



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA
I DEL MEDI NATURAL

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE FENOGRACO EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES DE FORMULACIONES DE PASTA FRESCA SIN GLUTEN

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

AUTOR: MERCÈ MORENO AZNAR

TUTOR: M^a EUGENIA MARTÍN ESPARZA

CURSO ACADÉMICO: 2018-2019

VALENCIA, julio 2019

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE FENOGRECO EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES DE FORMULACIONES DE PASTA FRESCA SIN GLUTEN

RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado el efecto de la incorporación de harina de fenogreco (2,5, 5, 7,5 y 10% g/g sólidos) para la formulación de pasta fresca a base de harina de garbanzo y de chufa. En concreto, se han evaluado las propiedades reológicas (test oscilatorio y capacitancia de la fluencia), la humedad y la microestructura de las masas obtenidas. Las harinas empleadas fueron caracterizadas en términos de distribución de tamaño de partícula, propiedades funcionales (capacidad de retención de agua y capacidad de absorción de grasa) y microestructura. La incorporación de fenogreco supuso un aumento de la capacidad de retención de agua debido a la presencia de galactomanano, pero no influyó en la capacidad de absorción de grasa. Los resultados referentes a la reología de la masa revelaron un progresivo aumento del módulo de almacenamiento y del módulo de pérdidas, así como una reducción de la capacitancia de la fluencia, con el incremento de fenogreco en las formulaciones. Por tanto, la estructura de las masas se vuelve más resistente a la deformación y con un carácter más semisólido. El análisis de microscopía permitió observar el efecto del galactomanano en el desarrollo de una matriz más densa con los gránulos de almidón embebidos en ella y rodeados por el mucílago de la fibra soluble hidratada. Tras la cocción, las micrografías revelaron una menor gelatinización del almidón a altos porcentajes de fenogreco, probablemente debido a la mayor competencia por el agua entre la fibra soluble y el almidón.

Palabras clave: pasta, celiacía, galactomanano, chufa, garbanzo, reología, microscopía.

Autor: Mercè Moreno Aznar
D^a M^a Eugenia Martín Esparza
Valencia, julio de 2019

EFFECTE DE L'INCORPORACIÓ DE FENIGREC EN LES PROPIETATS REOLÒGIQUES I ESTRUCTURALS DE LA PASTA FRESCA SENSE GLUTEN.

RESUM

En el present treball s'ha estudiat l'efecte de la incorporació de farina de fenigrec (2,5, 5, 7,5 i 10% g/g sòlids) per a la formulació de pasta fresca a base de farina de cigró i de xufa. En concret, s'han evaluat les propietats reològiques (test oscil·latori i capacitancia de la fluència), la humitat i la microestructura de les masses obtingudes. Les farines utilitzades van ser caracteritzades en termes de distribució de grandària de partícula, propietats funcionals (capacitat de retenció d'aigua i capacitat d'absorció de grassa) i microestructura. La incorporació de fenigrec va suposar un augment de la capacitat de retenció d'aigua a causa de la presència de galactomanà, però no va influir en la capacitat d'absorció de grassa. Els resultats referents a la reologia de la massa van revelar un progressiu augment del mòdul d'emmagatzematge i del mòdul de pèrdues, així com una reducció de la capacitancia de la fluència, amb l'increment de fenigrec en les formulacions. Per tant, l'estructura de les masses es torna més resistent a la deformació i amb un caràcter més semisòlid. L'anàlisi de microscòpia va permetre observar l'efecte del galactomanà en el desenvolupament d'una matriu més densa amb els grànuls de midó embeguts en ella i envoltats pel mucíl·lag de la fibra soluble hidratada. Després de la cocció, les micrografies van revelar una menor gelatinització del midó a alts percentatges de fenigrec, probablement degut la major competència per l'aigua entre la fibra soluble i el midó.

Paraules clau: pasta, celiaquia, galactomanà, xufa, cigró, reologia, microscopia.

Autor: Mercè Moreno Aznar

D^a M^a Eugenia Martín Esparza

València, juliol de 2019

THE EFFECT OF FENUGREEK INCORPORATION IN THE RHEOLOGICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF GLUTEN FREE FRESH PASTA FORMULATIONS

ABSTRACT

In this study, it was assessed the effect of incorporating fenugreek (2,5, 5, 7,5 and 10% g/g solids) for the formulation of fresh pasta based on chickpea flour and tiger nut flour. Concretely, it have been evaluated the rheological properties (oscillatory test and creep test), water content and microstructure of the obtained doughs. Flours were characterized in terms of particle size distribution, functional properties (water holding capacity and fat absorption capacity) and microstructure. The incorporation of fenugreek resulted in an increase of the water holding capacity due to the presence of galactomannan, but fat absorption capacity was not influenced. Concerning dough rheology, results revealed a progressive increase of the storage modulus and the loss modulus, as well as a reduction of the instant capacitance, due to the increase of fenugreek in the formulations. Therefore, dough structure becomes more resistant to deformation and with a more semi-solid character. The microscopy analysis allowed observing the effect of the galactomannan presence in the development of a denser matrix with the starch granules embedded in it and surrounded by the mucilage of the hydrated soluble fiber. After cooking, the micrographs revealed a lower gelatinization of the starch at high percentages of fenugreek, probably due to the higher competition for water between the soluble fiber and the starch.

Key words: pasta, celiac disease, galactomannan, tiger nut, chickpea, rheology, microscopy.

Author: Mercè Moreno Aznar

M^a Eugenia Martín Esparza

Valencia, July 2019

ÍNDICE TEMÁTICO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Definición de pasta alimenticia	1
1.2. Origen de la pasta alimenticia	1
1.3. Clasificación de las pastas alimenticias	1
1.4. Composición y valor nutricional	2
1.5. Características de las pastas	3
1.6. Justificación del trabajo	3
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1. Materiales	5
3.2. Preparación de la pasta y diseño experimental	6
3.2.1. COCCIÓN DE LA PASTA	6
3.3. Caracterización de las harinas	6
3.3.1. DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA	7
3.3.2. PROPIEDADES FUNCIONALES	7
3.3.3. MICROESTRUCTURA	7
3.4. Caracterización de la masa	7
3.4.1. HUMEDAD	7
3.4.2. PROPIEDADES REOLÓGICAS DINÁMICAS: TEST OSCILATORIO Y ENSAYO DE CAPACITANCIA DE LA FLUENCIA	7
3.4.3. MICROESTRUCTURA	8
3.4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1. Caracterización de las materias primas sólidas	9
4.1.1. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA	9
4.1.2. PROPIEDADES FUNCIONALES	10
4.1.3. MICROESTRUCTURA	11
4.2. Caracterización de la masa	11
4.2.1. PROPIEDADES REOLÓGICAS DINÁMICAS	11
4.2.1.1. TEST OSCILATORIO	11
4.2.1.2. ENSAYO DE CAPACITANCIA DE LA FLUENCIA	13
4.2.2. MICROESTRUCTURA	14

5. CONCLUSIONES.....	17
6. BIBLIOGRAFÍA.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

TABLA 1	Diseño experimental con las diferentes formulaciones (% peso sólidos).	6
TABLA 2	Valores medios (y desviación estándar) del tamaño medio de partícula ($D[4,3]$), de tamaño máximo de partículas para el 10%, el 50% ó el 90% de la muestra ($d(0,1)$, $d(0,5)$ ó $d(0,9)$), y del número span para la harina de garbanzo (CPF), harina de chufa (TNF) y harina de fenogreco (FF).	10
TABLA 3	Propiedades funcionales de las harinas de garbanzo, chufa, fenogreco y sus respectivas mezclas de las cinco formulaciones.	11
TABLA 4	Valores medios (desviaciones estándar) de humedad y de los parámetros reológicos obtenidos para las diferentes formulaciones de pasta fresca.	12
TABLA 5	Valores medios (desviación estándar) de los parámetros de la ecuación de potencia ajustada para las diferentes formulaciones de pasta fresca obtenidas.	12
TABLA 6	Parámetros del modelo de Burgers para los datos del ensayo de Creep.	13

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

FIGURA 1	Distribución del tamaño de partícula de las harinas empleadas.	9
FIGURA 2	FESEM para las materias primas CPF, TNF y FF con aumento 200 x.	11
FIGURA 3	Curvas de fluencia para las diferentes formulaciones estudiadas. Curva roja (OFF), curva verde (2,5FF), curva azul (5FF).	13
FIGURA 4	FESEM para las formulaciones antes de la cocción a diferentes aumentos, vista superficial y vista en el corte transversal, con aumento de 300x y 500x.	15
FIGURA 5	FESEM para las formulaciones cocidas a diferentes aumentos, vista superficial y vista en el corte transversal, con aumento de 100x y 300x.	16

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición de pasta alimenticia

Las pastas alimenticias se definen como productos frescos o secos obtenidos de una masa no fermentada elaborada con sémolas o harinas procedentes de trigo duro, trigo semiduro, trigo blando o sus mezclas y agua potable. Esta es la definición que marca la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de pastas alimenticias (Real Decreto 2181/1975 del 12/09/1975 y B.O.E 13/09/1975). Esta Reglamentación Técnico-Sanitaria está posteriormente modificada por los siguientes documentos: Real Decreto 1771/1976 del 02/07/1975 (B.O.E. 28/07/1976); Real Decreto 2811/1983 del 13/10/1983 (B.O.E. 11/11/1983); Real Decreto 1093/87 del 19/06/1987 (B.O.E. 08/09/1987) y Real Decreto 1534/1991 del 18/10/1991 (B.O.E. 30/10/1991).

1.2. Origen de la pasta alimenticia

El origen de la pasta es incierto. Pese a ser un alimento asociado a Italia, el origen data del año 3.000 a.C, con registros de elaboración de tallarines en China. También en los mitos de la antigua Grecia aparece que el Dios griego Vulcano inventó un ingenio para preparar tiras o hilos de pasta que serían similares a los tallarines (Dendy y Dobraszczyk, 2004; Callejo, 2002). Por otro lado, existen numerosas citas de textos antiguos referidas a Marco Polo como el introductor de la pasta en Europa después de sus distintos viajes al lejano Este durante el siglo XIII. Es posible que Marco Polo consumiera pasta en sus largos viajes, pero cuando Marco Polo era un niño, ya existían relaciones comerciales entre China, Persia, Grecia y Roma, por lo que las hipótesis de que Marco Polo fuera el que introdujo la pasta en Italia podrían ser inciertas, ya que anteriormente se podría haber introducido la pasta en Italia gracias a las relaciones comerciales (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

1.3. Clasificación de las pastas alimenticias

La siguiente clasificación está detallada en el Real Decreto 1771/1976 del 02/07/1975 y publicado en el B.O.E. del 13/09/1975, donde podemos distinguir cuatro clasificaciones:

- Simples: son las que únicamente parten de sémolas, semolinas o harinas de trigo duro, semiduro blando o mezclas entre éstos. En caso de elaborarse exclusivamente con sémola o semolina de trigo duro (*Triticum durum*) podrán calificarse como de calidad superior.
- Compuestas: son aquellas que tienen alguno o varios de los siguientes ingredientes alimenticios: gluten, soja, huevos, leche, hortalizas, verduras y leguminosas. Además, se podrán incorporar otras sustancias alimenticias autorizadas por la Dirección General de Sanidad.
- Rellenas: son aquellas que contienen en su interior un preparado que esté elaborado con todas o algunas de las siguientes sustancias: carne de animales, grasas animales y vegetales, productos de la pesca, pan rallado, verdura, hortalizas, huevos, agentes aromáticos

autorizados u otras sustancias autorizadas por la Dirección General de Sanidad. Podrán estar elaborados a partir de pastas simples o compuestas, y en diversas formas.

- Frescas: hace referencia a cualquiera de las pastas elaboradas de acuerdo con lo establecido en las clasificaciones anteriores, pero que en este caso no hayan sufrido procesos de desecación.

Además en el Real Decreto 1771/1976 (B.O.E. 13/09/1975), también están clasificadas por la forma y tamaño que pueden presentar las diferentes pastas:

- Roscadas: son aquellas extrusionadas por hileras o laminación. Se denominará tallarines o cintas a aquellas que tengan las tiras rectangulares, y fideos a aquellas que las tengan circulares.
- Largas: son aquellas obtenidas por extrusión y secadas en tiras rectas y sueltas con un mínimo de 20 mm de longitud. Denominaremos macarrones a aquellas que presenten sección anular, espaguetis a las de sección circular y tallarines o cintas a las de sección rectangular.
- Cortadas: son aquellas extrusionadas a través de un molde y cortadas en distintos formatos, de longitud inferior a 100 mm.
- Laminadas: son las que han sido obtenidas por laminado y troquelado posterior con distintas formas y dibujos.

Otra clasificación de las pastas es por los ingredientes que la conforman como pasta de sémola, pasta al huevo, pasta especial (enriquecida con tomates, espinaca u otros vegetales, etc.), pasta rellena (rellena con carne, pescado, vegetales, etc.), pasta dietética (enriquecida con minerales, vitaminas, etc.) o pasta libre de gluten (de maíz, arroz, pseudocereales, etc.).

Según el procesamiento, se los denomina como pasta extruida o laminada; según la forma se denomina larga o corta (Pagani et al., 2007).

1.4. Composición y valor nutricional

Están compuestas mayoritariamente por hidratos de carbono, y en menores proporciones, grasas y minerales, siendo estos últimos: hierro, calcio, fósforo, magnesio, cinc, cobre, manganeso, potasio y sodio. Los hidratos de carbono se encuentran mayoritariamente en forma compleja. El trigo tiene unas proteínas capaces de interactuar entre ellas y con lípidos, para formar complejos de lipoproteínas viscoelásticas, el gluten. Sin embargo, la pasta carece de lisina, un aminoácido esencial (Dendy y Dobraszcyk, 2001).

El huevo proporciona un valor nutricional añadido. También le aporta un color amarillento, y una textura más fuerte (Hager et al., 2013). El huevo puede ser añadido de diversas formas: sólido, deshidratado o líquido, siendo éste último la forma más utilizada, tanto en fresco como pasteurizado. Respecto al agua, debe ser potable, libre de contaminantes químicos y microbiológicos. En cuanto a su composición mineral, se aconseja que no sea de mineralización alta, no haciendo falta que sea desionizada. La función del agua será la de contribuir a la manejabilidad de la masa y su posterior laminación.

1.5. Características de las pastas

El Real Decreto 1534/1991 de 18/10/91 (BOE 30/10/91) citado anteriormente recoge las características que han de tener las diferentes pastas mencionadas. Las pastas alimenticias simples tendrán una humedad máxima de 12,5%, un máximo de 1,1 de cenizas, una acidez de 5 y un rango de 5,7 a 9 de proteínas, todo referido a sustancia seca. Para pastas alimenticias compuestas hay que tener cuenta su componente añadido: gluten, tomate, espinacas, etc. Si son enriquecidas al huevo, mínimo deben contener tres huevos de gallina con un peso total de 150 g de huevo sin cáscara por kg de sémola o 65 g de yemas, exclusivamente. Además, cuando sean elaboradas con pastas alimenticias de calidad superior, habrá de tenerse en cuenta el mínimo de proteína establecido en éstas. Para pastas rellenas, el relleno deberá ser entre el 20 y el 40% del peso total. La acidez será como máximo de 6. Para conservar el relleno, se permitirá el uso de aditivos autorizados por la Dirección General de Sanidad. Para pastas alimenticias frescas, deben tener una humedad máxima del 30%, un índice de grasa igual o menor a 6 para pastas simples y compuestas y 7 para rellenas. Respecto a las cenizas, se aplicarán las mismas condiciones para las pastas secas.

1.6. Justificación del trabajo

Actualmente, la enfermedad celíaca es un trastorno autoinmune común inducido por la ingestión de gluten en individuos genéticamente susceptibles (Meijer-Boekel et al., 2018), y se estima que el 1% de la población total a nivel mundial presenta esta enfermedad (Lamacchia et al., 2014). La incidencia de la celiaquía se ha quintuplicado en los últimos 25 años, siendo Europa y EE.UU. las regiones con mayor prevalencia, donde la alimentación tradicional está basada en alimentos con gluten (Catassi et al., 2014). España está situada como el tercer país del mundo en el ranking de lanzamientos de productos sin gluten, sólo por detrás de Brasil y Estados Unidos. El crecimiento del lanzamiento de estos productos se ha quintuplicado, de 280 productos en 2009 a 1500 en 2013 (AECOC, 2016).

Consecuentemente, son cada vez más las investigaciones sobre sustitutos del gluten que logren imitar sus propiedades (Yalcin y Basman, 2008a). La gran mayoría de estos sustitutos están hechos a base de maíz o arroz (Hager et al., 2012) y muchos presentan propiedades nutricionales inferiores (Lee et al., 2009; Miranda et al., 2014; O' Shea et al., 2014). A esto se le suma el alto precio de los productos sin gluten. Por tanto, es necesario buscar nuevas formulaciones libres de gluten y que a la vez ofrezcan unas buenas propiedades funcionales y nutricionales.

Uno de los productos más demandados por los celíacos es la pasta (Marti y Pagani, 2013). La pasta es un producto muy consumido, por su fácil distribución almacenamiento y bajo coste. Debido a su gran difusión, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Food and Drug Administration (FDA) lo consideran un buen vehículo para la adición de nutrientes, pudiendo así ayudar a mejorar la salud de los consumidores (Foschia et al., 2013). Para mejorar sus propiedades nutricionales, se ha tratado de suplementar la pasta con fibra, proteínas,

vitaminas y minerales, o bien sustituyendo la sémola de trigo duro por harinas no convencionales como las de guisantes (Torres et al., 2007), frijoles (Gallegos- Infante et al., 2010), cacahuets (Howard et al., 2011), amaranto (Borneo y Aguirre, 2008) o quinoa y avena (Chillo et al., 2009). Sin embargo, la sustitución de esta sémola supone un reto tecnológico, ya que el gluten contribuye al desarrollo de la masa y previene la disgregación de la pasta durante la cocción en agua caliente (Feillet, 1984), es decir, proporciona unas propiedades estructurales difíciles de sustituir que consiguen mantener la calidad de la pasta durante su manipulación (Granito, 2003).

Otra enfermedad con tendencia creciente es la diabetes, producida cuando el organismo no produce insulina o no la utiliza adecuadamente, provocando altas concentraciones de glucosa en sangre. En la actualidad no para de aumentar el número de personas con diabetes, enfermedad que afectaba a más de 422 millones de adultos en todo el mundo en 2014, cuatro veces más que en 1980 según la OMS (Organización Mundial de la Salud). Esta enfermedad tiene alta relación con la ingesta de alimentos con alto contenido en carbohidratos, concretamente los que presentan un alto índice glicémico (Giuberti et al., 2015). El consumo de alimentos con bajo índice glicémico puede ayudar a alcanzar un control más estricto del nivel de azúcar en sangre. Son, por ejemplo, las legumbres, el pan de centeno y el arroz hervido (Lalegani et al., 2018). Aquí la pasta juega un papel muy importante, pues al componerse de hidratos de carbono de lenta asimilación, principalmente almidón, aporta unos niveles estables de glucosa en sangre (lo cual es importante para aquellas personas con deficiencia de insulina), una disminución de los niveles de colesterol en sangre y una estabilización del funcionamiento normal de la tiroides (Martínez y García, 2001).

Basándonos en que las legumbres tienen una respuesta glicémica baja, y con un interés especial en enriquecimiento en la fibra dietética, en el presente trabajo se ha estudiado el uso de la harina de garbanzo, de chufa y de fenogreco para la formulación de pastas alimenticias frescas. El garbanzo, además de por ser una leguminosa con alto contenido proteico, esa una buena fuente de carbohidratos, polisacáridos y oligosacáridos (Martín-Esparza et al., 2018). Otra leguminosa de gran interés tecnológico es el fenogreco (*Trigonella foenumgraecum*), originaria del Norte de África y actualmente cultivada en India, China, Pakistán, Egipto y los países Mediterráneos (Jiang et al., 2007). Su uso está indicado para el tratamiento de cáncer, las úlceras bucales, la hipercolesterolemia y la hipertensión entre otros (Gupta et al., 2010). Tiene acción hipoglucemiante (Wani y Kumar, 2018) y propiedades antioxidantes. El fenogreco contiene un 45-60% de carbohidratos, la mayoría de los cuales es fibra. Además presenta un alto contenido en fibra insoluble (20-25%) y fibra soluble (20%) (Shirani y Ganesharane, 2009). El alto contenido en fibra es de especial interés ya que ayuda a la prevención de enfermedades como el estreñimiento, la diarrea, la colitis ulcerosa, la diverticulosis (enfermedad común de países occidentales por la baja ingesta de fibra), el cáncer colorrectal, así como enfermedades cardiovasculares (por la intervención de la fibra en la reducción de los lípidos) (Burkitt y Trowell, 1974). También es beneficiosa para los diabéticos, ya que ésta reduce los niveles de glucemia en pacientes con diabetes tipo 1 y 2, con una ingesta diaria de 20-35 g/día, según la Asociación Americana de Diabetes (ADA, 2011). En concreto, es de especial interés el galactomanano, fibra soluble del fenogreco, que aporta efectos beneficiosos para la salud retrasando la captación de glucosa en sangre y disminuyendo el pico glicémico, y eliminando colesterol (Calvo et al., 1991). De igual forma, la harina de fenogreco posee un

contenido en aminoácidos esenciales significativamente mayor que algunas harinas de otras leguminosas como la soja; es especialmente rica en lisina, por lo que es un ingrediente prometedor para la formulación de nuevos productos con un buen perfil proteico (Feyzi et al., 2015). Por otro lado, es de especial interés la chufa (*Cyperus esculentus*), un tubérculo rico en carbohidratos, fibra (especialmente insoluble), minerales, vitamina E y C, arginina y ácidos grasos insaturados con un perfil similar al aceite de oliva (rico en oleico), lo que podría suponer una mejora sustancial del perfil nutricional y funcional (Albors et al., 2016). Así pues, con la formulación de pastas a base de harina de chufa y fenogreco, se podría aunar los beneficiosos de la fibra soluble y la insoluble. Cabe mencionar que la reducción en la respuesta glicémica con la adición de fenogreco en pasta fresca basada en harina de garbanzo y de chufa ha quedado comprobado en un trabajo previo (LLavata et al, 2019).

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la incorporación de harina de fenogreco en las propiedades reológicas y estructurales de pasta fresca a base de harina de chufa y harina de garbanzo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterización de las materias primas sólidas empleadas (harinas) en términos de: distribución de tamaño de partícula, propiedades funcionales de interés y microestructura. Esta información es útil para evaluar los resultados en las masas de pasta fresca obtenidas.
- 2) Análisis de las propiedades reológicas de las masas de pasta fresca obtenidas mediante un ensayo de test oscilatorio y un test de creep.
- 3) Observación de la microestructura de la pasta fresca, antes y después de la cocción, y relacionarla con los resultados obtenidos en la caracterización reológica.
- 4) Evaluación de los cambios en la temperatura de gelatinización del almidón (*a pesar de realizar los análisis pertinentes mediante la técnica de calorimetría diferencia del barrido, los resultados no han sido los esperados, por lo que no se han incluido en el trabajo).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Las formulaciones realizadas se llevaron a cabo con los siguientes ingredientes: harina de garbanzo (CPF, por sus siglas en inglés *chickpea flour*), harina de chufa (TNF, por sus siglas en

inglés *tiger nut flour*), harina de fenogreco (FF, por sus siglas en inglés *fenugreek flour*), agua potable (W) y huevo (E).

La harina de garbanzo fue obtenida del proveedor Rincón del Segura, S.L., (Albacete, España); la harina de chufa de la empresa Tigernuts Traders S.L., (Valencia, España); y la harina de fenogreco de Especies Pedroza, (Málaga, España). Respecto al huevo y el agua, ambas materias fueron obtenidas en un supermercado local.

3.2. Preparación de la pasta y diseño experimental

La pasta fresca fue preparada mezclando las materias primas en una proporción constante de harinas (76% p/p), huevo (11% p/p) y agua (13% p/p). Las masas de pasta fueron elaboradas con un procesador de alimentos (Thermomix TM-31, VorwerkSpain M.S.L., S.C., Madrid, España). Los ingredientes fueron pesados con una balanza modelo PFB 300-3 (Kem & Sohn GmbH, Balingen, Alemania), con una precisión de 0,001 g. Se pesaron y mezclaron el huevo y el agua a una velocidad baja (2), durante 15 segundos. A continuación se añadieron las harinas previamente mezcladas a una velocidad de 4, durante 45 segundos. Se amasó la mezcla con la función espiga durante 10 minutos, se dejó reposar otros 10 minutos y se volvió a amasar nuevamente durante 10 minutos más. La masa formada fue boleada manualmente y se dejó reposar durante 20 minutos en la nevera a 4 °C. A continuación, la masa fue laminada (modelo A 2500, acoplado a un motor eléctrico (A2500), Imperia Italia) a velocidad constante, obteniendo láminas de 1 mm de espesor. Finalmente, la pasta elaborada fue refrigerada a 4 °C hasta el día siguiente para la realización del análisis.

Las cantidades de FF a incorporar fueron elegidas según un estudio previo (LLavata et al, 2019). Se prepararon cinco formulaciones diferentes variando los porcentajes de FF y TNF (Tabla 1)

TABLA 1. Diseño experimental con las diferentes formulaciones (% peso sólidos).

NOMENCLATURA	% CPF	% TNF	% FF
0FF	50	50	0
2,5FF	50	47,5	2,5
5FF	50	45	5
7,5FF	50	42,5	7,5
10FF	50	40	10

3.2.1. COCCIÓN DE LA PASTA

Las pastas frescas fueron cocidas en agua desionizada a 98 °C en una proporción 25 g/300 mL. Para reducir las pérdidas de agua por evaporación se mantuvo el recipiente cubierto con papel de aluminio. Las láminas de pasta se echaron en el agua cuando ésta alcanzó el punto de ebullición y se dejaron cociendo durante 3 minutos. Una vez transcurrido el tiempo de cocción, se procedió al enfriamiento de la pasta empleando 50 mL de agua desionizada fría, para así interrumpir el proceso de cocción. La pasta era finalmente escurrida durante 2 min.

3.3. Caracterización de las harinas

3.3.1. DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula de las materias primas sólidas y de sus mezclas se determinó con un difractómetro láser Mastersizer® 2000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Reino Unido), donde se consideró un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. Se empleó entre 10 y 20 g de muestra para cada medida, y aire como medio dispersante (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. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n nd_i^4}{\sum_{i=1}^n nd_i^3} \text{ (ec.1)}$$

3.3.2. 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) fue determinada utilizando los métodos modificados de Heywood et al., 2002 y Lin y Zayas (1987), adaptados al experimento, con 1 g muestra y 19 ml agua destilada para un tubo de centrifuga de 30 ml. La capacidad de absorción de grasa (FAC) fue determinada según el método de Ahn et al., 2005. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

3.3.3. MICROESTRUCTURA

Para determinar la microestructura de las diferentes formulaciones de pasta, se empleó un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) (ULTRA 55, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany).

3.4. Caracterización de la masa

3.4.1. HUMEDAD

La determinación de la humedad se basó en el método gravimétrico AACC 44-40 (AACC, 2000). Este método se basa en la pérdida de agua que experimenta la masa en estufa a 103 °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). Todas las medidas se realizaron por triplicado.

3.4.2. PROPIEDADES REOLÓGICAS DINÁMICAS: TEST OSCILATORIO Y ENSAYO DE CAPACITANCIA DE LA FLUENCIA

Las propiedades viscoelásticas de las pastas de las cinco formulaciones fueron analizadas a 20°C utilizando un reómetro rotacional (RS1-Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania) conectado a un ordenador con el software RheoWin 3, con una geometría de platos paralelos estriados de

60 mm de diámetro y un espacio intermedio de 1 mm. La preparación del ensayo fue la siguiente: se cortó la muestra con un sacabocados de 60 mm y se determinó el punto cero y a continuación se puso la muestra sobre el plato para alcanzar la posición de medición. Antes de empezar con las medidas, se cubrió con aceite los bordes de la muestra para evitar la deshidratación durante el ensayo. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

En primer lugar se determinó τ (esfuerzo en pascales, valor límite) mediante un barrido de deformación, sometiendo la muestra a un esfuerzo cortante para producir rozamiento. A continuación, asumiendo el esfuerzo obtenido como valor límite, se realizó un barrido de frecuencia, obteniéndose así las componentes viscoelásticas de la masa en función de la frecuencia angular (ω , rad/s): módulo de almacenamiento (G' , Pa), módulo de pérdida (G'' , Pa) y ángulo de fase ($\tan \delta$). Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Los datos experimentales fueron ajustados con ecuaciones potenciales (ecuaciones 2 y 3) (Georgopoulos et al., 2004, Sivaramakrishnan et al., 2004 and Steffe, 1996). Los exponentes a y b permiten cuantificar el grado de dependencia de los módulos G' y G'' con la frecuencia oscilatoria, ω .

$$G'(\omega) = K' \cdot \omega^a \quad (\text{ec.2})$$

$$G''(\omega) = K'' \cdot \omega^b \quad (\text{ec.3})$$

En segundo lugar se midió la capacitancia de la fluencia mediante el ensayo de creep, aplicando un esfuerzo cortante (de cizalla) constante dentro de la región viscoelástica lineal (LVR) durante 300 s. Los datos obtenidos en el ensayo de creep fueron ajustados al modelo matemático de Burgers con 4 parámetros (Burgers, 1935) (ecuación 4):

$$J(t) = J_0 + J_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_1}}\right) + \frac{t}{\mu_0} + J_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_2}}\right) + \frac{t}{\mu_0} + J_3 \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_3}}\right) + \frac{t}{\mu_0} \quad (\text{ec.4})$$

$J(t)$ es la capacitancia o cociente entre la deformación experimentada por la muestra durante el tiempo del ensayo y el esfuerzo cortante constante, J_0 es la capacitancia instantánea, J_1 , J_2 y J_3 son la capacitancia de retraso (la suma de J_0 , J_1 , J_2 , J_3 es la capacitancia en estado estacionario), λ_1 , λ_2 y λ_3 son los tiempos de la respuesta elástica retardada y μ_0 proporciona información sobre la viscosidad en régimen estacionario (Van Bockstaele et al., 2011).

3.4.3. MICROESTRUCTURA

La microestructura de las formulaciones de pasta OFF, 5FF y 10FF (antes y después de la cocción) fue observada empleando un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) (ULTRA 55, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany). Las muestras fueron previamente liofilizadas (modelo Lyoquest-55, 2018), para luego ser fijadas sobre soportes de cobre con revestimiento de platino. El voltaje de aceleración empleado fue de 2Kv.

3.4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para el análisis de los resultados obtenidos, 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).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de las materias primas sólidas

4.1.1. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

La distribución del tamaño de partícula de las materias sólidas empleadas (CPF, TNF y FF) 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. La Figura 1 muestra la distribución del tamaño de partícula de las harinas empleadas y en la Tabla 2 se han incluido los valores característicos: diámetro medio del volumen equivalente ($D[4,3]$, percentiles estándar y valores Span). Se puede observar que todas las harinas presentan una distribución bimodal de tamaños de partícula, si bien las leguminosas (FF y CPF) tienen un segundo modo mucho más amplio que el primero, siendo la FF la que presentó una significativa superior homogeneidad (lo cual queda reflejado en el menor valor del Span). 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 FF. Cuando la distribución de tamaños de partícula se expresa en términos de volumen, la presencia de partículas de mayor tamaño (o volumen) afectan enormemente a la distribución global. En este sentido, la relación fibra insoluble (FI): fibra soluble (FS) puede jugar un papel importante, y probablemente el ratio cercano a 1:1 de la harina de fenogreco frente a una relación 4:1 de las otras dos harinas (según datos obtenidos por Llavata et al. (2019)), podría justificar la menor dispersión en la distribución obtenida para la FF.

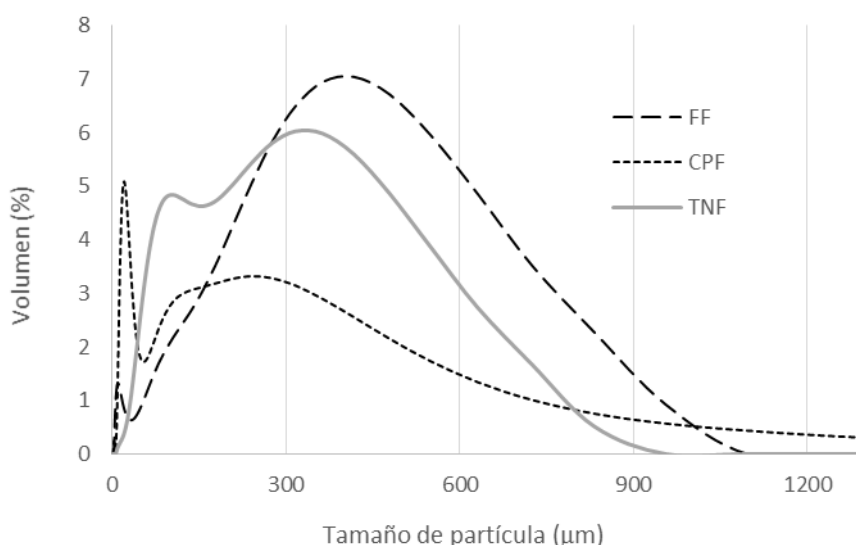


FIGURA 1. Distribución del tamaño de partícula de las harinas empleadas.

TABLA 2. Valores medios (y desviación estándar) del tamaño medio de partícula (D[4,3]), de tamaño máximo de partículas para el 10%, el 50% ó el 90% de la muestra (d (0,1), d(0,5) o d(0,9)), y del número span para la harina de garbanzo (CPF), harina de chufa (TNF) y harina de fenogreco (FF).

Muestra	D[4, 3] (μm)	d _(0.1) (μm)	d _(0.5) (μm)	d _(0.9) (μm)	Span
CPF	136 (14) ^c	11,8 (0,3) ^b	51 (10) ^c	370 (5) ^c	7,1 (0,9) ^c
TNF	203 (4) ^b	50 (1) ^a	162 (4) ^b	419 (4) ^b	2,28 (0,06) ^a
FF	281 (2) ^a	10,4 (1,2) ^b	257 (2) ^a	592 (5) ^a	2,264 (0,009) ^b

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras, con un intervalo de confianza del 95 %.

4.1.2. PROPIEDADES FUNCIONALES

La Tabla 3 contiene los resultados obtenidos tras analizar las propiedades funcionales tanto de las tres harinas (chufa, garbanzo y fenogreco), como de las mezclas de harinas correspondientes a las cinco formulaciones. La capacidad de retención de agua informa sobre la habilidad de las proteínas para absorber y retener agua ligada hidrodinámica, capilar y físicamente atrapada contra la gravedad.

Los resultados correspondientes a las harinas (CPF, TNF y FF) muestran una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la capacidad de retención de agua, siendo mayor para la harina de fenogreco debido a su alto contenido en fibra soluble (25(2) %, según Llavata et al. (2019), especialmente galactomanano, que gracias al gran número de grupos hidroxilo y proteínas residuales (Naqvi et al., 2011), retiene el agua, aumentando la viscosidad del medio. De hecho este hidrocoloide puede actuar como estabilizante y tiene un efecto antisinéresis (Farhat et al., 2017), al ser capaz de formar geles viscosos incluso estando relativamente diluidos. Por su parte la harina de chufa tiene un valor capacidad de retención de agua intermedio debido a que posee un alto contenido en fibra insoluble (16,6(0,8)%, Llavata et al., (2019)) con una elevada proporción de hemicelulosa y lignina (Sánchez-Zapata et al., 2009). Por su parte, el garbanzo también presenta un alto contenido en fibra insoluble (con un ratio FI:FS =4:1 sólo algo por debajo al de la TNF (4,7:1) (Llavata et al., 2019)), lo que podría justificar que los valores de WHC de ambos tipos de harina sean significativamente ($p \geq 0,05$) similares. No parece que el menor tamaño medio de partícula de la TNF y de la CP haya supuesto en este caso la existencia de una mayor área superficial disponible para la absorción de agua (en contraposición a lo observado por Albors et al., 2016 en muestras de pasta a base de harina de chufa y sémola de trigo duro). Por su parte, los resultados no muestran diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre las mezclas de las diferentes formulaciones analizadas, siendo los valores significativamente similares a los obtenidos para la harina de garbanzo y la de chufa. Esto es debido a que los componentes mayoritarios de las formulaciones son, precisamente, estas dos harinas (cantidad fija de un 50% para la de garbanzo y 40-47,5% para la de chufa, dependiendo de la formulación).

La capacidad de absorción de grasa se atribuye a la habilidad que tienen las proteínas para ligar lípidos. La harina de chufa es la que claramente muestra un valor significativamente superior al de las harinas de fenogreco y garbanzo, ya que contiene una proporción de grasas muy superior al resto de harinas (21% frente a 4-5% de las leguminosas, datos de Llavata et al.,

2019). Los resultados no muestran cambios significativos entre las diferentes mezclas de las formulaciones analizadas, siendo los valores intermedios entre las dos harinas mayoritarias (CPF y TNF).

TABLA 3. Propiedades funcionales de las harinas de garbanzo, chufa, fenogreco y sus respectivas mezclas de las cinco formulaciones.

Muestra	WHC (g agua/g harina)	FAC (g aceite/g harina)
CPF	1,68 (0,04) ^b	0,83 (0,02) ^c
TNF	2,1 (0,2) ^b	1,7 (0,1) ^a
FF	5,3 (0,4) ^a	0,772 (0,113) ^c
OFF	1,7 (0,6) ^b	1,01 (0,12) ^b
2,5FF	1,6 (0,5) ^b	1,03 (0,09) ^b
5FF	1,6 (0,4) ^b	1,033 (0,015) ^b
7,5FF	1,6 (0,4) ^b	1,01 (0,09) ^b
10FF	1,6 (0,4) ^b	1,03 (0,15) ^b

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras, con un intervalo de confianza del 95 %.

4.1.3. MICROESTRUCTURA

En la figura 2a se observa que los gránulos de harina de garbanzo son de tamaño heterogéneo, tal y como se describen en el artículo de Ma et al. (2011), con un diámetro aproximado de 25 μm para los gránulos más grandes, y en torno 12 μm para los más pequeños. En la segunda imagen (figura 2b) se pueden observar los gránulos de almidón de la harina de chufa con morfología ovalada y con un diámetro menor que la de garbanzo, de aproximadamente 10,6 μm (Abo-El-Fetoh et al., 2010). Por su parte, la harina de fenogreco presenta una morfología diferente, con gránulos de almidón con un diámetro cercano a 6 μm . En todos los casos, los gránulos de almidón se caracterizan por contener cubiertas lisas donde se encuentran adheridos las proteínas o fragmentos de proteína que han sido destruidas durante la molienda.

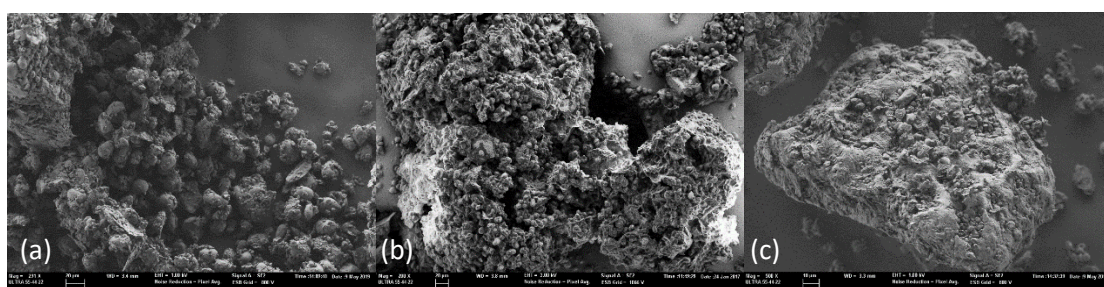


Figura 2. FESEM para las materias primas CPF, TNF y FF con aumento de 200 x.

4.2. Caracterización de la masa

4.2.1. PROPIEDADES REOLÓGICAS DINÁMICAS

4.2.1.1. TEST OSCILATORIO

La Tabla 4 resume los resultados obtenidos en el ensayo del test oscilatorio. Se puede observar que los valores del módulo de almacenamiento (G') son muy superiores para todas las formulaciones que los del módulo de pérdida (G''). Esto confirma el carácter más elástico y

menos viscoso de las masas estudiadas (mayor carácter sólido). Este comportamiento elástico tipo gel es característico de un material altamente estructurado, donde el módulo de almacenamiento es siempre mayor que el módulo de pérdidas en todo el rango de frecuencia estudiado (Larrosa et al., 2013). También se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de harina de fenogreco, aumentan los valores de G' y G'' . Por tanto, parece que la mayor presencia de galactomanano, con una elevada capacidad de retención de agua (tal como se ha visto anteriormente con los valores e la propiedad funcional WHC), influye en el comportamiento reológico de la masa, dando lugar al desarrollo de una estructura más densa.

TABLA 4. Valores medios (desviaciones estándar) de humedad y de los parámetros reológicos obtenidos para las diferentes formulaciones de pasta fresca.

Formulación	X _w	G' (Pa)	G'' (Pa)
OFF	26,49 (0,07) ^b	64736 (2155) ^c	23500 (170) ^c
2,5FF	26,5 (0,3) ^{ab}	66908 (2739) ^c	24688 (1228) ^c
5FF	26,40 (0,15) ^{ab}	80263 (1794) ^b	27430 (800) ^b
7,5FF	27,21 (0,04) ^a	85373 (5016) ^b	30110 (1432) ^a
10FF	27,5326 (0,1013) ^a	105236 (7217) ^a	31900 (809) ^a

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras, con un intervalo de confianza del 95 %.

La dependencia de ambos módulos (G' y G'') con la frecuencia angular (ω) puede describirse a partir de los parámetros obtenidos mediante las ecuaciones 2 y 3 (Tabla 5). En contra de lo esperado, no existen diferencias significativas ($p \geq 0,05$) en el parámetro a entre las diferentes formulaciones, quizás debido a que al disminuir la proporción de harina de chufa a medida que aumenta la de fenogreco, la cohesión final de la estructura sea similar. Por otro lado, sí que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el parámetro b entre las diferentes formulaciones, donde se puede ver una disminución del valor conforme se aumenta el porcentaje de adición de fenogreco, siendo la formulación 10FF la que obtiene el valor más cercano a 0. Cuanto más se acerca el valor de b a 0, mayor estructura tipo gel de la muestra, lo que corrobora las afirmaciones antes comentadas sobre el parámetro G' , que muestra un carácter más semisólido para formulaciones con más harina de fenogreco.

TABLA 5. Valores medios (desviación estándar) de los parámetros de la ecuación de potencia ajustada para las diferentes formulaciones de pasta fresca obtenidas.

Formulación	$G'(\omega) = K' \cdot \omega^a$		$G''(\omega) = K'' \cdot \omega^b$	
	K' [Pa s ⁿ]	a	K'' [Pa s ⁿ]	b
OFF	66259 (2551) ^c	0,279 (0,015) ^{ab}	23684 (301) ^d	0,198 (0,015) ^{ab}
2,5FF	67653 (3021) ^c	0,279 (0,006) ^a	24570 (1310) ^d	0,22 (0,01) ^a
5FF	81638 (2119) ^b	0,293 (0,008) ^{ab}	27145 (650) ^c	0,192 (0,012) ^b
7,5FF	86431 (4996) ^b	0,2923 (0,0114) ^{ab}	29472 (1190) ^b	0,193 (0,008) ^b
10FF	106227 (7809) ^a	0,27 (0,02) ^b	31504 (499) ^a	0,156 (0,019) ^c

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras, con un intervalo de confianza del 95 %.

4.2.1.2. ENSAYO DE CAPACITANCIA DE LA FLUENCIA

En un test creep se aplica un esfuerzo constante y la muestra se deforma rápidamente, imponiéndose una deformación en el material que continúa aumentando a velocidad decreciente con el tiempo, velocidad que depende de las propiedades de la muestra (Rao y Skinner, 1986). La figura 3 representa un ejemplo de las curvas obtenidas en un ensayo creep con muestras de masa OFF, 2,5FF, 5FF. Se puede observar que todas las curvas obtenidas mostraron un comportamiento típico de materiales viscoelásticos. El fenómeno de fluencia es causado por una reorientación de los enlaces en este tipo de materiales (Mariusz et al, 2012). Se ha observado que las propiedades viscoelásticas de diferentes masas de trigo (Edwards et al., 2001), de arroz (Sozer, 2009) y de chufa (Martin-Esparza et al., 2018) analizadas con un ensayo de este tipo se pueden describir adecuadamente con el modelo de Burgers (Burgers, 1935), que se corresponde con la combinación en serie de los modelos de Maxwell y Kelvin (ecuación 4).

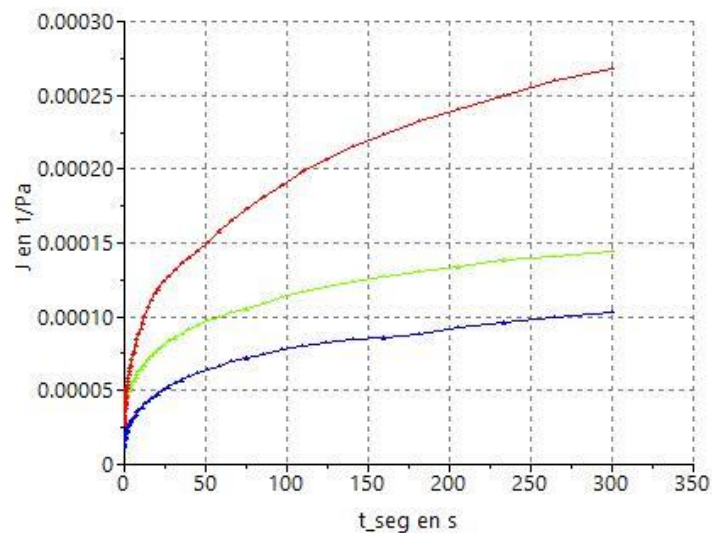


FIGURA 3 Curvas de fluencia para las diferentes formulaciones estudiadas. Curva roja (OFF), curva verde (2,5FF), curva azul (5FF).

TABLA 6. Parámetros del modelo de Burgers para los datos del ensayo de Creep.

Formulación	$J_0 \cdot 10^6$ (Pa ⁻¹)	$\eta_0 \cdot 10^{-6}$ (Pa·s)	$J_1 \cdot 10^5$ (Pa ⁻¹)	λ_1 (s)	$J_2 \cdot 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ_2 (s)	$J_3 \cdot 10^6$ (Pa ⁻¹)	λ_3 (s)	r
OFF	33 (4) ^a	3 (1) ^b	85 (12) ^a	17 (4) ^c	-	-	-	-	0,9964 (0,003)
2,5FF	26,23 (0,16) ^a	11 (2) ^a	54,53 (0,08) ^b	74 (13) ^a	15 (7) ^a	10 (1) ^a	18 (2) ^a	1,05 (0,01) ^a	0,9998 (0,0000)
5FF	11 (5) ^a	14 (7) ^a	62 (29) ^{ab}	37,7 (0,5) ^b	-5 (24) ^a	12 (11) ^a	13,7 (0,5) ^a	0,6 (0,2) ^a	0,9994 (0,0006)

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras, con un intervalo de confianza del 95 %.

La tabla 6 resume los valores obtenidos para los coeficientes del modelo. También ha sido así con las masas a base de harina de garbanzo, harina de chufa y harina de fenogreco estudiadas (coeficiente de regresión comprendido entre 0,9964 para OFF y 0,9999 para 5FF), si bien los datos obtenidos para las muestras 7,5 FF y 10 FF presentaron una dispersión demasiado grande en los parámetros de dicho modelo, por lo que no se han considerado finalmente.

Se observa que la capacitancia instantánea (J_0) disminuye conforme aumenta el porcentaje de fenogreco. Esto es coherente pues la capacitancia instantánea es mayor en materiales con estructuras débiles mientras valores pequeños son característicos de estructuras fuertes (sólidos) o duras (Sozer, 2009). Por tanto, los resultados indican de nuevo que la presencia de galactomanano refuerza la estructura de las masas, aumentando su resistencia a la deformación. Por otra parte, la presencia de esta fibra soluble parece suponer un significativo aumento en tiempo de retraso (λ_1) y en la viscosidad en régimen estacionario (μ_0), aunque sin una tendencia clara con la mayor incorporación de fenogreco. Tiempos de retraso superiores indican una respuesta elástica retardada más lenta, donde la energía que absorbe el material debido a la deformación sufrida se disipa en menor medida (carácter más sólido). Lazaridou et al. (2007) encontraron que, en general, los valores de λ_1 fueron superiores en las masas sin gluten con hidrocoloides.

4.2.2. MICROESTRUCTURA

En las figuras 4 y 5 se muestran las micrografías obtenidas en el barrido superficial (a1-c1) y transversal (a2-c2) las formulaciones de pasta OFF, 5FF y 10FF (antes y después de la cocción).

En las muestras de las distintas formulaciones de pasta sin cocer (Figura 4), se puede apreciar cómo la presencia de harina de fenogreco permite el desarrollo de una matriz densa amorfa en la que los gránulos de almidón quedan embebidos en una capa de fibra soluble hidratada que actúa a modo de “material de construcción”. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jyotsna et al. (2011). Por otra parte, en la formulación sin harina de fenogreco (OFF), los gránulos de almidón aparecen más o menos integrados en la red proteica formada por la emulsión de las proteínas de las leguminosas y la albúmina del huevo. En todos los casos es posible observar el perfil y la forma de los gránulos de almidón.

Es sabido que la penetración del agua durante la cocción de una pasta está relacionada principalmente con el contenido de proteínas y de otros componentes que puedan competir con el almidón por el agua. La gelatinización del almidón tiene lugar hacia adentro por lo que las interacciones entre la matriz de almidón y proteína son evidentes en las capas media y superficial, mientras que en el centro de la pasta cocida los gránulos de almidón pueden llegar a mantener su forma debido a una difusión de agua limitada y una red de proteínas u otros componentes densa (Maningat et al., 2009). Si observamos la micrografía obtenida en el corte transversal de la formulación cocida con mayor porcentaje de harina de fenogreco (10FF), figura 5c2, se puede apreciar que los gránulos de almidón presentan una mayor integridad que en las otras dos formulaciones, donde han perdido su forma sin poder observarse su forma característica. Esto podría deberse a que al estar la estructura continua constituida por el gel formado por el galactomanano (la fibra soluble del fenogreco), que tal como se ha comentado en apartados anteriores, tiene una elevadísima capacidad de retención de agua, reduce la

accesibilidad del almidón al agua durante la cocción de la pasta, por lo que éste no sería capaz de gelatinizar completamente.

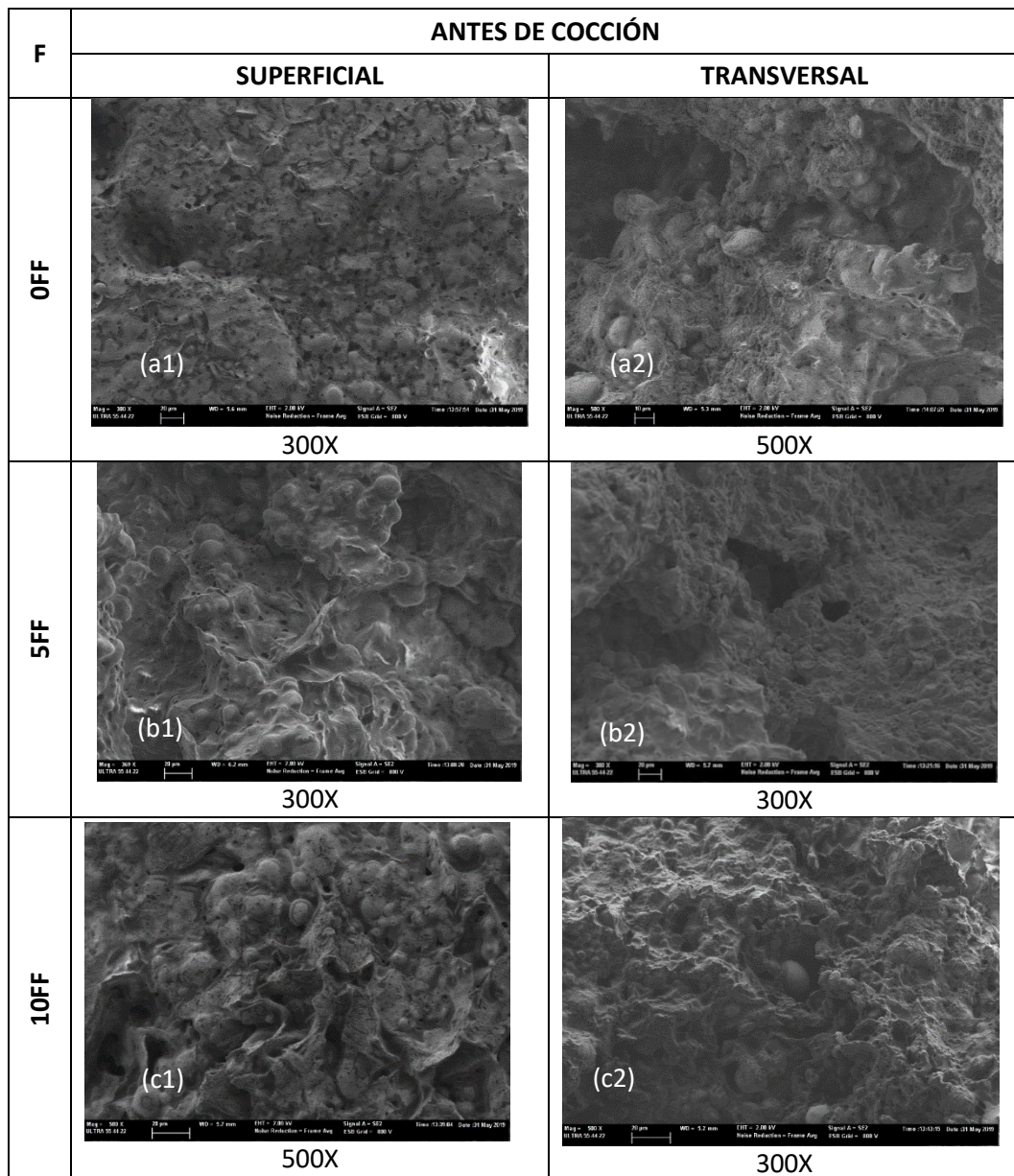


Figura 4. FESEM para las formulaciones antes de la cocción a diferentes aumentos, vista superficial y vista en el corte transversal, con aumento de 300x y 500x.

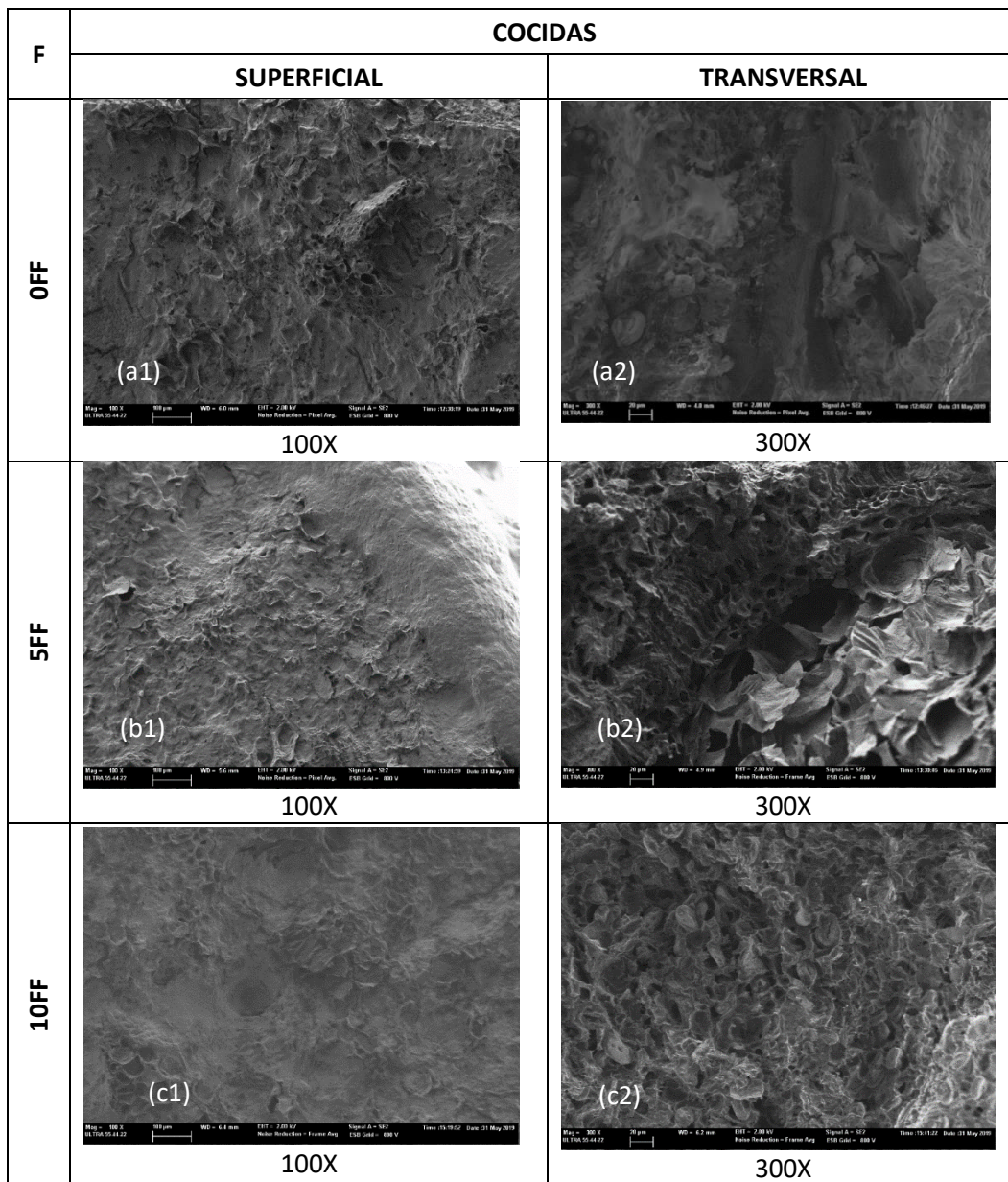


Figura 5. FESEM para las formulaciones cocidas a diferentes aumentos, vista superficial y vista en el corte transversal, con aumentos de 100x y 300x.

5. CONCLUSIONES

1. La presencia de galactomanano en la harina de fenogreco influyó en la capacidad de retención del agua, siendo la mezcla de harinas con un 10%FF la que presentó los valores más altos. Respecto a la capacidad de absorción de grasa, la harina de chufa fue la que presentó el valor más alto por su mayor contenido en lípidos respecto al resto de harinas.
2. La harina de fenogreco presentó un mayor tamaño de partícula que las otras dos harinas, si bien con una distribución significativamente más homogénea.
3. La incorporación de fenogreco en las formulaciones de pasta fresca influyó en el comportamiento reológico de la masa, desarrollando una estructura más densa, con un mayor carácter semisólido, y más resistente a la deformación. La mayor independencia del módulo de pérdidas con la frecuencia del ensayo revela efectivamente un comportamiento tipo gel.
4. Las observaciones de la microestructura permitieron evidenciar, efectivamente, la formación de una matriz más densa con los gránulos de almidón encapsulados en ella, y rodeados por el mucílago de la fibra soluble hidratada.
5. Tras la cocción, las micrografías revelaron una menor gelatinización del almidón a altos porcentajes de fenogreco, probablemente debido a la mayor competencia por el agua entre la fibra soluble y el almidón.

Los resultados obtenidos parecen prometedores, sin embargo, se recomienda una posible modificación del proceso en el amasado, aumentando la cantidad de agua para conseguir una correcta hidratación de la fibra soluble y así desarrollar una estructura más uniforme. También sería interesante modificar tiempos de amasado y de reposo de la masa antes de su laminación.

6. BIBLIOGRAFÍA

AACC. 2005. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, (10th edn). 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 application in pudding and white sauce. *World Journal of Dairy & Food Sciences* 5 (2): 173-182.

ADE-OMOWAYE, B. I. O.; AKINWANDE, B. A.; BOLARINWA, I. F.; ADEBIYI, 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. *J Food Sci* 70:380–386.

ALBORS, A.; RAIGON, M. D.; GARCÍA-MARTINEZ, 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.

BADUI, S. (1999). *Química de los Alimentos*. Editado por Pearson Educación. México. pp. p648.

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.

BURGUERS, J.M. (1935). Mechanical considerations-model systems-phenomenological theories of relaxation and viscosity. In *First report on viscosity and plasticity*. New York: Nordemann, Publishing Company.

BURKITT, D.P.; WALKER, A.R.P.; PAINTER, N.S. (1974): Dietary fibre and disease. *JAMA* 1974; 229; 1068-1074.

CALLEJO GONZÁLEZ, M.J. (2002). *Industrias de cereales y derivados*. Ed. Mundi-Prensa, 337.

CALVO REBOLLAR, M.; ROBINSON, D.S.; SEVILLANO, E. (1991). *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. IOQUIMICA DE LOS ALIMENTOS.

CATASSI, C.; GATTI, S.; FASSANO, A. (2014). The New Epidemiology of Celiac Disease. *Celiac Disease: Past, Present, Future Challenges.*, 59: 7-9.

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.

DENDY, D.A.V.; DOBRASZCHZYK, B.J. (2001) *Cereals and cereals products. Chemistry and technology*. Ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York: 537.

EDWARDS, N.; MULVANEY, S.; SCANLON, M.; & DEXTER, J. (2003). Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry*, 80(6), 755e763.

FARHAT, R.; SARFRAZ, H.; ZAHEER, A. (2017). Extraction purification and characterization of galactomannan from fenugreek for industrial utilization. *Carbohydrate Polymers*. 180: 88-95.

FEILLET, P. (1984). Present knowledge on biochemical basis of pasta cooking quality. Consequence for wheat breeders. *Sci. Alim*. 4:551-566.

FEYZI, S.; VARIDI, M.; ZARE, F.; VARIDI, M. J. (2015). Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) seed protein isolate: extraction optimization, amino acid composition, thermo and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15):3165-3176.

FOSCHIA, M.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A.; BRENNAN, C. S. (2013). The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science*, 58(2):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. Y VELASCO, C. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición hospitalaria*, 22 (Supl. 2): 20-25.

GEORGOPOULOS, T.; LARSSON, H.; ELIASSON, A.C. (2004). A comparison of the rheological properties of wheat flour dough and its gluten prepared by ultracentrifugation. *Food Hydrocolloids*, 18:143-151.

GIUBERTI, G.; GALLO, A.; CERIOLO, C.; FORTUNATI, P.; MASOERO, F. (2015). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chemistry*, 175:43-49.

GRANITO, M.; TORRES, A.; GUERRA, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*, 28, 7. HAGER A.S.; CZERNY M.; BEZ J.; ZANNINI E.; ARENDT

HAGER A.S.; CZERNY M.; BEZ J.; ZANNINI E.; ARENDT E.K. (2013). Starch properties, *in vitro* digestibility and sensory of fresh egg pasta produced from oat, teff and wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 58, 156-163.

HAGER, A. S.; WOLTER, A.; CZERNY, M.; BEZ, J.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. K.; CZERNY, M. (2012). Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology*, 235(2):333-344.

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. *J Am Oil Chem Soc* 79:1249–1253.

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.

International Diabetes Federation. Diabetes and impaired glucose tolerance: global burden: prevalence and projections, 2010 and 2030. International Diabetes Federation Website. <http://www.idf.org/diabetesatlas/5e/the-global-burden>. (Fecha de acceso: 27/05/2019).

JYOTSNA, R.; SOUMAYA, C.; INDRANI, D.; VENKATESWARA RAO, G. (2011). Effect of replacement of wheat flour with finger millet flour (*Eleusine corcana*) on the batter microscopy, rheology and quality characteristics of muffins. *J. Texture Stud.* 42, 478-489.

LALEGANI, S.; GAVLIGHI, H. A.; AZIZI, M. H.; SARTESHNIZI, R. A. (2018). Inhibitory activity of phenolic-rich pistachio green hull extract-enriched pasta on key type 2 diabetes relevant enzymes and glycemic index. *Food Research International*, 105:94-101.

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.

LARROSA, V; LORENZO, G; ZARITZKY, N; CALIFANO, A. (2013). Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. *Journal of Cereal Science* 57 (2013) 520-526.

LAZARIDOU, A.; DUTA, D.; PAPAGEORGION, M.; BELC, N.; BILIADERIS, C.G. (2007). Effect of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3): 1033-1047.

LEE, A. R.; NG, D. L.; DAVE, E.; CIACCIO, E. J.; GREEN, P. H. R. (2009). The effect of substituting alternative grains in the diet on the nutritional profile of the gluten-free diet. *Journal of human nutrition and dietetics*, 22(4):359-363.

LIN, C.S.; ZAYAS, J.F. (1987) Functionality of defatted corn germ proteins in a model system: fat binding capacity and water retention. *J Food Sci* 52:1308–1311.

LLAVATA, B.; MARTÍN-ESPARZA, M.E.; ALBORS, A. (2019). Efecto de la adición de fenogreco en pasta fresca sin gluten: propiedades físicas, químicas, aceptación sensorial e índice glicémico.

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.

MANINGAT, C. C.; SEIB, P. A.; BASSI, S. D.; WOO, K. S.; LASATER, G. D. (2009). Wheat starch: Production, properties, modification, and uses. Pages 441-510 in: *Starch Chemistry and Technology* 3rd Ed. J. BeMiller and R. Whistler, eds. Academic Press: New York.

MARIUSZ, W.; JUSZCZAKA, L.; WITCZAKB, T.; ZIOBROC, R.; KORUSC, J.; CIEŚLIKD, E. (2012). Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydrate polymers*, 90(1): 353-360.

MARTI, A.; PAGANI, M.A. (2013). What can play the role of gluten free pasta. *Trends in Food Science & Technology*, 31: 63-71.

MARTÍN-ESPARZA. M. E.; BRESSI. G. B.; RAGA. A.; ALBORS. A. (2018). Technological and nutritional aspects of gluten-free pasta based on chickpea flour and tiger nut flour. *IDS'2018-21st International Drying Symposium*, 1021-1028.

MARTÍNEZ MONZÓ, J.; GARCÍA SEGOVIA, P. (2001). *Nutrición humana*. Ed. Universitat Politècnica de Valencia. Valencia: 384.

MEIJER-BOEKEL, C. R.; SHAMIR, R.; SZAJEWSKA, H.; MEARIN, M. (2018). Celiac Disease Prevention. *Frontiers in Pediatrics*, 6:368.

MIRANDA, J.; LASA, A.; BUSTAMANTE, M. A.; CHURRUCA, I.; SIMON, E. (2014). Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten. *Plant foods for human nutrition*, 69(2):182-187.

NAQVI, S. A.; KHLAN, M.; SHAHID, M.; JASKANI, M.; KHAN, L.A.; ZUBER, M. (2011). Biochemical profiling of mucilage extracted from seeds of different citrus rootstocks. *Carbohydrate Polymers*, 83 (2), 623-628.

NAVARRO, C. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tigernut (*Cyperus esculentus*) milk ("horchata") by products and its physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (17). 7719-7725.

O'SHEA, N.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. (2014). State of the art of gluten-free research. *Journal of Food Science*, 79:1067-1076.

PAGANI, M.; LUCIANO, M.; MARIOTTI, M. (2007). Traditional Italian Products from Wheat and Other Starchy Flours. In: *Handbook of Food Products Manufacturing: Principles, bakery, beverages, cereals, cheese, confectionary, fats, fruits and functional foods*. Wiley Interscience. ISBN 978-0-470-12525-0.

RAO, V. M.; DELANEY, R. A.; & SKINNER, G. E. (1986). Rheological properties of solid foods. *Engineering properties of foods*, 215-226.

REAL DECRETO 1093/1987 de 19/06/87. Por el que se modifican los métodos de análisis contenido en el anexo de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias aprobada por el Decreto 2181/75 de 12 de septiembre. BOE 08/09/87.

REAL DECRETO 1534/1991 de 12/09/91. Por el que se modifican determinados artículos de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias. Los epígrafes referentes a la acidez de la grasa. Los apartados «Pastas Rellenas», «Pastas Alimenticias» y «Pastas Frescas». BOE 30/10/91.

REAL DECRETO 1771/1976 de 02/07/76. Por el que se modifican algunos de los artículos y epígrafes de determinadas Reglamentaciones Técnico-Sanitarias y Normas alimentarias

específicas. Modifica los artículos cuatro y veinte de la Reglamentación Técnico Sanitaria de los Agentes Aromáticos para la alimentación. BOE 28/07/76.

REAL DECRETO 2181/1975 de 12/09/75. Por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimentarias. Define las Patas alimenticias, clasificación (dentro de esta definición de pastas frescas). BOE 13/09/75.

REAL DECRETO 2811/1983 de 13/10/83. Por el que se modifica la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias. Aclarar el contenido del apartado 10 del artículo 15: Fecha de fabricación y periodo máximo de consumo para las pastas rellenas y las frescas. Será necesaria además la mención "conservación en frío" en las pastas frescas, ya sean simples, compuestas o rellenas. BOE 11/11/83.

SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; FUENTES-ZARAGOZA, E.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SENDRA, E.; VAYAS, E.;

SHIRANI, G.; GANESHARANEE, R. (2009). Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of food engineering*, 90(1):44-52.

SIVARAMAKRISHNAN, H.P.; SENGE, B.; CHATTOPADHYAY, P. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *J. Food Eng.* 62 (1), 37–45.

SOZER, N. (2009). Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 849-855.

STEFFE, J.F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press, East Lansing, MI

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.

TRAYNHAM, T. L.; MYERS, D. J.; CARRIQUIRY, A. L. (2007). Evaluation of water-holding capacity for wheat–soy flour blends.

TROWELL, H.; SOUTHGATE, D.A.; WOLEVER, T.M.S.; LEAD, SAR; GASSUL, M.A.; JENKINS, D.J.A. (1976): Dietary fibre redefined. *Lancet* 1976, i:967.

VAN BOCKSTAELE, F.; DE LEYN, I.; EECKHOUT, M.; & DEWETTINCK, K.; (2011). Non-linear creep recovery measurements as a tool for evaluating the viscoelastic properties of wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 107(1), 50-59.

WANI, S. A.; KUMAR, P. (2018). Fenugreek: A review on its nutraceutical properties and utilization in various food products. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2):97-106.