 20% de sustitución por salvado y un 22% de agua son las que presentan valores significativamente mayores ($p < 0,05$). Es asimismo destacable que entre las formulaciones con un 20% de humedad (entre las que se incluye la control) sólo aparecen diferencias significativas cuando se ha sustituido harina de trigo duro por un 0,5% de goma xantana (en la **FIGURA 3a** las formulaciones con un 13,5 y 16% de sustitución por salvado), aumentando hasta los valores obtenidos en la pasta con un 22% en peso de agua. Esto podría indicar que el hidrocoloide en este caso es capaz de absorber agua que no ha sido ligada por las harinas. Sin embargo, los valores de humedad y actividad del agua alcanzados tras la cocción oscilaron, respectivamente, entre un 65 y un 68% en peso y entre 0,990 y 0,992, sin que parezca que exista una tendencia clara que explique las diferencias encontradas. Por tanto, parece que aquellas muestras con menor cantidad de agua y mayor de chufa alcanzan finalmente valores similares a los conseguidos por las formulaciones con mayor cantidad de salvado y de agua.

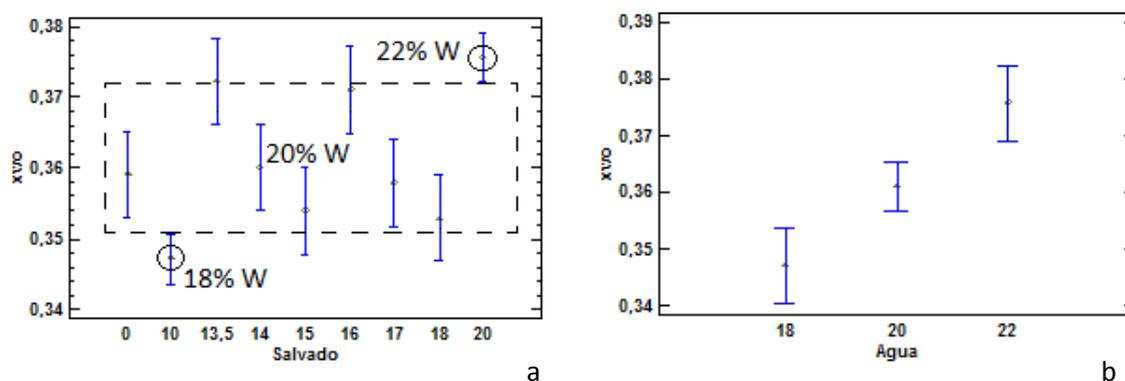
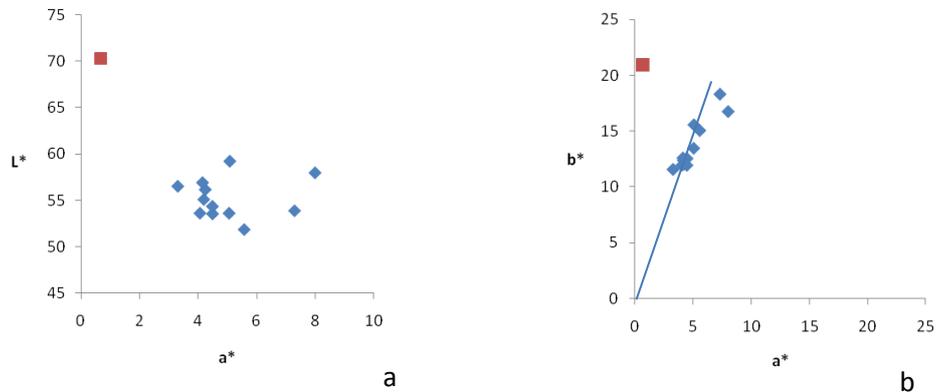


FIGURA 3 a-b. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la humedad de las pastas frescas recién elaboradas en función del porcentaje de sustitución por salvado y la cantidad de agua en su elaboración.

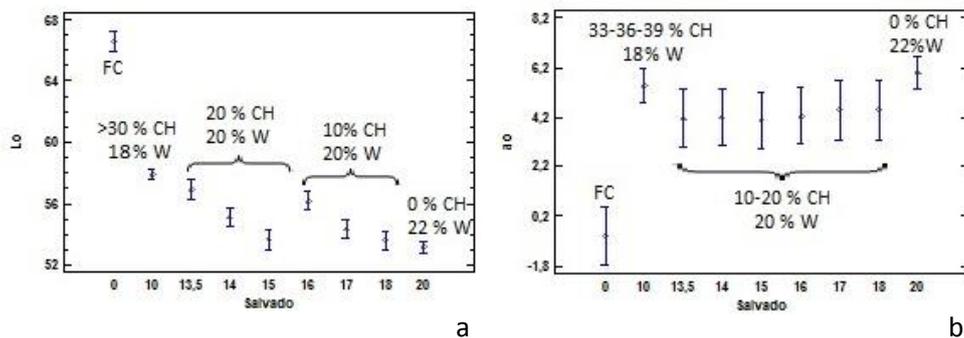
En las **FIGURAS 4a-b** se muestran los valores medios las coordenadas de color, obtenidos para el conjunto de las formulaciones ensayadas en los planos L^*-a^* y a^*-b^* . La incorporación de harina de chufa y/o salvado produce un cambio de color hacia tonalidades pardo-rojizas, tal como muestra la reducción en la luminosidad (L^*) y el aumento en la coordenada a^* con respecto a la fórmula control elaborada con 100% harina de trigo duro (punto en color rojo, **FIGURA 4a**). Este resultado es similar al encontrado por otros autores al emplear harina de alubias (Gallegos-Infante et al., 2010) o harina de cacahuete (Howard et al., 2011). Tal y como puede apreciarse en la **FIGURA 4b** el cambio de color en la pasta recién elaborada con respecto a la fórmula control se desplaza en ambas coordenadas a^*-b^* , disminuyendo en el parámetro b^* (menos amarilla) y aumentando en el parámetro a^* (pardo-rojizo), cuando se adiciona salvado y/o harina de chufa. El tono (h^*_{ab}), por tanto, disminuyó significativamente ($p < 0,05$) con respecto a la fórmula control, pero sin diferencias significativas entre el resto de formulaciones ensayadas, tal como reflejó en análisis de la varianza realizado. Según Chillo et al. (2008), estas variaciones de color propias de las pastas integrales no

penaliza su aceptación por el consumidor que asocia la pasta rica en fibra con un color más oscuro.



FIGURAS 4 a-b. Valores medios de las coordenadas de color L^* y b^* frente a a^* para las formulaciones ensayadas antes de la cocción.

Dado que también se observan diferencias en el comportamiento según la formulación, se muestran a continuación los resultados del análisis de la varianza que permiten evaluar mejor la significancia y la posible causa de las diferencias observadas (**FIGURA 5a**). Las diferencias significativas encontradas en la luminosidad (L^*) entre las formulaciones con sustitución parcial de harina de trigo duro se deben principalmente a la cantidad de salvado (para un mismo % de chufa) disminuyendo a medida que aumenta la cantidad hasta alcanzar los menores valores con el 20%. La goma xantana parece reducir este efecto. En lo que respecta a las coordenadas a^* y b^* , es posible observar (**FIGURAS 5b-c**) que aumentan especialmente con los niveles máximos de sustitución por salvado (20%) o harina de chufa (33-39%). La saturación de color o croma se vio afectada en el mismo sentido que el parámetro b^* .



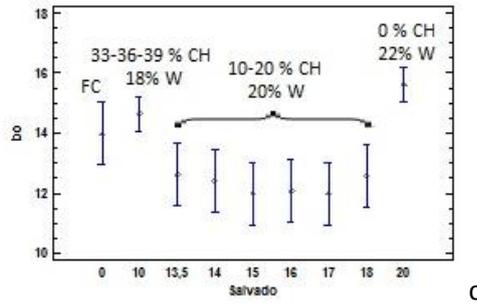
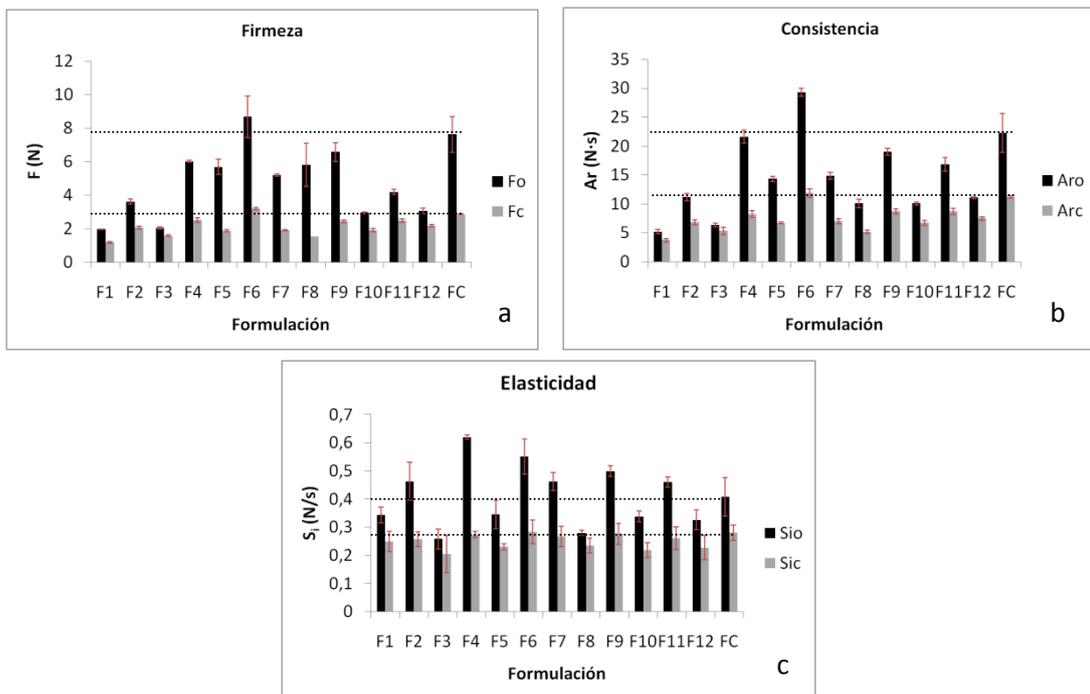


FIGURA 5a-c. Medias e intervalos LSD (95%) de las coordenadas de color evaluadas en las pastas frescas recién elaboradas en función del porcentaje de sustitución por salvado.

Para mostrar el efecto de las distintas formulaciones en las propiedades mecánicas de la pasta recién elaborada, se han representado la fuerza máxima de corte (F , **FIGURA 6a**), el área comprendida debajo de la curva fuerza-tiempo obtenida en el ensayo de corte (A_r , **FIGURA 6b**) y la pendiente inicial (S_i , **FIGURA 6c**), relacionadas respectivamente con la firmeza, la consistencia y la elasticidad de la masa.



FIGURAS 6a-c. Valores medios y desviación estándar de las propiedades mecánicas evaluadas (firmeza F , consistencia A_r y elasticidad S_i) en las diferentes formulaciones de pasta antes y después de la cocción (subíndices o y c , respectivamente)

En las **FIGURAS 6a-c** y de acuerdo con el análisis de varianza realizado, se puede observar, con respecto a la FC (100% HTD), que:

(a) antes de la cocción, la firmeza (F_o) y la consistencia (A_{r0}) de la masa es superior únicamente en la F6, siendo inferior en el resto de formulaciones aproximándose más a la FC la F9 y la F4; y siendo las que obtienen menores valores en dichos parámetros las que contienen mayor cantidad de harina de chufa (F1, F3 y F5). Además la F4 resultó ser la más elástica,

seguida de la F6 y la F9 (en todos los casos superior a la FC), lo que confirma el mayor carácter sólido de estas formulaciones; la F9 es la más próxima a la FC, por lo que parece ser la más fácilmente manipulable a la hora de realizar la laminación y el formado de los tallarines.

(b) después de la cocción, se mantuvo la tendencia descrita en el apartado anterior para la firmeza y la consistencia (F_c y A_{rc}). La elasticidad tendió a acercarse entre todas las formulaciones con la ganancia de agua.

3.1.2. EFECTO EN LAS PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA COCCIÓN

En la **TABLA 3** se muestran los valores medios y desviación estándar del índice de absorción de agua (IAA), el porcentaje de pérdidas (P) y el grado de hinchamiento (ΔV) experimentado en la cocción. El análisis de la varianza mostró que no existen diferencias significativas en el IAA entre las formulaciones, siendo la F2 la que obtuvo el valor más pequeño (0,76 g/g) y las formulaciones F4, F5, F8, F10 y F11 las que presentaron un IAA superior a las demás (0,89 g/g). Por su parte, sí que pudieron observarse diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de pérdidas entre formulaciones. Aquellas con un mayor porcentaje de sustitución por harina de chufa (F1 con un 39% y F3 con un 36%) son las que experimentaron mayores pérdidas en la cocción. Y las formuladas con un 20% de sustitución por salvado sin harina de chufa (F2, F4 y F6) fueron las más próximas a la control (FC con 100% sémola), con el valor más bajo. La presencia de goma xantana resultó ser beneficiosa al disminuir las pérdidas, especialmente en el caso de utilizar los mayores porcentajes de harina de chufa. Esto puede ser debido a la mejor estructuración de la masa conseguida en estos casos. Finalmente, las diferencias significativas encontradas en el grado de hinchamiento se corresponden fundamentalmente con las formulaciones con un mayor grado de sustitución por harina de chufa (F1, F3 y F5) o por salvado sin goma (F2), siendo en el resto de los casos más próximas a la FC.

TABLA 3. Valores medios (desviación estándar) del índice de absorción de agua (IAA), porcentaje de pérdidas (P) y grado de hinchamiento (ΔV) obtenidos para las formulaciones de pasta estudiadas.

Formulación	IAA (g/g)	P (%)	ΔV
F1	0,82 (0,05) ab	13 (3) a	1,72 (0,18) b
F2	0,760 (0,017) b	5,17 (1,13) efg	1,6 (0,4) bc
F3	0,87 (0,04) ab	11,6 (0,5) b	2,21 (0,08) a
F4	0,89 (0,06) a	4,2 (0,3) gh	1,1 (0,2) def
F5	0,90 (0,09) a	6,387 (0,018) de	1,2 (0,2) cd
F6	0,85 (0,06) ab	3,8 (0,3) gh	1,06 (0,06) defg
F7	0,84 (0,08) ab	8,6 (0,3) c	0,73 (0,18) gh
F8	0,90 (0,07) a	7,7 (0,3) cd	0,9 (0,3) defgh
F9	0,82 (0,07) ab	7,36 (0,19) cd	0,81 (0,17) fgh
F10	0,88 (0,07) a	6,2 (0,2) def	1,1 (0,3) de
F11	0,89 (0,08) a	4,6 (0,3) fgh	1,01 (0,18) defgh
F12	0,86 (0,8) ab	4,9 (0,2) efg	0,87 (0,05) efg
FC	0,82 (0,08) ab	3,200 (0,018) h	0,712 (0,107) h

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los valores ($p < 0,05$).

3.2 Análisis global de las formulaciones de pasta: análisis de los componentes principales

El análisis de los componentes principales (PCA, siglas en inglés) se realizó para evaluar el efecto global de la sustitución parcial de harina de trigo duro por salvado y/o harina de chufa en las variables analizadas en la pasta así obtenida. Los dos primeros componentes obtenidos explican el 64,28% de la varianza total (el componente 1 el 41,38 % y el componente 2 el 22,90%). La proximidad entre formulaciones (**FIGURA 6a**) implica que existe un comportamiento similar, mientras que la proximidad entre variables (**FIGURA 6b**) indica el grado de correlación entre ellas. Teniendo en cuenta esta consideración, las formulaciones situadas más hacia la derecha en el eje horizontal (FC, F9, F4 y F6) son las que exhiben mejores características texturales (firmeza F, consistencia A_r , y elasticidad S_i), así como menores pérdidas en la cocción. Por su parte, aquellas situadas más arriba en el eje vertical (FC, F5 y F8) son las que presentan mayores índices de absorción de agua, y mayor luminosidad y tono. También hay que indicar que la elasticidad se sitúa en el cuadrante derecho inferior, por lo que las muestras F4 y F6, ambas sin chufa, con un 20% sustituido por salvado y con 0,25 y 0,5 de goma xantana respectivamente, son las que parecen resultar más elásticas antes de la cocción, lo que las hace más manejables en su elaboración. Ahora bien, la F6 parece resultar excesivamente firme y consistente antes y después de la cocción (esto se ve tanto en el PCA como en el análisis individual de los resultados obtenidos para los parámetros mecánicos).

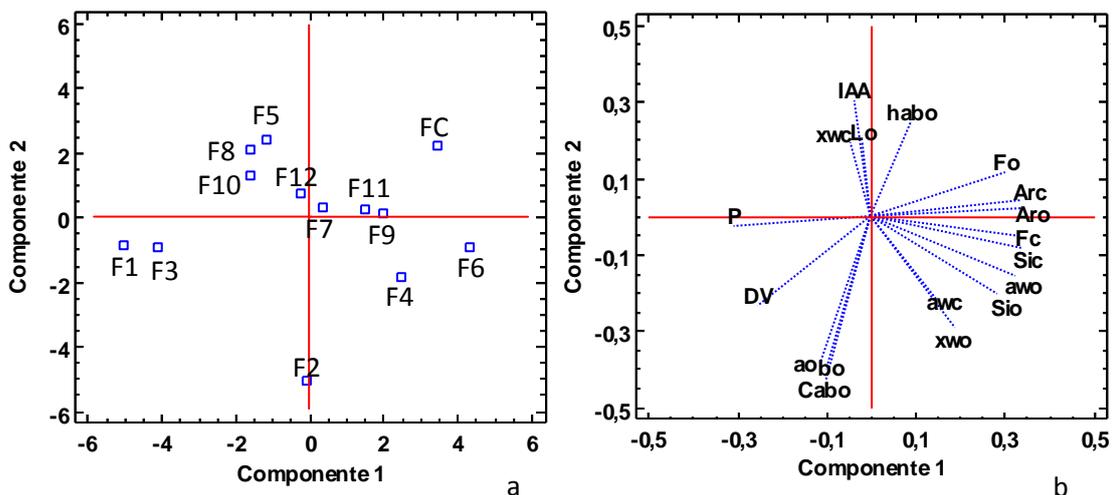


FIGURA 7a-b. Análisis de los Componentes Principales (PCA) para las formulaciones ensayadas (a) y las variables analizadas (b)

IAA: Índice de absorción de agua, ΔV : incremento de volumen, P: pérdidas de cocción, L: Luminosidad, a y b: coordenadas de color a^ y b^* , C_{ab} : croma, h_{ab} : tono, F: firmeza, A_r : consistencia, S_i : elasticidad (subíndices o y c para antes y después de la cocción, respectivamente)

Considerando que la tonalidad menos amarillenta y más oscura es una característica esperada e incluso deseada por los consumidores que buscan productos tipo integral, y a la luz de los resultados obtenidos, parece que la formulación F4 (sustitución 20% salvado, 0,25% goma xantana) es la más adecuada de entre las estudiadas para obtener tallarines catalogables como “ricos en fibra” y con las propiedades tecnofuncionales evaluadas más cercanas a la fórmula control.

3.3 Cinética de cocción

Esta parte del estudio consistió en la evaluación del comportamiento cinético y de los cambios en la textura de 4 de las formulaciones durante su cocción. Concretamente se analizaron las formulaciones F4, F9, F10 y la FC. La elección se realizó teniendo en cuenta que la F4 y la F9 son las que presentan una firmeza y elasticidad similar a la FC una vez cocidas si bien las pérdidas son superiores para la F9; y que en el PCA realizado la F10 está en el grupo de las que presentan peores características texturales y mayores pérdidas de aquellas formuladas con un 20% de sustitución de salvado y con harina de chufa.

En base a los datos de masa inicial de las muestras (m_0 , g) y la masa de agua absorbida en cada tiempo de control (M_t , g), se obtuvieron las curvas de cocción-rehidratación (M_t/m_0 vs. t). La cantidad de agua ganada se calculó a partir de las variaciones de peso y de humedad experimentadas por las muestras en cada tiempo de control.

Para intentar reproducir las curvas de ganancia de agua durante la cocción de las formulaciones de pasta, se empleó el modelo de Peleg (1998). Peleg propuso una ecuación empírica que no deriva de leyes físicas o teorías difusionales para modelizar la absorción de agua de alimentos. Es un modelo empírico que utiliza una relación sencilla para describir las curvas de rehidratación en función de dos constantes k_1 y k_2 (ecuación 5). Se ha observado que la constante k_1 es dependiente de la temperatura, y que dada una temperatura, cuanto menor es k_1 mayor es la velocidad inicial de absorción de agua. Por su parte, la constante k_2 define el contenido en humedad del equilibrio (Hung et al. 1993; Abu-Ghannam y Mckeena, 1997).

$$Y_t = M_t/m_0 = Y_0 + t / (k_1 + k_2 \cdot t) \quad \text{Ec. (5)}$$

donde Y_t (g/g) es la cantidad de agua ganada relativa tras un tiempo t , obtenida como relación entre la variación de peso a cada tiempo (M_t (g)) y la masa inicial de producto (m_0 (g)), k_1 ($t/Y_t - Y_0 =$ masa inicial-s/masa ganada) y k_2 ($1/Y_t =$ masa inicial/masa de agua ganada) son las constantes de Peleg y t es el tiempo de cocción (s). Reordenando la ecuación, obtenemos la forma lineal representada en la ecuación 6:

$$t / (Y_t - Y_0) = k_1 + k_2 \cdot t \quad \text{Ec(6)}$$

El ajuste de los datos experimentales de ganancia de agua relativa (Y_t) de acuerdo a la ecuación 7 del modelo de Peleg, permitió obtener las constantes correspondientes k_1 y k_2 . En la **TABLA 4** aparecen los valores

medios de dichas constantes, junto con los coeficientes de regresión (r^2), el error estándar (SE) y el valor de equilibrio (VE) calculado a partir de la ecuación ($VE = Y_0 + 1/k_2$) (Abu-Ghannam y McKenna, 1997; Hung et al. 1993). Los valores del coeficiente de regresión son en todos los casos mayores de 0,95, lo cual indica la bondad de los ajustes.

El análisis de la varianza realizado evidencia que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en cuanto a la velocidad inicial de absorción de agua entre las diferentes formulaciones, si bien es cierto que la formulación con mayor contenido de harina de chufa (F10, 14% S, 20% CH y 0,25% GX) obtiene valores más bajos (mayor k_1). En lo que respecta al VE, F9 (17% S, 10% CH, 0,25% GX) es la que presenta la mayor capacidad de absorción y la FC la menor mientras que el resto de formulaciones (F4 y F10) presentan valores intermedios.

TABLA 4. Valores medios de las constantes del modelo de Peleg, valor r^2 , SE y VE para las diferentes formulaciones ensayadas.

Formulación	k_1	k_2	r^2	VE (g agua/g materia seca)	SE*
F4	68 (10) a	0,928 (0,012) ab	0,976	7,14 (0,08) ab	0,016
F9	72 (24) a	0,91 (0,07) ab	0,983	7,175 (0,003) a	0,015
F10	82 (21) a	0,85 (0,06) b	0,977	7,11 (0,13) ab	0,013
FC	77 (7) a	1,01 (0,03) a	0,995	6,952 (0,004) b	0,007

$$*SE = \sqrt{(\sum(Y_{exp} - Y_t)^2)}$$

Con la finalidad de visualizar la bondad del ajuste, en la **FIGURA 8** se muestra la comparativa entre los datos obtenidos experimentalmente y los obtenidos de forma teórica.

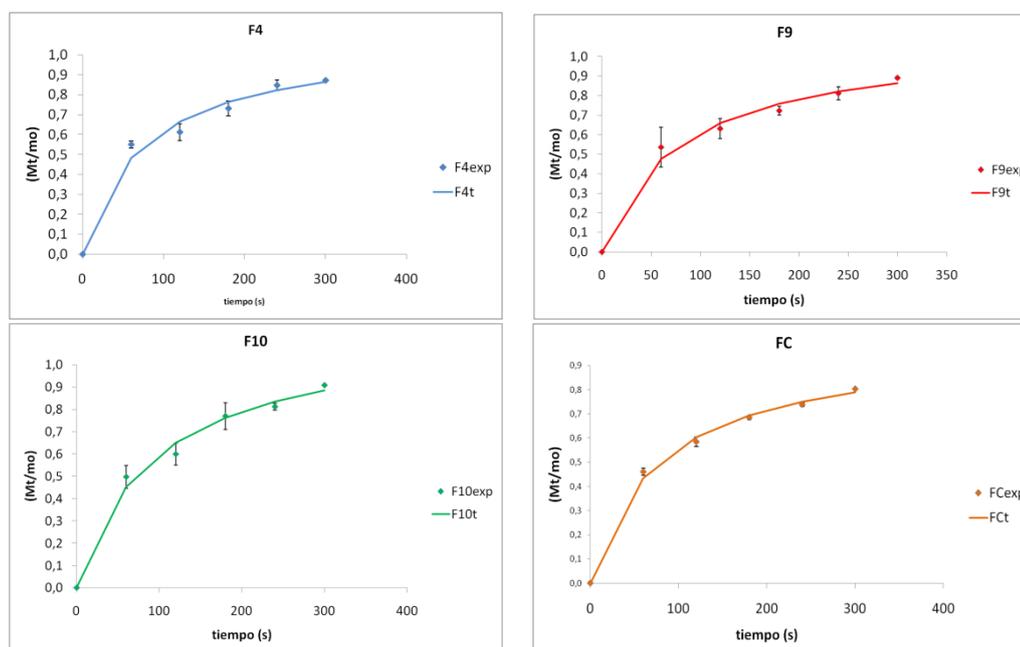
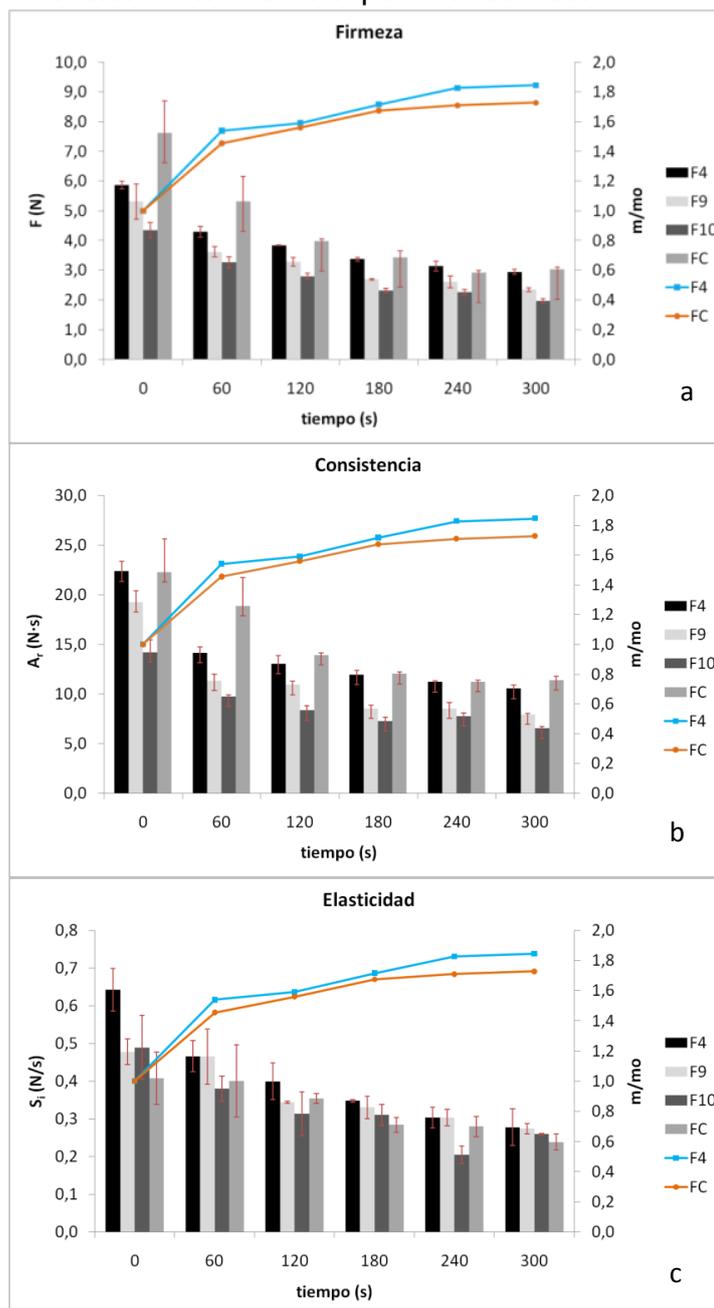


FIGURA 8. Bondad de ajuste del modelo Peleg a las curvas de ganancia de agua relativa durante la cocción de las pastas.

En las **FIGURAS 9a-c** se han representado conjuntamente cada uno de los parámetros mecánicos estudiados y la variación de peso relativa (m/mo) experimentada por las formulaciones evaluadas (en ésta última se ha considerado únicamente una de las enriquecidas en fibra por no existir diferencias significativas entre ellas). Es posible observar, como era de esperar, que la firmeza, consistencia y elasticidad de la pasta va disminuyendo a medida que va transcurriendo la cocción, siendo la formulación F4 y la control (FC) las que presentan similares y superiores características texturales en cada tiempo considerado.



FIGURAS 9a-c. Medias e intervalos LSD (95%) de las propiedades mecánicas evaluadas (firmeza F , consistencia A_r y elasticidad S_i) en las diferentes formulaciones de pasta durante la cocción.

CONCLUSIONES

Se ha comprobado la viabilidad de la sustitución parcial de harina de trigo duro por harina de chufa y salvado de trigo blando para la obtención de pastas frescas “con alto contenido en fibra” y con características tecnofuncionales aceptables. Un mayor contenido en fibra de las pastas formuladas a base de harina de chufa supuso mayores pérdidas de solubles durante la cocción, si bien la presencia de goma xantana (0,5%) redujo significativamente este efecto al evitar que la fibra interfiera completamente en la red almidón-gluten. El cambio de color de amarillo hacia tonalidades pardo-rojizas (parámetro a^*) y pérdida de luminosidad experimentado por las pastas enriquecidas no supone una valoración negativa por parte del consumidor. Las formulaciones con propiedades mecánicas más próximas a la formulación control (antes y después de la cocción) fueron la F4 (20% S, 0,25% GX) y F9 (17% S, 10% CH y 0,25% GX), siendo la primera además la más elástica antes de la cocción. Además, al analizar la cinética de cocción y los cambios texturales, se pudo observar que para las formulaciones estudiadas, la F4 es la que presenta características más similares a la FC a partir de los dos minutos de cocción. El modelo de Peleg describió adecuadamente las curvas de ganancia de agua.

Teniendo en cuenta todos los parámetros estudiados (PCA) y que la textura es una de las características apreciadas por el consumidor habitual de pasta, la formulación que presenta unas características globales más aceptables es la F4, siendo la más parecida a la formulación control, seguida de la F9.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC (2000,2005) Dirección URL: <<http://www.aaccnet.org/>>
- Abu-Ghannam; McKeena B. (1997). The application os Peleg's equation to model water absorption during the soaking of red kidney beans (*Phaesolus vulgaris* L.). *Journal of Food Engineering*, 32:391-401.
- Brennan, C.S.; Tudorica, C.M. (2008). Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. *International Journal of Food Science and Technology* 43, 2151-2162.
- Boletín oficial del estado (BOE). Dirección URL:<<http://www.boe.es/>>. [Consulta: 18 Dic. 2014].
- BOE 17/02/67 y Real Decreto 2484/1967, de 21/09/67. Por el que se aprueba el texto del Código Alimentaría. Español. Indica el etiquetado de los productos alimenticios.
- Borneo, R.; Aguirre, A. (2008). Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. *LWT-Food Science and Technology* 41, 1748-1751.
- Brockmole C.L.; Zabik, M.E. (1976). Durum wheat bran and middlings in white layer cakes. *Journal of Food Science*, 41,357–360.

- Betoret, E.; Betoret, N.; Vidal, D.; Fito, P. (2011). Functional foods development: trends and technologies. *Trends in Food Science and Technology* 22, 498-508.
- Chillo, S.; Civica, V.; Iannetti, M.; Suriano, N.; Mastromatteo, M.; Del Nobile, M. A. (2009). Properties of quinoa and oat spaghetti loaded with carboxymethylcellulose sodium salt and pregelatinized starch as structuring agents. In: *Carbohydrate Polymers*, 78, 932-937.
- EFSA (2006). European Food Safety Authority. URL:<www.efsa.europa.eu>
- FESNAD (2010). Asociación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética. URL: <<http://www.fenad.org/>>
- Foschia, M.; Peressini, D.; Sensidoni, A.; Brennan, C.S. (2013). The effects of dietary fibre on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science* 58: 216-227.
- Gallegos-Infante, J.A.; Rocha-Guzman, N.E.; Gonzalez-Laredo, R.F.; Ochoa-Martínez, L.A.; Corzo, N.; Bello-Perez, L.A.; Medina-Torres, L.; Peralta-Alvarez, L.E. (2010). Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 119, 1544-1549.
- García, P.; Velasco, C. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición hospitalaria*, 22 (Supl. 2): 20-25.
- García, O.M.; Benito, R.; Rivera, C.J. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, Vol. 21 (1): 25-30.
- Granito, M.; Torres, A.; Guerra, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*, 28, 7.
- Howard, B.M.; Yen Con, H.; Kay, M. (2011). Analysis of Ingredient Functionality and Formulation Optimization of Pasta Supplemented with Peanut Flour. *Journal Food Science*. 76, 40-47.
- Hung TV; Liu LH; Black RG; Trewella MA. (1993). Water absorption in chickpea (*C.arietinum*) and field pea (*P.sativum*) cultivars using the Peleg model. *Journal of Food Science*, 58: 848-852
- INTERNATIONAL PASTA ORGANIZATION (IPO) (2011). URL: <www.internationalpasta.org>
- Levine, L. (2001). Extruder screw performance. V. *Cereal Foods World*, 46, 169.
- Martínez Monzó, J.; García Segovia, P. (2001). *Nutrición humana*. Ed. Universitat Politècnica de Valencia. Valencia: 384.
- REGLAMENTO (CE) nº 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea de 20/12/2006. Relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos.
- Romo, C.; Mize, K.; Warfel, K. (2008). Addition of hi-maize, natural dietary fiber, to a commercial cake mix. *Journal of the American Dietetic Association* 108, 76-77.
- Torres, A.; Frias, J.; Granito, M.; Vidal-Valverde, C. (2007). Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chemistry* 101, 202-211.
- Tudorica, C.M., Kuri, V., Brennan, C.S., (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 347-356.