

Influencia de la adición de harinas extruídas en la elaboración de panes de arroz

Mario Martínez Martínez

Área de Tecnología de los Alimentos, E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, 34004 Palencia, España

Resumen

En los últimos años se han incrementado las investigaciones sobre los procesos de elaboración de panes sin gluten. La extrusión es un tratamiento físico capaz de modificar las propiedades funcionales de las harinas. Este tipo de harinas pueden mejorar la calidad de los panes para celíacos. En este estudio se ha analizado la influencia de la sustitución de un 10% de harina de arroz por 6 tipos de harinas extruídas de arroz (tres intensidades de tratamiento y dos granulometrías) en las características de panes sin gluten (volumen específico, textura y color), tanto en panes elaborados a humedad constante como a consistencia constante. También se ha analizado la microestructura y la reología de las masas y su comportamiento durante la fermentación. Las harinas extruídas incrementan la consistencia de las masas, y este efecto es mayor cuanto mayor es la intensidad de tratamiento. La incorporación de harinas extrusionadas disminuye el desarrollo de las masas a partir de un cierto punto, lo que se traduce en un menor volumen específico y una mayor firmeza de los panes, efecto que se minimiza en los panes a consistencia constante y con las harinas de mayor granulometría. El endurecimiento de los panes entre las 24 y las 72 horas es menor cuando se incorporan harinas extrusionadas gruesas. Las harinas extrusionadas también disminuyen la luminosidad de la corteza.

Palabras clave: Extrusión, pan sin gluten, tamaño de partícula, microestructura

Abstract

Along the past years there has been increasing research into gluten free bread elaboration processes. Extrusion is a physical treatment which allows to modify flours functional properties. This kind of flours can improve celiac breads quality. This report deals with the influence of the substitution of a 10% of rice flours by six kinds of rice extruded flours (three intensities of treatment and two particle sizes) in the characteristics of gluten free bread (specific volume, texture and colour), both in constant moisture elaborated bread and in constant consistence. It has also been analyzed the microstructure and rheology of the doughs and their behavior during fermentation. The extruded flours increase the dough consistence, and their effect is bigger according to the intensity of the treatment. The addition of extruded flour diminishes the development of the doughs to a certain extent, which results in a minor specific volume and a bigger firmness in the breads, effect which is minimized in the breads elaborated at constant consistence and with flours of bigger particles size. The stalling of the bread between the following 24 and 72 hours is less when bigger extruded flours particles are added. Extruded flours are also lessen the brightness of the crust.

Keywords: Extrusion, gluten free bread, particle size, microstructure

1. Introducción

Existe un incremento de las personas que por varias razones desean eliminar el gluten de la dieta, ya sea por alergias e intolerancias al mismo, o simplemente por la creencia de que una dieta sin gluten es más sana. Por ello, hay una mayor demanda de productos sin gluten que ha llevado a las industrias alimentarias a desarrollar nuevos productos para responder a esta demanda (Ranhotra, 2000). Los productores de alimentos a base de cereales se enfrentan a un gran reto tecnológico para sacar al mercado productos sin gluten con unas buenas características organolépticas, ya que este tiene un papel funcional esencial en muchas de las elaboraciones. En la actualidad muchos de estos productos presentan deficiencias organolépticas, una baja vida útil y un precio muy elevado (Arendt, et al., 2002; Gujral, et al., 2003).

La mayoría de las investigaciones en el desarrollo de productos sin gluten se han centrado en la sustitución de las harinas de trigo por distintas mezclas de harinas de cereales sin gluten, almidones, ingredientes proteicos e hidrocoloides (Schober, 2009) y en la mejora enzimática de estas formulaciones (Rosell, 2009). En los últimos años también se han incrementado las investigaciones sobre el uso de harinas de pseudocereales (Alvarez-Jubete, et al., 2010) y la incorporación de masas madre (Moroni, et al., 2009).

La modificación de las propiedades funcionales de las harinas mediante tratamientos físicos para su uso en productos sin gluten no son tan conocidas, y su implantación ha sido minoritaria. Entre los tratamientos físicos más efectivos destacan los tratamientos hidrotérmicos. Se sabe que las modificaciones que los tratamientos hidrotérmicos producen en las propiedades funcionales de las harinas dependen de la humedad al inicio del tratamiento, la temperatura alcanzada, el tiempo y el tipo de tratamiento, bien en rodillos calefactados, atomizado o extrusión (Chiu & Solarek, 2009). En general, el tratamiento del almidón con exceso de agua (>60% p/p) es conocido como "annealing", mientras que se suele conocer como "tratamiento con humedad y calor" cuando se aplica a almidones con bajo contenido en humedad (<35% p/p). Ambos tratamientos físicos se realizan a temperaturas por encima de la temperatura de transición vítrea, pero siempre por debajo de la temperatura de gelatinización (Jacobs & Delcour, 1998). Si, por el contrario, se somete al almidón a tratamientos con suficiente humedad a elevadas temperaturas, este puede ser gelatinizado, con un incremento del poder de hinchamiento del gránulo, puede perder cristalinidad, y se puede provocar una ruptura de la estructura de los gránulos (Atwell, et al., 1988). Hoover & Vasanthan (1994) también demostraron que los almidones tratados térmicamente, a 100°C, presentaban una mayor temperatura de gelatinización y una

mayor resistencia a la hidrólisis ácida, todo ellos fruto de la reordenación de las cadenas de almidón, aunque estos cambios variaban en función del tipo de almidón utilizado.

La harina de arroz pregelatinizada ha sido ampliamente usada en muchos tipos de alimentos (bizcochos de arroz, alimentos infantiles, leche de arroz instantánea) como ingrediente mayoritario por sus propiedades espesantes. Tradicionalmente se obtenía harina de arroz pregelatinizada moliendo granos de arroz tostados o inflados procedentes de arroz natural o arroz sancochado (Lai, 2001). Se sabe que las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas de arroz pregelatinizadas, las cuales son diferentes principalmente debido a la variedad de arroz y al método de procesado, afectan significativamente a las aplicaciones futuras de las mismas (Hsieh & Luh, 1991; Lu, et al., 1994). Estos tratamientos hidrotérmicos se pueden realizar industrialmente de varias formas, como por ejemplo secando una pasta por atomización o con rodillos calefactados, pero una de las alternativas más versátiles es la extrusión, tratamiento que conjuga la aplicación de calor y esfuerzo mecánico a una mezcla de harina y agua.

La extrusión provoca cambios nutricionales importantes en las harinas. En general los tratamientos de extrusión suaves (alta humedad y bajas temperaturas y tiempos de tratamiento) mejoran las características nutricionales de los productos tratados, mientras que los tratamientos más severos (baja humedad y altas temperaturas y tiempos de tratamiento) las empeoran. En función de las condiciones del tratamiento se pueden producir reacciones de Maillard, con el consiguiente deterioro de la calidad nutricional de las proteínas. Otros efectos conseguidos con la extrusión son la reducción de la oxidación lipídica, al inactivar los enzimas responsables de la misma, el incremento del contenido en fibra soluble, la reducción del contenido en vitaminas termolábiles, la reducción del contenido de factores antinutricionales y la reducción de la carga microbiana de los productos tratados (Camire , et al., 1990). Kim, et al., (2006) también comprobaron que la extrusión de harina de trigo incrementa el contenido en almidón resistente, dependiendo de la humedad al inicio del tratamiento, y este efecto es mayor que el conseguido con otros tratamientos térmicos como la cocción (Alsaffar, 2011)

El mayor interés de las harinas y almidones tratados mediante extrusión se centra en la alteración de sus propiedades funcionales. En general el estudio de estos tratamientos se ha focalizado en las modificaciones sufridas por el almidón. La degradación del almidón es función de los parámetros de extrusión tales como la temperatura, la humedad al inicio del tratamiento y la velocidad del tornillo (Wen, et al., 1990). De esta manera se pueden conseguir almidones con propiedades funcionales

similares a las de los almidones modificados químicamente (hidroxipropilados y reticulados), sin que exista una modificación química. De la misma manera las propiedades funcionales de las harinas extruídas dependerán de las condiciones de extrusión (Curic, et al., 2009). Como en todos los tratamientos térmicos, en función de la temperatura alcanzada y del tiempo de tratamiento, también se consigue una inactivación enzimática, y una reducción de la carga microbiana del producto tratado.

Cuando se extruyen harinas se observan cambios en el almidón, que implican modificaciones en el comportamiento reológico de las mismas, similares a cuando las pastas se someten a ciclos de calentamiento y enfriamiento (Hagenimana, et al., 2006). Sin embargo, la extrusión provoca cambios en el almidón más bruscos que los métodos de cocción tradicionales, dañando una mayor cantidad de gránulos de almidón y modificando el poder espesante en frío de los almidones tratados (Wolf, 2010). Este tratamiento puede llegar a fragmentar moléculas de amilopectina (Mercier & Feillet, 1975). De hecho, Colonna, et al., (1984) demostraron que los almidones de trigo extruídos presentan cadenas de amilosa y amilopectina de menor peso molecular que los obtenidos mediante secado por rodillos. Este efecto, debido a las fuerzas de cizalla que experimenta el almidón, se traduce en un menor poder espesante en frío pero incrementa su solubilidad (Doublier, et al., 1986).

Debido a esos cambios funcionales que experimenta la harina cuando es sometida a extrusión, se puede pensar que cambiarán también las propiedades de panificación de las mismas. Sin embargo, existen pocos estudios al respecto tanto en panes normales como en panes libres de gluten. En panes de trigo, Gill, et al., (2002) estudiaron la sustitución de varios porcentajes de harina de trigo por harina de cebada, procedente de distintas variedades, extrusionada y sin extruir. Estos autores comprobaron que una sustitución del 5% de harina de trigo por harina de cebada daba panes más firmes y secos en comparación con los panes 100% trigo, pero que estos cambios dependían de la variedad de cebada y del tipo de tratamiento térmico. En todos los casos la sustitución de harina de trigo provocaba una pequeña disminución de volumen de los panes, mayor cuanto mayor era el volumen de sustitución, lo que atribuyeron a una dilución de la red de gluten. Observaron también cambios en la luminosidad de la miga, disminuyendo este valor conforme aumentaba la temperatura de extrusión de las harinas.

También se han estudiado los efectos de la extrusión de almidones y harinas en la elaboración de panes sin gluten. Así Defloor, et al., (1991) comprobaron que una mezcla de almidones extrusionados y emulgente mejoraba la calidad de panes elaborados con una mezcla de harina de tapioca y de soja, y una alta hidratación (145%).

Sanchez, et al., (2008) comprobaron que la adición de harinas de arroz extruídas podía mejorar el volumen de los panes, llegando a incrementos del 41%, y la estructura de la miga, pero que este efecto era mayor cuando se extruían variedades céreas. Sin embargo estos autores utilizaron porcentajes de harina extrusionada elevados (15 y 30%) y variaron la cantidad de agua en las formulaciones basándose en la medida de la consistencia de las masas efectuada con un penetrómetro. Esto se tradujo en un incremento de la hidratación de las masas mayor del 30% en la mayoría de los casos. También hay que considerar que estos autores utilizaron un porcentaje de almidón superior al 80% en sus formulaciones.

Clerici & El-Dash, (2006) comprobaron la influencia de las condiciones de extrusión de harinas de arroz en la calidad de panes sin gluten elaborados con un 10% de las mismas. Sin embargo, estos autores no utilizaron hidrocoloides en sus elaboraciones y el volumen específico de los panes resultantes fue excesivamente bajo en todos los casos. En otro estudio realizado, Clerici, et al., (2009) observaron que la acidificación de las harinas en la extrusión mejoraba las propiedades de estas como ingredientes en la elaboración de panes sin gluten, pero al igual que en el caso anterior los volúmenes específicos de los panes fueron muy bajos debido a la ausencia de hidrocoloides en la formulación.

En definitiva, existen estudios sobre la aplicación de harinas extrusionadas en panes para celíacos, pero estos deben ampliarse a formulas con inclusión de hidrocoloides, con hidrataciones menores al 90%, y en las que la harina de arroz sea el ingrediente mayoritario. Por otro lado, se sabe el efecto que puede tener el tamaño de partícula de las harinas de arroz en la elaboración de panes para celíacos (Araki, et al., 2009; Nishita & Bean, 1982; Ylimaki, et al., 1988), pero en ningún caso se ha estudiado el efecto del tamaño de partícula de las harinas extrusionadas en su funcionalidad para la elaboración de panes para celíacos.

En este estudio se ha comprobado el efecto de la sustitución de harina de arroz sin extruir por un 10% de harina de arroz extrusionada con tres intensidades de tratamiento diferentes y con dos tamaños de partícula diferentes en la elaboración de panes sin gluten a humedad constante y a consistencia constante. Se analizó el comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento, la reología de las masas, el desarrollo de las masas y la producción de gas durante la fermentación, los cambios en la microestructura de las harinas y masas, el color de la miga, el color de la corteza, las propiedades texturales y el volumen específico de los panes.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Las harinas de arroz usadas en este estudio fueron suministradas por Harinera Los Pisones (Zamora, España). La harina de arroz se extruyó usando un extrusor de tornillo simple industrial Bühler Basf (Bühler S.A., Uzwil, Suiza). Se estudiaron 3 tipos de harinas. La harina 1 se extruyó con adición de un 2% de humedad y en el extrusor se alcanzó una temperatura máxima de 110°C. Para extruir la 2 se adicionó un 15% de humedad y la temperatura alcanzó los 110°C. Para la 3 se adicionó un 10% de humedad pero se alcanzó una temperatura máxima de 140°C. El producto extrusionado fue molturado con rodillos de compresión y tamizado. La harina sin extruir se ha denominado Control, mientras que las harinas extruidas se nombran con un número y una letra. En función de su tratamiento térmico los números serán 1, 2, y 3 de menor a mayor intensidad de tratamiento respectivamente. Las harinas finas se denominarán f y las gruesas g. Las harinas finas se obtuvieron al atravesar un tamiz de 132 micras, mientras que las gruesas lo hicieron al quedar entre un tamiz de 132 y otro de 200 micras.

Para la elaboración de los panes se ha utilizado levadura Saf-Instant (Lesaffre, Lille, Francia), sal refinada seca (Esco European Salt Company, Niedersachsen, Alemania), agua procedente de la red local, azúcar blanco (Acor, Valladolid, España), aceite de girasol refinado (Coosur, Vilches, España) e hidroxipropilmetilcelulosa Methocel K4M Food grade (Dow Wolf Celulosics, Bitterfeld, Alemania).

2.2 Métodos

2.2.1. Tamaño de partícula de las harinas

La granulometría de las harinas se analizó con el equipo Helos BR (Sympatech GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Alemania) a través del programa Widox 5 Sensor Control. Se realizaron las analíticas por duplicado.

2.2.2. Color de las harinas

Se midió el color de las harinas a través del espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y observador estándar 2º, y se expresaron en el espacio de color CIE L*a*b*. Se realizaban 5 medidas en dos puntos (5x2) de una muestra de harina.

2.2.3. Proteína de las harinas

El análisis de proteína se llevó a cabo con un Leco TruSpec (Leco, St. Joseph, Michigan) siguiendo el método 46.30.01 (AACC, 2012). El nitrógeno se libera por pirólisis y posteriormente combustiona a alta temperatura en oxígeno puro. Finalmente es cuantificado por detección de la conductividad térmica. Este análisis se realizó por duplicado.

2.2.4. Comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

Este análisis se ha realizado en un equipo Rapid Visco Analyzer (RVA) (Newport Scientific, Warriewood, Australia) de acuerdo a lo descrito en el método 61.02.01 (AACC, 2012). Éste método consiste en someter a la pasta a un calentamiento hasta 95°C, mantenerlo un tiempo a esa temperatura y después enfriar hasta llegar a los 50°C. El equipo registra la viscosidad de la mezcla.

Todas las medidas se realizaron por duplicado. Los parámetros que proporciona este equipo son los que se muestran en la figura 1.

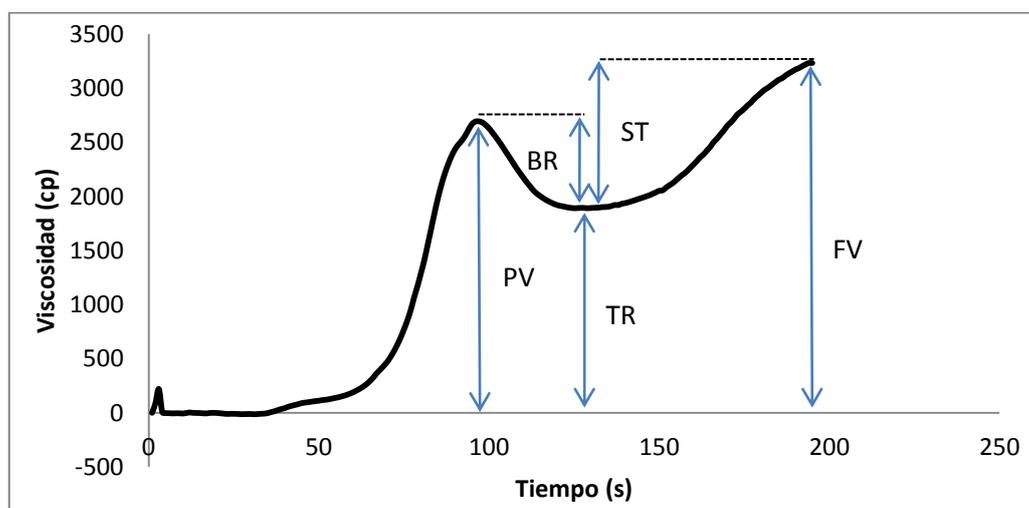


Figura 1: Parámetros que proporciona el equipo RVA en un ensayo de calentamiento-enfriamiento. Viscosidad máxima (PV), Estabilidad (BR), Viscosidad de caída (TR), Retrogradación (ST) y Viscosidad final (FV).

Se han mantenido las siglas inglesas por ser habituales en este tipo de trabajos. La viscosidad máxima (PV, peak viscosity) indica la máxima viscosidad alcanzada por la muestra en todo el ciclo antes de la retrogradación. La estabilidad (BR, breakdown) es la diferencia entre la viscosidad máxima (PV) y la viscosidad de caída (TR, trough). La viscosidad de caída (TR) es el menor valor de viscosidad antes de que comience la retrogradación. La retrogradación (ST, setback) es la diferencia entre la viscosidad

final (FV, final viscosity) y la viscosidad de caída (TR). La viscosidad final (FV) es el valor de viscosidad de la muestra el final del ciclo.

2.2.5. Propiedades de hidratación

Las propiedades de hidratación incluyen entre otras la capacidad de retención de agua (WHC, water holding capacity) y el poder de hinchamiento (SP, swelling power) (Nelson, 2001). La WHC se define como la cantidad de agua retenida por una muestra sin ser sometida a ningún estrés y es una importante característica funcional relacionada con la fabricación y la calidad de los productos finales (Slade & Levine, 1994). El análisis del WHC se realizó según el método 88.04 (AACC, 2012).

El SP de un peso conocido de harina fue evaluado mezclando 5g (± 0.1 mg) de harina con 100ml de agua destilada permitiendo que la harina se hidrate durante 16 horas, y finalmente aplicamos la siguiente ecuación (Rosell, et al., 2009):

$$SP = \text{Peso tubo con precipitado} - \text{Peso tubo vacío} - \text{Peso harina}$$

Ambos ensayos se realizaron por duplicado.

2.2.6. Capacidad de retención de solventes (SRC, solvent retention capacity)

La capacidad de retención de solventes (SRC) se define como el peso de los solventes retenidos por la harina después de la centrifugación y permite evaluar la funcionalidad de las harinas. Éste ensayo se determinó de acuerdo con lo descrito en el método 56.11 (AACC, 2012). Se utilizó una disolución de ácido láctico al 5% la cual estaba relacionada con la calidad y cantidad de las proteínas, una disolución de carbonato sódico al 5% la cual estaba relacionada con la cantidad de almidón dañado o pregelatinizado y una disolución de sacarosa al 50% relacionada con la cantidad de arabinoxilanos (Kweon et al., 2011; Kweon et al., En prensa). Todos ensayos se realizaron por duplicado. Las características de las harinas analizadas se muestran en las tablas 1 y 2.

2.2.7. Microscopía electrónica de barrido ambiental

La microestructura de las harinas y de las masas fue analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM). Se ha utilizado un Microscopio ESEM (FEI, Quanta 200FEG, Oregón, USA), con un sistema de Microanálisis de Rayos-X integrado Génesis XM2i de EDAX, que permite la observación y análisis de muestras húmedas a presiones ambientales, sin necesidad de metalización superficial. Las masas medidas carecían de levadura para no alterar la visualización de las imágenes.

Tabla 1: Color, proteína, granulometría y comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento

| Harina | PV(cp) | BR(cp) | TR(cp) | ST(cp) | FV(cp) | L* | Tono harina | Croma harina | Proteína | Granulometría |
|---------|----------|------------|----------|----------|-----------|----------|-------------|--------------|----------|---------------|
| 3f | 554 a | 489,5 a, b | 64,5 a | 96,5 a | 161 a | 90,835 d | 1,5255 b | 9,2845 c | 7,85 b | 83,63 b |
| 3g | 754,5 a | 648 b | 106,5 a | 77,5 a | 184 a | 86,4 a | 1,519 b | 12,9975 e | 8,42 f | 131,19 d |
| 2f | 2259 c | 492,5 a, b | 1766,5 d | 1546,5 c | 3313 c, d | 91,66 e | 1,558 d, e | 9,231 c | 8,25 e | 84,845 b |
| 2g | 1546,5 b | 586,5 b | 960 b | 1054,5 b | 2014,5 b | 89,19 c | 1,5535 d | 11,517 d | 8,11 d | 132,04 d |
| 1f | 2243 c | 509,5 a, b | 1733,5 d | 1658 c | 3391,5 d | 92,29 f | 1,5635 e | 8,76 b | 8,74 g | 75,18 a |
| 1g | 1848,5 b | 316,5 a | 1532 c | 1579 c | 3111 c | 88,805 b | 1,537 c | 11,682 d | 8,04 c | 131,68 d |
| Control | 5175 d | 1947 c | 3228 e | 2925,5 d | 6153,5 e | 94,25 g | -1,521 a | 7,149 a | 7,81 a | 125,75 c |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de muestra

-PV = Pasting temperature; PT = Peak temperatre; BR = Breakdown; TR = Trough; ST = Setback; FV = Final viscosity; L* = Luminosidad de la harina

Tabla 2: Propiedades de hidratación y retención de solventes de las harinas

| Harina | WHC | SRC Carbonato | SRC Láctico | SRC Sacarosa | SP |
|---------|-----------|---------------|-------------|--------------|----------|
| 3f | 4,943 e | 469,273 d | 365,024 e | 419,303 d | 40,83 c |
| 3g | 4,9425 e | 510,44 d | 438,878 f | 468,433 e | 41,925 c |
| 2f | 1,915 c | 235,944 b | 158,779 c | 242,641 b | 12,96 a |
| 2g | 2,35 d | 327,099 c | 228,953 d | 373,221 c | 20,675 b |
| 1f | 1,384 b | 168,654 a | 112,399 b | 166,631 a | 9,665 a |
| 1g | 1,32 a, b | 156,451 a | 111,708 b | 170,59 a | 9,395 a |
| Control | 1,221 a | 122,974 a | 97,934 a | 143,344 a | 10,395 a |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de muestra

-WHC = capacidad de absorción de agua; SRC Carbonato = capacidad de retención de carbonato cálcico; SRC Láctico = capacidad de retención de ácido láctico; SRC sacarosa = capacidad de retención de sacarosa; SP = poder de hinchamiento

2.2.8. Reología de masas.

Se ha estudiado la conducta reológica de las masas a humedad constante utilizando un reómetro de esfuerzo controlado Thermo Scientific Haake RheoStress1 (Thermo Fisher Scientific, Schwerte, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controla la temperatura de análisis, que está estipulada en 25°C. Todas las medidas se monitorizaron con el programa informático Rheowin Pro Job Manager. Se ha utilizado una geometría de platos paralelos de titanio de 60 mm de diámetro de titanio (PP60 Ti), de superficie rugosa para evitar el deslizamiento de la masa durante la realización de las pruebas, con un espacio entre platos de 3 mm. Se impuso una oscilación sinusoidal en el plato superior, mientras que el plato inferior se mantuvo estacionario. Una vez ajustado el espacio entre platos, el exceso de la muestra que sobresale se recoge con una espátula e inmediatamente, para prevenir la pérdida de humedad, la superficie de masa expuesta al aire entre los dos platos se cubre con

aceite de vaselina Panreac (Panreac Química SA, Castellar del Vallés, España). La masa se deja reposar durante unos 300 segundos antes de iniciar la medida.

Se realizó en primer lugar un barrido de esfuerzos a 25°C de 0,1 a 100 Pa a una frecuencia de 1Hz para determinar la región viscoelástica lineal de todas las muestras. Una vez definida, se eligió un valor de esfuerzo incluido en dicha zona que fue utilizado en el barrido de frecuencias. Posteriormente se realizó un barrido de frecuencias a 25°C de 15 a 0,01 Hz, en la región determinada como viscoelástica lineal. En éstos ensayos, se obtuvieron los valores de módulo elástico, G' [Pa], viscoso, G'' [Pa] y tangente δ , (G''/G') para distintos valores de frecuencia, ω [Hz] (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003).

Las muestras fueron analizadas por duplicado y en ausencia de levadura. Una vez obtenidos los valores de los módulos en las masas a humedad constante, se tomó como valor de referencia G' de la muestra control, de tal manera que en las panificaciones a consistencia constante se añadió la cantidad correspondiente de agua en cada masa hasta que el valor de G' coincidía con el valor de G' de la muestra control.

2.2.9. Desarrollo de masas y producción de gas

Se utilizó un Reofermentómetro (Chopin, Tripette and Renaud, Francia) para analizar la altura de la masa, la producción y liberación de gas en función del tiempo de fermentación de acuerdo según el método descrito por Czuchajowska & Pomeranz, (1993). Sin embargo, hemos adaptado el método a panes sin gluten, colocando en el recipiente solamente 200g de masa, retirando los 2kg de pesas del pistón, añadiendo un 3% de levadura y fermentando a 30°C.

2.2.10. Elaboración del pan

Para la fabricación de pan a humedad constante se utilizaron los siguientes ingredientes (g/100g en base harina): agua (70g/100g), levadura seca instantánea (3g/100g), sal (1.8g/100g), aceite (6g/100g), HPMC (2g/100g) y azúcar (5g/100g). En los panes a consistencia constante se regulaba la cantidad de agua a añadir a cada muestra en función de los valores de G' obtenidos en el reómetro. Se iba añadiendo agua hasta que ese valor de G' coincidía con el valor de G' de la muestra control.

La temperatura del agua añadida fue en todos ensayos constante en un rango de 20 a 22°C. La harina de arroz fue sustituida por harina extruída a un nivel de 10g por cada 100g de harina. También se elaboraron panes sin sustitución de harina de arroz por harina extruída (muestra control). Después de mezclar todos los ingredientes durante

8 minutos, usando una batidora kitchen Aid 5KPM50 (Kitchen Aid, Michigan, Estados Unidos), las masas de pan se dividieron en porciones de 250 gramos y se colocaron en moldes de aluminio de 232mm de largo y 108mm de ancho modelo 151090 (ALU-Schale, Wiklarn, Alemania) para fermentar a 30°C y 75% de HR durante 90 minutos en una fermentadora FC-K (Salva, Lezo, España). Tras la fermentación se hornearon en un horno eléctrico modular (Salva, Lezo, España) durante 40 minutos a 190 °C. Las piezas se desmoldaron tras un reposo de 60 minutos, y se pesaron. El resto de medidas se realizaron a las 24 horas. Para ello se introdujeron las piezas en bolsas de polietileno y se almacenaron a 20°C hasta sus análisis. Todas las elaboraciones se realizaron por duplicado.

2.2.11. Calidad de los panes

El volumen del pan fue determinado utilizando un analizador de volumen BVM-L 370 (TexVol Instruments, Viken, Sweden). La medida del volumen se realizó por duplicado, a dos panes de cada elaboración.

La textura de la miga fue medida por un TA-XT2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software "Texture Expert". Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro en un ensayo de doble compresión "Texture Profile Analysis" (TPA) para penetrar 50% de profundidad, a 2mm/s de velocidad con un retardo de 30 segundos entre la primera y segunda compresión. Se calcularon la firmeza, la cohesividad y la elasticidad a partir del gráfico TPA (Gómez, et al., 2007). Las determinaciones texturales fueron realizadas en rebanadas de 30 mm de diámetro de espesor a 1, 24 y 72 horas después de la elaboración. Se realizaron los análisis en la parte central de dos rebanadas de dos panes (2x2) para cada tipo de elaboración.

El color fue medido por el mismo equipo usado en la medición del color de las harinas y en las mismas condiciones. El color de la corteza fue medido en dos puntos diferentes de dos panes de cada muestra (2x2). El color de la miga se realizó a 2 rebanadas de cada pan, midiendo dos panes por cada muestra (2x2). Cada medida en todos los casos estaba integrada por una conjunción de 5 datos proporcionados por el equipo. Todos los ensayos se realizaron por duplicado.

2.2.12. Análisis estadístico

Antes de realizar cualquier tratamiento estadístico se ha verificado de manera objetiva la normalidad de los datos mediante el test de bondad de ajuste específico de la

normalidad Shapiro-Wilks donde se comprueba como todos los datos de interés siguen una distribución normal.

Todos los datos fueron presentados como valores medios y analizados por un análisis de la varianza paramétrico unidireccional (ANOVA) utilizando el test LSD de Fisher ($p < 0.05$). Para comparar los resultados y mejorar la visualización de la influencia de las harinas extrusionadas en las características tecnológicas de los panes sin gluten, se realizó un Análisis de Componentes principales (PCA). Para ello se utilizó Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA).

Para representar gráficamente los valores de la dureza a lo largo del tiempo se ha realizado un análisis de la varianza considerando el tiempo como un factor de medidas repetidas utilizando un test LSD de Fisher ($p < 0.05$). Para ello se ha utilizado el software Statistica 6 (Statsoft Inc, Tulsa, USA).

3. Resultados y discusión

3.1. Microscopía electrónica de harinas

En la figura 2 se observa la microestructura de las diferentes harinas utilizadas en este estudio. Se observa que las partículas de harina de arroz sin tratar (a) están formadas por gránulos de almidón compuestos unidos mediante una estructura proteica de forma compacta. Por el contrario en la harina con mayor tratamiento (d) los gránulos de almidón han perdido su integridad, se ha formado una pasta, y en las partículas resultantes no se observan distintos componentes de manera diferenciada. En las harinas con menor tratamiento se observan estructuras intermedias, y mientras en la harina 1 (b) destaca la existencia de gránulos de almidón hinchados, paso previo a la gelatinización, en la 2 (c) ya se aprecia una mayor fusión entre los distintos componentes del grano.

Nuestras observaciones coinciden con lo percibido por Yeh, et al., (1999), y por Chao-Chi Chuang & Yeh, (2003) que estudiaron los cambios morfológicos del almidón de harina de arroz en la extrusión en caliente. Yeh, et al., (1999) comprobaron como la harina de arroz sin tratar tenía una forma pulverulenta, y cómo los gránulos de almidón se iban hinchando a medida que avanzaban por la zona fría del extrusor, pero sin perder esa forma pulverulenta. Cuando la harina llegaba a la zona de calentamiento del extrusor, los gránulos de almidón comenzaban a fundirse hasta formar una matriz continua. Sin embargo, estos autores obtenían las muestras de partes intermedias del tratamiento y sin molturar. Nuestras muestras sin embargo fueron obtenidas al final del tratamiento, y después de sufrir un proceso de secado, molturación y tamizado. Por su parte Chao-Chi Chuang & Yeh, (2003) verificaron que

la gelatinización del almidón aumenta con la temperatura y el tiempo de tratamiento. Gill et al., (2002) explicaron estos cambios morfológicos por la lixiviación de la amilosa al romperse los gránulos de almidón (gelatinización) y su posterior aglomeración durante el enfriamiento (retrogradación).

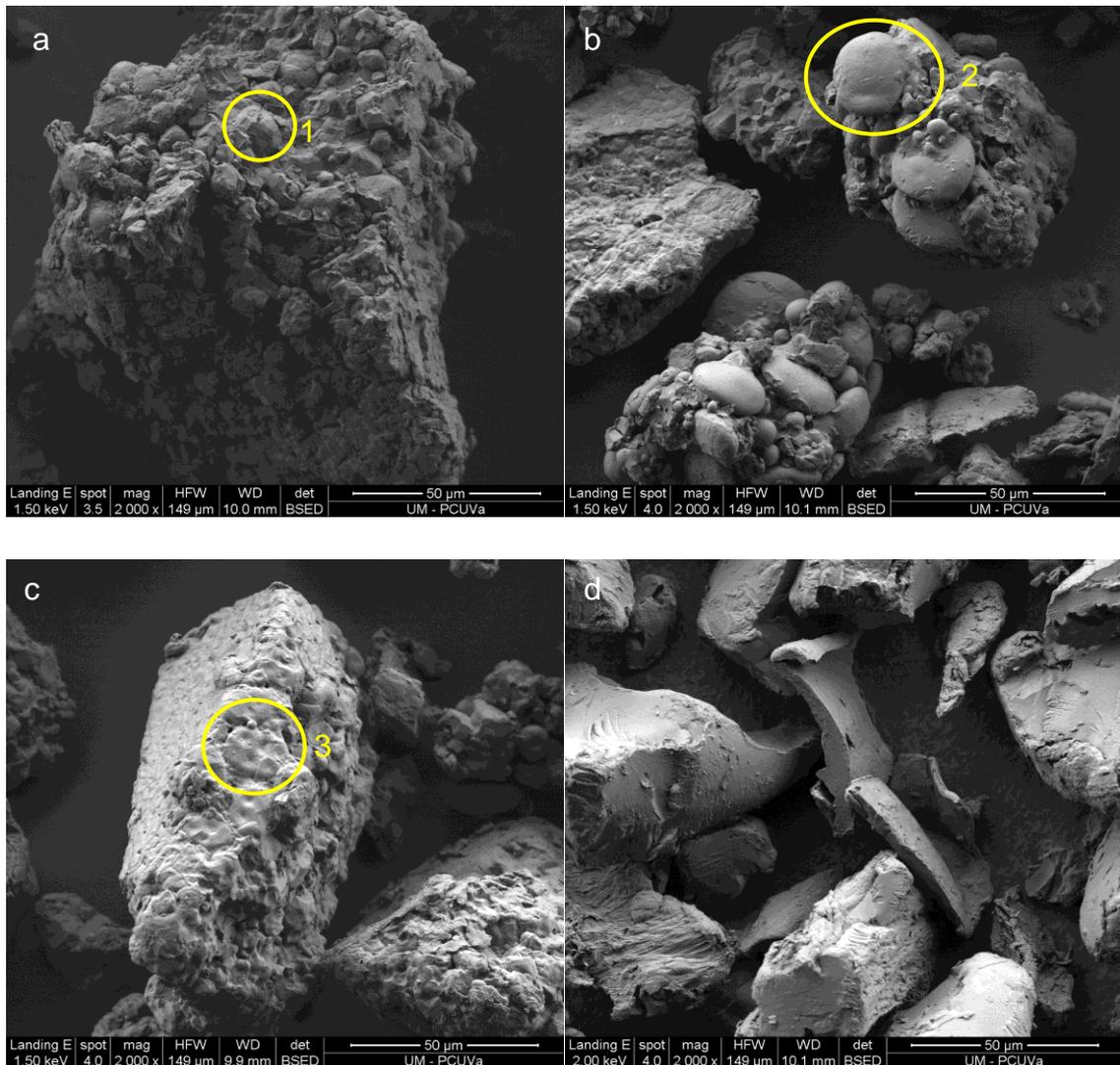


Figura 2: Micrografías de escaneado electrónico (2000x) (ESEM) (análisis realizado por triplicado y posterior selección de micrografías más representativas) de harinas extrusionadas con diferentes tratamientos térmicos y muestra control. a) Muestra control sin tratar, b) Harina extrusionada 1f, c) Harina extrusionada 2f, d) Harina extrusionada 3f. 1) Gránulo de almidón compuesto. 2) Gránulo de almidón hinchado. 3) Gránulos de almidón gelatinizados.

3.2. Comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento

En la tabla 3 se observan los parámetros analizados con el RVA, tanto de la harina de arroz sin tratar, como de esta con una sustitución del 10% por harinas extrusionadas. Se aprecia que a medida que aumenta la intensidad del tratamiento de extrusión

disminuye la PV, BR, TR, ST Y FV, y no se aprecian diferencias significativas entre las dos granulometrías estudiadas. Por tanto a medida que se incrementa la intensidad disminuye la viscosidad de la pasta en todo el ciclo de calentamiento y enfriamiento. No obstante no se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos más suaves (1 y 2). Se sabe que los cambios en las propiedades fisicoquímicas del almidón en la extrusión ocurren a consecuencia de los cambios morfológicos y el grado de gelatinización de los gránulos de almidón (Camire , et al., 1990; Yeh & Li, 1996). También se sabe que la viscosidad de la pasta depende en gran medida del grado de gelatinización de los gránulos de almidón y del grado de rotura de las cadenas moleculares (El-Dash et al., 1983). Estudios previos asociaron altos valores de PV con una alta proporción de almidón sin gelatinizar, mientras que los menores valores de PV indicaron una proporción de almidón gelatinizado que es atribuible a la variación del grado de despolimerización y enredo molecular resultante de las condiciones de procesado (Barres et al., 1990; McPherson et al., 2000). Así el descenso del PV, BR y TR conforme aumenta la intensidad de tratamiento térmico, ya observado por Hagenimana et al., (2006), podrían reflejar una degradación y gelatinización del almidón, y los altos valores de estos parámetros en la harina de arroz sin tratar se deberían a la existencia de almidón sin gelatinizar presente en las harinas. Estas modificaciones en los almidones y en las partículas de harina ya se han comprobado mediante las imágenes de microscopía, siendo las harinas de mayor intensidad de tratamiento (3) las que presentan una mayor cantidad de almidón gelatinizado.

Tabla 3: Comportamiento viscoso de harina de arroz sin tratar con un 10% de sustitución de harinas tratadas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento

| Harina | PV (cp) | BR (cp) | TR (cp) | ST (cp) | FV (cp) |
|---------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 3f | 3793 a | 1296,5 a | 2496,5 a | 2510 b | 5006,5 a |
| 3g | 3913 a | 1224,5 a | 2688,5 a, b | 2306 a | 4994,5 a |
| 2f | 4596,5 b | 1759 b, c | 2837,5 b | 2773 c, d | 5610,5 b |
| 2g | 4571,5 b | 1690,5 b, c | 2881 b | 2656,5 b, c | 5537,5 b |
| 1f | 4444,5 b | 1663,5 b | 2781 a, b | 2777,5 c, d | 5558,5 b |
| 1g | 4682 b | 1706,5 b, c | 2975,5 b, c | 2706 c | 5681,5 b |
| Control | 5175 c | 1947 c | 3228 c | 2925,5 d | 6153,5 c |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de muestra

-PV = Pasting temperature; BR = Breakdown; TR = Trough; ST = Setback; FV = Final viscosity

La reducción de los valores de FV y de ST en las harinas extruídas ya fue observada por Doublier et al., (1986) y por Mercier & Feillet, (1975). Estos valores indican la magnitud de la retrogradación del almidón ocurrida posteriormente al proceso de calentamiento. Cuando los geles calientes son enfriados, el incremento de la viscosidad es gobernado por la tendencia a la reasociación del almidón. Las harinas de arroz extruídas con tratamientos más livianos tienen mayores valores de FV que las mismas extruídas con tratamientos más fuertes.

Aunque parece que la gelatinización del almidón es la principal responsable de los cambios en la curva RVA, otros autores también observaron una modificación en el porcentaje de amilosa/amilopectina en los tratamientos de extrusión de harinas de maíz (Chinnaswamy & Hannah, 1990) y trigo (Colonna, et al., 1984). Estos autores afirman que en la extrusión se produce una fragmentación de las cadenas de amilosa y amilopectina, siendo más intensa en esta última, lo que modificaría el comportamiento de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

3.3. Reología de masas y producción de gas

3.3.1. Reología dinámica de masas.

En la tabla 4 se observan las propiedades reológicas de las masas de pan sin gluten a humedad constante, y la cantidad de agua necesaria para realizar las panificaciones a consistencia constante ($G' = 15000 \pm 10\%$). Se observa una clara tendencia al aumento de los valores G' y G'' , y a la disminución de $\tan \delta$ en presencia de harinas extruídas. Este efecto es más marcado cuando se adicionan harinas tipo 2 y 3, siendo las tipo 2 las que mayores valores de G' y menores de $\tan \delta$ alcanzan. Por otro lado, no se aprecian diferencias claras en función de la granulometría de las harinas extruídas. Por tanto a medida que se incrementa la intensidad de los tratamientos de extrusión las masas son más consistentes y elásticas, y este efecto es mayor con las harinas de tratamiento 2. En todos los casos los valores de G' fueron mayores a los valores de G'' , indicando un comportamiento similar al de un sólido.

En cuanto a la dependencia de la frecuencia de oscilación de estos valores, de la cual nos dan idea los parámetros a, b y c, no se observan diferencias significativas entre las masas elaboradas con la harina control y con adición de la harina 1, pero si entre estas y las elaboradas con adición de harinas 2 y 3. G' y G'' se vuelven menos dependientes (menores valores de a y b) de la frecuencia de oscilación a medida que aumenta la intensidad del tratamiento hidrotérmico, mientras que $\tan \delta$ se vuelve mas

dependiente (mayor valor de c). En ningún caso se aprecian diferencias significativas con respecto a los tamaños de partícula.

Tabla 4: Propiedades Reológicas de las masas con diferentes tipos de harinas extrusionadas

| Harina | G' | a | G'' | b | tag δ | c | % Hidratación |
|---------|-----------|----------|----------|------------|----------|---------------|---------------|
| 3f | 37957 c | 0,1785 a | 11489 c | 0,1730 a,b | 0,3015 a | -0,0022 d | 76,67 d |
| 3g | 35297 c | 0,1815 a | 10815 c | 0,1615 a,b | 0,3060 a | -0,0177 c,d | 74,55 c |
| 2f | 39531 c,d | 0,2085 a | 14005 d | 0,1715 a,b | 0,3540 c | -0,0353 b,c,d | 74,86 c |
| 2g | 44336 d | 0,1940 a | 14516 d | 0,1490 a | 0,3270 b | -0,0447 a,b,c | 78,92 e |
| 1f | 21123 b | 0,2505 b | 8937 b | 0,1930 b,c | 0,4225 d | -0,0584 a,b | 72,98 b |
| 1g | 23138 b | 0,2555 b | 9838 b,c | 0,2195 c | 0,4240 d | -0,0763 a | 73,36 b |
| Control | 14055 a | 0,2455 b | 6459 a | 0,2175 c | 0,4580 e | -0,0590 a,b | 70 a |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

Chao-Chi-Chuang & Yeh (2002) usando tratamiento de extrusión y Kim, et al., (2009) usando cocción mediante chorro de vapor, comprobaron como el contenido de humedad del tratamiento hidrotérmico es clave en la influencia de los valores de G', G'' y tag δ. En concreto Chao-Chi-Chuang & Yeh (2002) apreciaron mayores valores de G' y G'' con tratamientos con menos humedad, observación no coincidente con la nuestra. Sin embargo, estos autores sometieron a las harinas a unas condiciones de extrusión con unos contenidos de humedad mucho mayores (entre 45 y 55%) que las usadas en nuestro estudio, unas temperaturas de extrusión menores (20-100°C) y utilizaron variedades de arroz waxy como materia prima. Estos autores por otra parte comprobaron como un aumento de la energía mecánica específica aplicada en la extrusión provocaba un aumento de los valores de G' y G'' y una disminución de tag δ. Y se sabe que un aumento en el consumo de energía mecánica generalmente implica muestras extrudidas con mayor grado de cocción (González, et al., 2000). Y en nuestro caso las harinas que presentan menores viscosidades en las curvas RVA, y por tanto mayor grado de cocción, también son las que obtienen mayores valores de G' y G''.

Estos cambios en la reología pueden ser debidos a los cambios que experimenta el almidón durante el tratamiento, ya que Shim & Mulvaney (1999) verificaron como el balance entre el contenido de los gránulos de almidón intactos y los gelatinizados o dañados afecta a los valores de G'. De hecho ya se ha comentado el mayor grado de almidón pregelatinizado de las harinas extruídas, y según Slade & Levine (1994), este mayor grado de gelatinización provoca una mayor capacidad de absorción de agua en las masas, lo que coincide con nuestras observaciones (ver tabla 2). Estos cambios

reológicos también pueden estar relacionados con la estructura interna de las masas, que se observa en la figura 3. En las dos masas estudiadas (control y con harina 3g) se adivina una estructura compuesta por grandes partículas de harina recubiertas por pequeños gránulos de almidón simple, compactada por una matriz formada por agua, hidrocoloides y sustancias en disolución. Sin embargo en el caso de la masa con harina 3g, la cantidad de gránulos de almidón simple es menor, lo que coincide con lo observado en la microestructura de las harinas extruídas, en las que se aprecia que los gránulos de almidón habían perdido su integridad. De hecho los gránulos de almidón que se observan deben corresponder a los de la harina no tratada utilizada en el ensayo. Por tanto se puede pensar que estas harinas se mezclan con la malla formada por el agua y el hidrocoloide, modificando sus propiedades viscoelásticas. También se observa una mayor cantidad de gránulos de almidón dañado en la muestra con harina 3g, como se aprecia en la figuras 2 y 3 (gránulos de almidón con rotura en forma de pequeños agujeros). Esta observación concuerda con la existencia de mayores valores de SRC carbonato sódico de las harinas extrusionadas, ya que este valor está relacionado con una mayor cantidad de almidón dañado o gelatinizado (Slade & Levine, 1994) y explicaría los cambios reológicos debido al mayor poder de hidratación de las masas, ya que se sabe que el almidón dañado tiene mayor poder de absorción de agua (Caballero, 1997; Tipples, 1969).

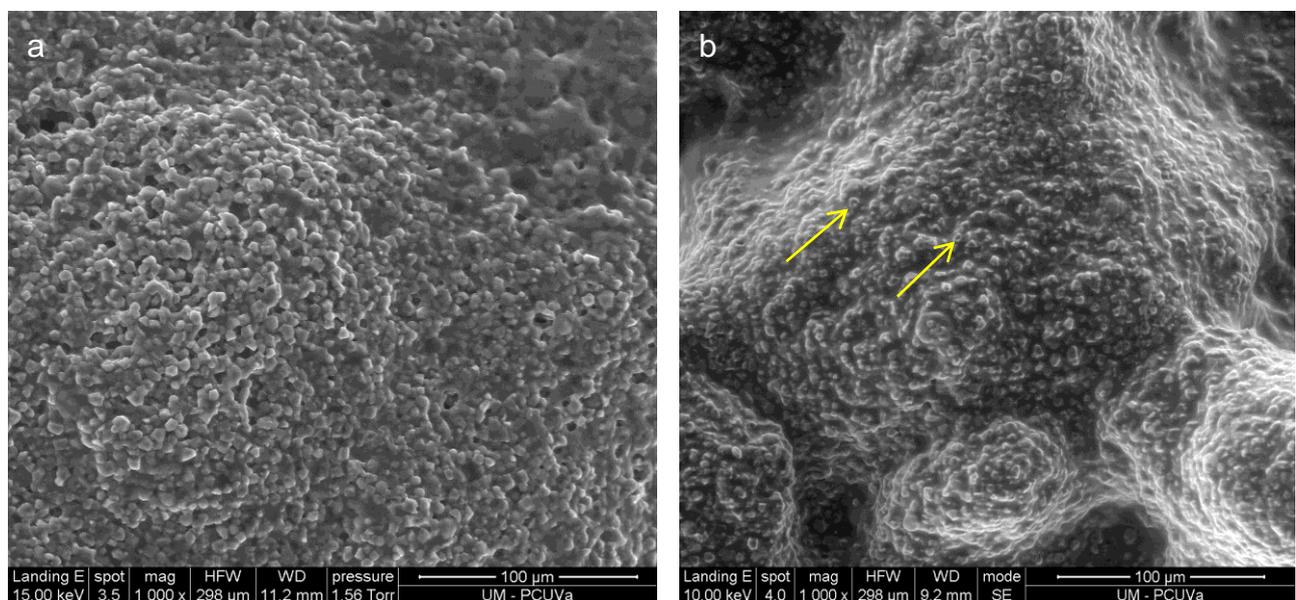


Figura 3: Micrografías de escaneado electrónico (1000x) (SEM) (análisis realizado por triplicado y posterior selección de micrografías más representativas) de masas elaboradas con harinas de arroz sin tratar y con tratamiento de extrusión. a) tratamiento 3g, b) Muestra control. Las flechas señalan gránulos de almidón dañado.

En la tabla 4 también se observa que la adición de harinas extrusionadas incrementa la cantidad de agua necesaria para obtener una masa de consistencia constante, y por

tanto puede incrementar el rendimiento panadero. Este incremento es mayor en el caso de las harinas tipo 2 y 3 (con mayor intensidad de extrusión) frente a las harinas tipo 1. Este hecho se explica por el mayor daño causado a los gránulos de almidón y a la mayor gelatinización de estos en los procesos de extrusión a medida que se incrementan las condiciones de tratamiento (temperatura y humedad) (Mercier and Feillet, 1975). Sin embargo no se aprecia una diferencia clara entre el tipo 2 y el 3, ni entre las distintas granulometrías.

3.3.2. Desarrollos de las masas y producción de gas.

En la figura 4a, se observan las curvas de desarrollo de las masas estudiadas a humedad constante. Se comprueba como las harinas sin tratar ofrecen masas que alcanzan mayores desarrollos, con grandes diferencias respecto al resto de masas estudiadas. Sin embargo estas diferencias en el desarrollo de la masa no se producen hasta un punto de la fermentación situado sobre los 90 minutos, y se van incrementando a medida que avanza la fermentación. Entre las masas con harinas extrusionadas las diferencias no son tan claras, pero las masas con harinas tipo 3, aunque alcanzan una menor altura máxima, son más estables frente a un exceso de fermentación. Destaca el hecho de que la masa con menor desarrollo sea la que incorpora harina tipo 3 fina. Las masas con mayor estabilidad son las que presentan unos menores valores de tag δ , con lo que son masas más consistentes y elásticas. Esto puede ser debido a la gelatinización y al daño sufrido por el almidón durante el tratamiento (Shim & Mulvaney 1999), ya que estos cambios provocan una mayor capacidad de absorción de agua de las masas como ya se explicó anteriormente (Slade & Levine 1994).

Los cambios de los desarrollos de las masas durante la fermentación también pueden estar relacionados con la estructura interna de las mismas (figura 3). En el caso de la masa elaborada con harina tipo 3g (masa con mayor estabilidad a un exceso de fermentación), la cantidad de gránulos de almidón simple es menor, lo que coincide con lo observado en la microestructura de las harinas extruídas, en las que se aprecia que los gránulos de almidón habían perdido su integridad. Por tanto se puede pensar que estas harinas se mezclan con la malla formada por el agua y el hidocoloide, modificando sus desarrollos durante la fermentación. También se observa una mayor cantidad de gránulos de almidón dañado en la muestra con harina 3g, como se aprecia en la figuras 2 y 3 (gránulos de almidón con rotura en forma de pequeños agujeros).

En la figura 4b, se muestran las curvas de desarrollo de las masas durante la fermentación a consistencia constante. Al igual que ocurría en las curvas a humedad constante, se observa unos mayores desarrollos con las harinas sin tratar, pero estos

solo son apreciables a partir de un determinado momento de la fermentación (en torno al minuto 90). Destaca el escaso desarrollo en todo el periodo de fermentación de las masas con harina 1f. Entre el resto de masas con harina extruída las diferencias son escasas, pero se aprecia que las masas con harinas tipo 3 son algo más estables con el exceso de fermentación, y que los mayores desarrollos se consiguen con las harinas 1 y 2 gruesas, aunque en ambos casos un exceso de fermentación les afecta muy negativamente.

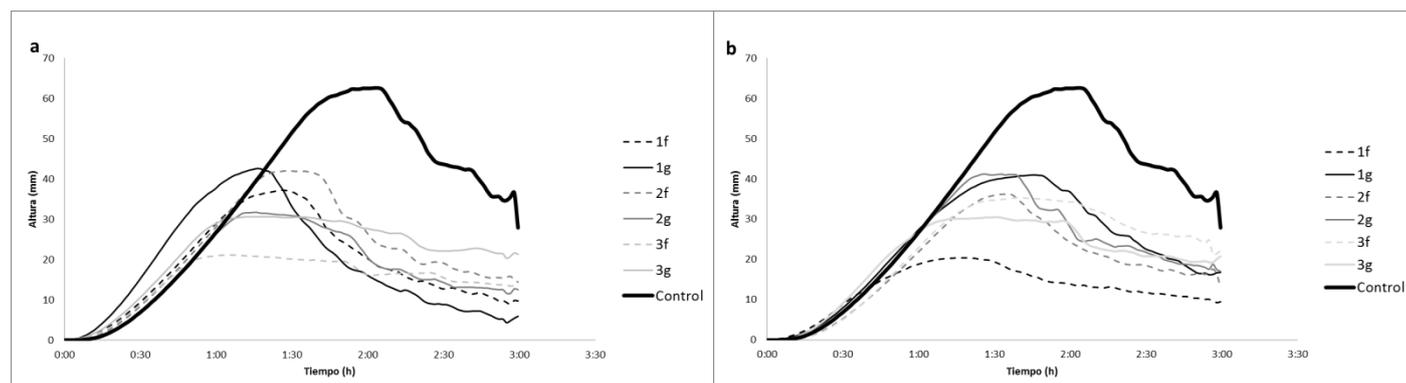


Figura 4: Altura de la masa durante el proceso fermentativo. a) Masas elaboradas a humedad constante, b) Masas elaboradas a consistencia constante

En cuanto a las curvas de producción de gas (datos no mostrados), se comprueba que todas líneas siguen la misma tendencia y adoptan valores similares. Esto es indicativo de que el proceso fermentativo se ha llevado a cabo de la forma adecuada, y similar en todos los casos, por las levaduras.

3.4. Propiedades del pan

3.4.1. Volumen específico y pérdida de peso

En la tabla 5, se muestra el volumen específico de los panes elaborados a humedad adaptada y a consistencia constante. Se comprueba un menor volumen específico de los panes con humedad constante con el uso de harinas extrusionadas, a excepción de los panes con harina 1g. Además se aprecia una clara tendencia a disminuir este valor a medida que utilizamos harinas con mayor intensidad de tratamiento de extrusión. En cuanto a la granulometría, los panes elaborados con harinas extrusionadas gruesas presentan mayores volúmenes específicos que los elaborados con finas, pero esta diferencia solo es significativa en el caso de las tipo 1.

En cuanto a los panes a consistencia constante también se observa un menor volumen específico cuando se añaden harinas extrusionadas, a excepción de la harina 1g, que presenta el mismo volumen específico que el control. Sin embargo en este

caso los volúmenes específicos de los panes con harinas extrusionadas tienden a igualarse. Solo destacan las harinas gruesas tipos 1 y 2, que presentan mayores volúmenes específicos que el resto.

No se encontraron diferencias en la pérdida de peso de las piezas durante el horneado, tanto en panes a consistencia constante como a humedad constante (datos no mostrados).

En estudios previos se observó como las harinas extrusionadas de arroz, tanto acidificadas (Clerici et al., 2009) como sin acidificar (Clerici and El-Dash, 2006) podían mejorar el volumen específico de los panes sin gluten dependiendo de las condiciones de extrusión. Sin embargo, estos autores no utilizaron hidrocoloides en sus elaboraciones, y los volúmenes específicos obtenidos fueron mucho menores que en nuestro caso. Esto puede indicar una cierta interacción entre los hidrocoloides utilizados y las harinas extruídas o sus componentes. Por su parte Sanchez, et al., (2008), panificaron con harinas de arroz waxy extruídas, y comprobaron, a diferencia de nuestro estudio, un aumento del volumen específico con las harinas con tratamientos de extrusión más intensos. Sin embargo, hay que señalar la gran diferencia de niveles de humedad de unos panes a otros en el estudio de estos autores, ya que elaboraron los panes a consistencia constante basándose en un penetrómetro. Estos autores, a diferencia de nuestro caso, utilizaron un gran porcentaje de almidón en su formulación y explicaron que ese aumento de volumen se debía al aumento de la cantidad de sólidos solubles, ya que aumentaban la consistencia de la fase acuosa de la mezcla, mejorando las características viscoelásticas de la misma. Esto coincide con un estudio de Lazaridou, et al. (2007) quienes, trabajando con polisacáridos modificados tales como carboximetilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa y metilcelulosa, encontraron una mejora en la retención de agua a causa de su naturaleza hidrofílica. Como también poseen grupos hidrofóbicos que inducen a propiedades adicionales del sistema, se produce un aumento en la actividad interfacial dentro de la masa durante la fermentación y la formación de una red tipo gel durante la cocción. Esta estructura permite aumentar la viscosidad y proporcionar mayor resistencia a los alvéolos para aumentar la retención gaseosa en el horneado y consecuentemente obtener un mayor volumen de pan. Por otra parte, debido probablemente a la formación de puentes de hidrógeno, el arroz pregelatinizado ha demostrado ser capaz de formar redes tridimensionales que retienen gases haciendo posible la producción de panes sin gluten (El-Dash, 1991).

Por su parte Defloor, et al., (1991) comprobaron como la incorporación de almidones extrusionados mejoraba el volumen de los panes elaborados con una mezcla de harina de tapioca y de soja. Hay que señalar que estos autores utilizaron unos

elevados niveles de hidratación (145%), y por tanto masas menos consistentes. En este caso los almidones extrusionados incrementan la consistencia de masas muy blandas, al contrario de lo que sucede en nuestro estudio (masas más consistentes y con menor hidratación) y posibilitan esa mejora en el volumen de los panes.

Gallagher et al., (2003) comprobaron que una mayor hidratación de las masas incrementaba el volumen de los panes. Y como se comprueba en nuestro estudio esta hidratación puede modificar los resultados de la inclusión de determinados compuestos que incrementan la consistencia de las masas, como las harinas extruídas. De manera que en masas excesivamente blandas puede ser conveniente un cierto incremento de la consistencia, pero este puede ser negativo en masas más consistentes, con menor hidratación. No obstante este factor por si solo no puede explicar los cambios observados, ya que en los panes a consistencia constante también se ha observado un menor volumen específico.

3.4.2. Ensayo de textura TPA

En la tabla 5 se muestran los parámetros de textura de los panes elaborados a humedad y a consistencia constante. Se señala que no se pudo medir la textura de los panes elaborados a humedad constante con harinas con tratamiento tipo 3 por la escasa altura de los panes.

Tabla 5: Volumen específico y propiedades texturales de los panes elaborados a humedad constante y a consistencia constante.

| Harina | V. específico (m3/kg) | | Firmeza (N) | | Elasticidad | | Cohesividad | |
|---------|-----------------------|----------|-------------|------------|-------------|----------|-------------|----------|
| | Hum. Cte. | C. Cte. | Hum. Cte. | C. Cte. | Hum. Cte. | C. Cte. | Hum. Cte. | C. Cte. |
| 3f | 2,4535 a | 2,8075 a | - | 22,018 e | - | 0,6895 a | - | 0,2445 a |
| 3g | 2,704 a, b | 2,8135 a | - | 21,3705 e | - | 0,7385 a | - | 0,314 a |
| 2f | 3,1625 b, c | 2,987 a | 16,005 c | 13,6755 d | 0,7765 c | 0,706 a | 0,2995 a | 0,2715 a |
| 2g | 3,397 c | 3,637 b | 9,698 b | 6,43 c | 0,769 b,c | 0,6355 a | 0,316 a | 0,307 a |
| 1f | 4,22 d | 3,0415 a | 2,929 a | 4,153 b | 0,6555 a,b | 0,615 a | 0,3555 a | 0,286 a |
| 1g | 4,9635 e | 4,597 c | 1,28 a | 2,431 a, b | 0,6185 a | 0,5905 a | 0,3345 a | 0,2975 a |
| Control | 4,8025 e | 4,8025 c | 1,723 a | 1,723 a | 0,6565 a,b | 0,6565 a | 0,3485 a | 0,3485 a |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los huecos donde hay guiones, implican que no se pudo realizar el análisis por la excesiva carencia de volumen de las piezas

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

No existen diferencias significativas en cuanto a la firmeza entre los panes elaborados a humedad constante con harina sin tratar y los panes elaborados con harinas de tratamiento tipo 1, sin embargo se ve como los panes elaborados con harinas de

tratamiento tipo 2 presentan mayores valores de firmeza. Comprobamos además una influencia del tamaño de partícula en las harinas con tratamiento tipo 2, de tal manera que la harina fina ofrece panes con mayores valores de firmeza. Los panes a consistencia constante presentan una tendencia a aumentar la firmeza conforme se incrementa la intensidad del tratamiento de extrusión de las harinas. Se observan además unos mayores valores de firmeza de los panes con el uso de harinas con tamaños de partícula finos, aunque solo presenten diferencias significativas las harinas con tratamiento tipo 2.

No se han encontrado diferencias significativas en la elasticidad y cohesividad de los panes elaborados con harinas extrusionadas frente al control, ni a humedad ni a consistencia constante, a excepción del caso de los panes elaborados a humedad constante en los que las harinas tipo 2 finas presentan una mayor elasticidad. Un pan de alta calidad con un buen grado de frescura está relacionado con unos altos valores de elasticidad, sin embargo, un pan con bajos valores de elasticidad tiende a desmigajarse cuando se le rebana (McCarthy, et al., 2005). Al igual que en nuestro estudio, Clerici & El-Dash, (2006) obtubieron una mayor firmeza de los panes elaborados con harinas extrusionadas. Maleki, et al., (1980) y Morad & Wakeil, (1976) comprobaron como la retrogradación del almidón estaba fuertemente influenciada por el contenido de humedad del producto. Por ello la reducción de la retrogradación del almidón debido a la presencia de agua extra, provocaría panes más blandos que el resto, de ese modo, comprobamos como los panes elaborados con harinas de tratamiento tipo 2 elaborados a consistencia constante son más blandos que los panes elaborados a humedad constante con harinas de ese mismo tratamiento. También se sabe que la firmeza de los panes está correlacionada con el volumen de los panes (Axford et al., 1968; Gómez et al., 2008) por lo que la explicación de las diferencias de firmeza podría corresponderse con la dada en las diferencias de volumen específico.

En la figura 5 se comprueba la evolución de la dureza a lo largo del tiempo. En cuanto a panes elaborados a humedad constante, se observan unos mayores endurecimientos a lo largo del tiempo (mayores pendientes) de la muestra control y los panes elaborados con harinas finas de tratamientos tipo 1 y 2. Sin embargo, los panes elaborados con harinas gruesas de tratamientos tipo 1 y 2 ofrecen panes con menores endurecimientos entre las 24 y las 72 horas.

En panes elaborados a consistencia constante, se aprecia al igual que en el caso anterior, un mayor endurecimiento de los panes elaborados con harina control y los panes elaborados con harinas finas de los tratamientos tipo 1 y 2. Sin embargo, los panes elaborados con harinas tipo 2g y 1g, presentan los valores más bajos de dureza y unas curvas de endurecimiento con poca pendiente. Los panes elaborados

con harinas de tratamiento tipo 3, presentan unos mayores valores de firmeza, sin embargo, a partir de las 24 horas de elaboración, los valores de dureza se mantienen o incluso descienden, lo que es indicativo de una bajada en la velocidad de endurecimiento.

Los cambios en las propiedades de la miga asociados con el endurecimiento incluyen un incremento en la cristalinidad del almidón, firmeza, pérdida de aroma y un decrecimiento del almidón soluble y la capacidad de hidratación de la miga (D'Appolonia & Morad, 1981).

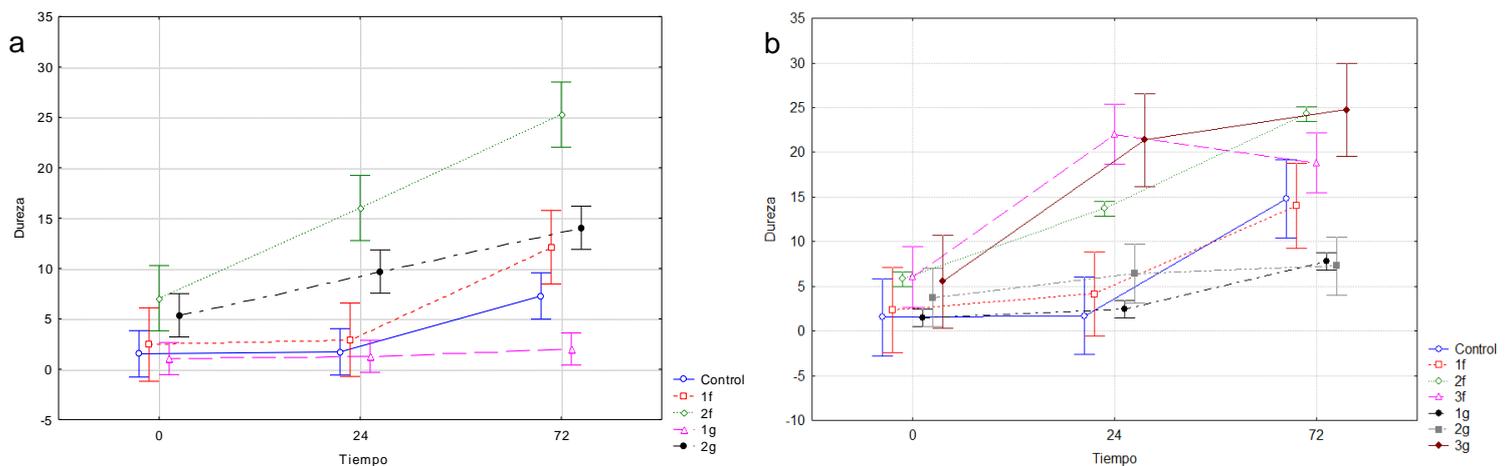


Figura 5: Evolución de la firmeza de los panes a lo largo de tiempo. a) Panes elaborados a humedad constante, b) panes elaborados a consistencia constante.

Rogers, et al., (1988) afirmaron que otra de las causas fundamentales del endurecimiento de los panes es la retrogradación del almidón, y que además se incrementa cuando el contenido de humedad de los panes se incrementa. Como los panes sin gluten tienen altos niveles de humedad, la retrogradación del almidón puede progresar más rápidamente durante el almacenamiento. Las harinas extrusionadas tienen mayor capacidad de retención de agua, por lo que podrían retrasar la migración de agua de la miga a la corteza disminuyendo la velocidad de endurecimiento de los panes. Además el proceso de extrusión puede llegar a fragmentar moléculas de amilopectina (Mercier y Feillet, 1975). De hecho Colonna et al. (1984) demostraron que los almidones de trigo extruidos presentan cadenas de amilosa y amilopectina de menor peso molecular que los obtenidos mediante secado por rodillos, por lo que podría ser otro factor de descenso de la retrogradación, y por consiguiente de descenso de la velocidad de endurecimiento de los panes.

3.4.3. Propiedades de color de la corteza y la miga

Se observa en las tablas 6 y 7 como los panes elaborados tanto a humedad constante como a consistencia constante, presentan una luminosidad de la corteza mayor con el uso de harina control y éste valor va disminuyendo a medida que se utilizan harinas con mayor intensidad de tratamiento de extrusión, es decir, la corteza se hace mas oscura con el uso de harinas extruídas. El tono y la croma de los panes a humedad constante también disminuye a medida que utilizamos harinas extruídas con tratamientos mas intensos, sin embargo, en panes elaborados a consistencia constante no se parecían diferencias significativas. Esto coincide con lo observado por Gill et al (2002), los cuales comprobaron como la corteza de los panes elaborados con harinas con tratamiento de extrusión a alta temperatura y humedad tenía un color más marrón que los panes elaborados con harinas extrusionadas a baja temperatura y humedad. El color de la corteza, zona del pan que supera ampliamente los 100°C, está provocado por las reacciones de Maillard y caramelización de azúcares, y por tanto depende de la distribución del agua y la presencia de azúcares reductores y aminoácidos, y sus tipos (Kent & Evers, 1994; Purlis, 2010). Por tanto los cambios de color observados en este estudio pueden deberse a la modificación de los almidones y proteínas que se produce en el proceso de extrusionado (Camire , et al., 1990). Gallaguer & Gormley, (2002) observaron como el oscurecimiento de la corteza de los panes es deseable en panes sin gluten, los cuales tienden a tener cortezas mas claras que los panes de trigo (Ylimaki, et al., 1988).

Por otro lado, en nuestro estudio, la L* y el tono de la miga de los panes a humedad constante no presentaba diferencias significativas entre los distintos panes estudiados. Sin embargo, si se observaron diferencias en la croma de la miga de estos panes, teniendo menores valores de croma las harinas con alto tratamiento 3 y aumentando éste valor a medida que disminuye el tratamiento térmico. En los panes a consistencia constante no se detectan diferencias significativas en los parámetros de color de la miga. Esto no coincide con lo observado por Gill et al (2002), los cuales comprobaron que existía una disminución de los valores de L* de la miga (miga mas marrón-dorada) de los panes conforme aumentaba la intensidad del tratamiento hidrotérmico aplicado a sus harinas. Ello puede ser debido a que estos autores utilizaron harinas de cebada extruídas, las cuales presentaban gran cantidad de β -glucanos. Además la sustitución de harinas extrusionadas la realizaban sobre harina de trigo. Éstos autores también observaron como el valor de L* estaba mas influenciado por la humedad del tratamiento de extrusión que por la temperatura alcanzada en el mismo.

Tabla 6: Propiedades del color de la corteza de los panes

| | L* | | Tono | | Croma | |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | H. constante | C. Constante | H. constante | C. Constante | H. constante | C. Constante |
| 3f | 56,20 a | 60,61 a, b | 1,01 a | 1,14 a | 28,00 a | 31,81 a |
| 3g | 58,01 a,b | 58,73 a | 1,06 a,b | 1,11 a | 28,59 a,b | 31,81 a |
| 2f | 59,82 b,c | 61,11 a, b | 1,07 a,b | 1,11 a | 30,16 a,b,c | 31,19 a |
| 2g | 60,58 b,c | 62,19 b, c | 1,09 b | 1,22 a | 30,38 a,b,c | 31,77 a |
| 1f | 61,89 c,d | 60,90 a, b | 1,10 b | 1,13 a | 30,97 b,c | 32,18 a |
| 1g | 64,37 d,e | 64,56 c, d | 1,13 b,c | 1,18 a | 31,11 c | 31,40 a |
| Control | 66,96 e | 66,96 d | 1,18 c | 1,18 a | 32,03 c | 28,59 a |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de pan

Tabla 7: Propiedades del color de la miga de los panes

| | L* | | Tono | | Croma | |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | H. constante | C. Constante | H. constante | C. Constante | H. constante | C. Constante |
| 3f | 75,12 a | 74,94 a | (-1,55) a | (-1,54) a | 6,07 a | 8,76 a |
| 3g | 75,13 a | 75,82 a | (-0,01) a | 0,02 a | 6,12 a | 9,87 a |
| 2f | 75,75 a,b | 74,07 a | (-0,01) a | (-0,01) a | 6,97 a,b | 8,87 a |
| 2g | 77,01 a,b | 74,30 a | 0,00 a | (-1,51) a | 8,40 b,c | 8,89 a |
| 1f | 77,39 a,b | 71,49 a | 0,00 a | (-0,02) a | 8,78 b,c | 8,30 a |
| 1g | 77,69 a,b | 71,50 a | 0,01 a | (-1,50) a | 9,85 c | 6,32 a |
| Control | 78,26 b | 77,01 a | 0,01 a | (-1,55) a | 10,08 c | 6,12 a |

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de pan

Por su parte, Clerici & El-Dash, (2006) comprobaron como los panes elaborados con harinas extruídas a 150°C con una humedad del 20% en el tratamiento y una adición de 0.07-0.8 mol.L⁻¹ de ácido cítrico, tenían unos menores valores de L* de la corteza que el resto de los panes y además no encontraron diferencias significativas en los valores de a* y b*. Sin embargo, estos autores no utilizaron hidrocoloide en sus formulaciones y además utilizaron ácido cítrico. Posteriormente, Clerici, et al., (2009) obtubieron unos panes sin gluten con harina de arroz con el color de la miga similares a los panes alaborados con harina de trigo por Ylimaki, et al., (1988), sin embargo, esta coincidencia no se da con nuestros valores de color de la miga pudiendo ser debido a que estos autores usaron también ácidos orgánicos en sus formulaciones y no usaron hidrocoloide.

En general el color de la miga está relacionado con el color de las harinas ya que en el interior de la pieza no se superan los 100°C (Gómez, et al., 2011).

3.5. Análisis de componentes principales

Se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA) para apreciar las posibles relaciones entre los parámetros de los panes a humedad y consistencia constante, los parámetros de las harinas y los parámetros de las masas (figura 6).

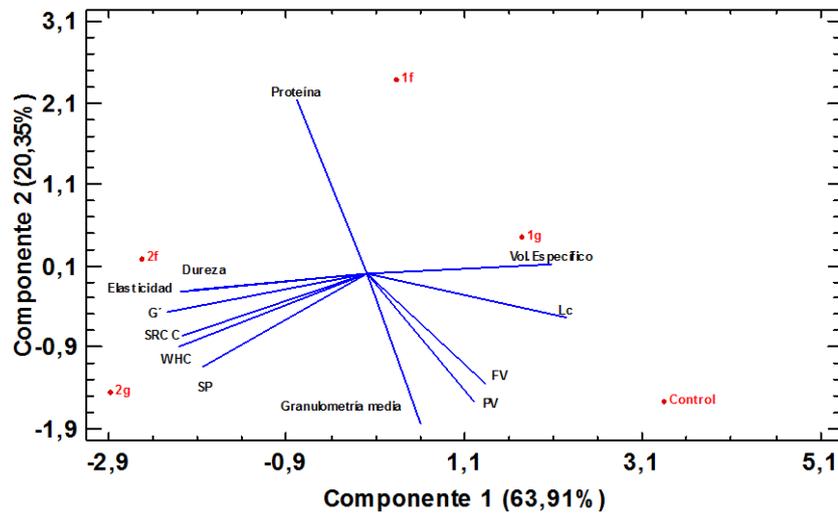


Figura 6: Análisis de componentes principales de las propiedades de las harinas, las masas y las características tecnológicas de los panes sin gluten elaborados a humedad constante. Lc (Luminosidad de la corteza), FV (Viscosidad final), PV (Viscosidad máxima), SP (Poder de hinchamiento), WHC (Capacidad de absorción de agua), SRCC (capacidad de retención de carbonato sódico), G' (módulo elástico).

Se aprecian tres componentes principales con diferencias significativas entre panes a humedad constante ($p < 0.05$) los cuales representaron el 96.09% de la variabilidad de los datos originales (datos no mostrados). Los componentes principales 1 y 2 describen el 63.91 y el 20.35% de la variación de los datos respectivamente. Como ya se indicó anteriormente, se comprueba como el volumen específico está correlacionado inversamente con la dureza y elasticidad de los panes. El contenido proteico está relacionado inversamente con la PV y la FV. Esto coincide con lo observado por Fitzgerald, et al., (2003) que comprobaron como una harina de arroz con la proteína eliminada mediante un proceso enzimático daba menores valores de PV y FV que las harinas con la proteína intacta.

La SRCC, la WHC y el SP están correlacionadas positivamente debido a que la disolución al 5% de carbonato sódico contiene una importante fracción de agua, y esto provoca una elevación de WHC si se incrementa la SRC (Kweon, et al., 2011). El gránulo de almidón al retener más agua se hincha, elevando su SP, lo que explica la alta correlación entre estos valores. Como ya se explicó, los mayores valores de WHC indican que la harina tiene mayor capacidad de retener agua, aumentando el nivel de

hidratación de las masas y afectando a los valores de G' , de tal manera que harinas con mayor WHC ofrecen masas con mayor comportamiento de sólido elástico. Además estas masas originarán panes mas elásticos y duros como podemos apreciar en esa relación directa existente entre la dureza, elasticidad y G' . En definitiva, se comprueba como el tratamiento de extrusión provoca unas harinas con altos niveles de WHC, SRCC, SP que originarán masas con mayores valores de G' que a su vez formarán panes mas duros y elásticos, a pesar de que en este parámetro apenas se han observado diferencias significativas, con menores volúmenes específicos y mas oscuros. En el PCA de los panes elaborados a consistencia constante se observan las mismas tendencias que en el PCA de los panes a humedad constante (datos no mostrados).

4. Conclusiones

El uso de harinas extrusionadas en la elaboración de panes sin gluten constituye una interesante alternativa para mejorar la calidad de los mismos. Se ha comprobado como la incorporación de harinas extruídas con altas intensidades de tratamiento generan masas con mayor módulo elástico y consistencia, siendo necesaria una mayor cantidad de agua para alcanzar una consistencia constante. Por tanto aumenta el rendimiento panario de las elaboraciones. Por otro lado se comprueba un menor desarrollo de las masas elaboradas con harinas extrusionadas, pero una mayor estabilidad de las mismas frente a un exceso de fermentación. En general la adición de harinas extrusionadas reduce el volumen específico de los panes e incrementa su dureza, pero estos efectos se minimizan con el uso de las fracciones más gruesas, las cuales también reducen el endurecimiento de los panes con el tiempo.

En trabajos futuros se debería de profundizar sobre el efecto de estas harinas sobre la aceptabilidad de estos panes y su influencia en panes con mayores hidrataciones.

5. Bibliografía

- AACCC. (2012). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, methods 46-30.01 (proteína), 61-02.01 (RVA), 88-04 (WHC), 56-11 (SRC) (11th ed.). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Alsaffar, A. (2011). Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products - A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 455-462.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, 21, 106-113.
- Araki, E., Ikeda, T., Ashida, K., Takata, K., Yamaka, M., & Iida, S. (2009). Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten. *Food Science and Technology*, 15, 439-448.

- Arendt, E., O'Brien, C., Schober, T., Gallagher, E., & Gormley, T. (2002). Development of gluten free cereal products. *Farm and Food*, 12, 21-27.
- Atwell, W., Hood, L., Lineback, D., Varriano Marston, E., & Zobel, H. (1988). The terminology and methodology associated and basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33, 306-308, 310-311.
- Barres, C., Verges, B., Tayeb, J., & Della Valle, G. (1990). Transformation of wheat flour by extrusion cooking. Influence of screw configuration and operating conditions. *Cereal Chemistry*, 67, 427-433.
- Caballero, A. (1997). Efectos del almidón dañado sobre las propiedades amilográficas de trigos vítreos de primavera. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 9, 45-52.
- Camire, M., Camire, A., & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29, 35-57.
- Chao-Chi Chuang, G., & Yeh, A. (2003). Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. *Journal of Food Engineering*, 63, 21-31.
- Chao-Chi-Chuang, G., & Yeh, A. (2002). Effects of product temperature and moisture content on viscoelastic properties of glutinous rice extrudate. *Cereal Chemistry*, 79, 36-40.
- Chinnaswamy, R., & Hannah, M. (1990). Macromolecular and functional properties of native and extruded corn starch. *Cereal Chemistry*, 67, 490-499.
- Chiu, C., & Solarek, D. (2009). Modification of starch. En J. BeMiller, & R. Whistler (Eds.), *Starch. Chemistry and Technology* (pp. 629-656). Nueva York. EEUU: Academic Press.
- Clerici, M., & El-Dash, A. (2006). Extruder rice flour as a gluten substitute in the production of rice bread. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 56, 288-294.
- Clerici, M., Arioldi, C., & El-Dash, A. (2009). Production of acidic extruder rice flour and its influence on the qualities of gluten free bread. *Food Science and Technology*, 42, 618-623.
- Colonna, P., Doublier, J., Melcion, J., Monredon, F., & Mercier, C. (1984). Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry*, 61, 538-543.
- Curic, D., Novotni, D., Bauman, I., Kricka, T., & Dugum, J. (2009). Optimization of extrusion cooking of cornmeal as raw material for bakery products. *Journal of Food engineering process*, 32, 294-317.
- Czuchajowska, Z., & Pomeranz, Y. (1993). Gas-formation and gas retention 1. The system and methodology. *Cereal Foods World*, 38, 499-503.
- D'Appolonia, L., & Morad, M. (1981). Bread staling. *Cereal Chemistry*, 58, 186-190.
- Defloor, I., De Geest, C., Schellekens, M., Martens, A., & Delcour, J. (1991). Emulsifiers and/or extruded starch in the productions of breads from cassava. *Cereal Chemistry*, 68, 323-327.
- Dobraszczyk, B., & Morgenstern, M. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229-245.
- Doublier, J., Colonna, P., & Mercier, C. (1986). Extrusion cooking and drum drying of wheat-starch 2. Rheological characterization of starch pastes. *Cereal Chemistry*, 63, 240-246.
- El-Dash, A. (1991). Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. En *Proceedings of the first Brazilian congress proteins* (pp. 513-530). Brasil: UNICAMP.
- El-Dash, A., Gonzales, R., & Ciol, M. (1983). Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. *Journal of Food Engineering*, 2, 129-152.
- Fitzgerald, M., Martin, M., Ward, R., Park, W., & Shead, H. (2003). Viscosity of rice flour: A rheological and biological study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2295-2299.
- Gallaguer, E., & Gormley, T. (2002). The quality of gluten free breads produced at retail outlets. Research Report. Dublin, Irlanda: Teagasc.

- Gallaguer, E., Gormley, T., & Arendt, E. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooraikul, B., & Rossnagel, B. (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruder forms. *Journal of cereal Science*, 36, 219-237.
- Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E., & Oliete, B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *Food Science and Technology*, 44, 2231-2237.
- Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P., Blanco, C., & Rosell, C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Foods Hydrocolloids*, 21, 167-173.
- González, R. J., Torres, R. L., & Añón, M. C. (2000). Comparison of rice and corn cooking characteristics. *Polish Journal of Food*, 50, 29-54.
- Gujral, H., Guardiola, I., Carbonell, J., & Rosell, C. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3814-3818.
- Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38-46.
- Hoover, R., & Vasanthan, T. (1994). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume and tuber starches. *Carbohydrate Research*, 252, 33-53.
- Hsieh, F., & Luh, B. (1991). Rice snack foods. En B. Luh (Ed.), *Rice volume II: Utilization* (pp. 225-249). Nueva York. EEUU: Van Nostrand Reinhold.
- Jacobs, H., & Delcour, J. (1998). Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2895-2905.
- Kent, N., & Evers, A. (1994). Bread made with gluten substitutes. *Technology of Cereals*, 215.
- Kim, D., Bae, I., Inglett, G., & Lee, S. (2009). Effect of hydrothermal treatment on the physicochemical, rheological and oil-resistant properties of rice flour. *Journal of Texture Studies*, 40, 192-207.
- Kim, J., Tanhehco, E., & Ng, P. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food Chemistry*, 99, 718-723.
- Kweon, M., Slade, L., & Levine, H. (2011). Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding- A review. *Cereal Chemistry*, 88, 537-522.
- Kweon, M., Slade, L., Levine, H., & Gannon, D. (En prensa). Cookie vs cracker baking-What's the difference? Flour functionality requirements explored by SRC and alveography. *Food Science Nutrition*.
- Lai, H. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*, 72, 455-463.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten free formulations. *Journal of Food Engineering*, 72, 1033-1047.
- Lu, S., Chen, C., & Lii, C. (1994). Gel-chromatography fractionation and thermal characterization of rice starch affected by hydrothermal treatment. *Cereal Chemistry*, 73, 5-11.
- Maleki, M., Hosene, R., & Mattern, P. (1980). Effects of loaf volume, moisture content, and protein quality on the softness and staling of bread. *Cereal Chemistry*, 57, 138-140.
- McCarthy, D., Gallaguer, E., Gormley, T., Schober, T., & Arendt, E. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82, 609-615.

- McPherson, A., Bailey, T., & Jane, J. (2000). Extrusion of cross-linked hydroxypropylated corn starches I. Pasting properties. *Cereal Chemistry*, 77, 320-325.
- Mercier, C., & Feillet, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, 63, 283-297.
- Morad, M., & Wakeil, F. (1976). Effect of wheat starch, protein and moisture content on staling of bread. *Getreide, Mehl und Brot*, 30, 106-107.
- Moroni, A., Dal Bello, F., & Arendt, E. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue. *Food Microbiology*, 26, 676-684.
- Nelson, A. (2001). Properties of High-fibre ingredients. *Cereal Foods World*, 46, 93-97.
- Nishita, K., & Bean, M. (1982). Grinding methods: Their impact in rice flour properties. *Cereal Chemistry*, 59, 46-49.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering*, 99, 239-249.
- Ranhotra, G. (2000). Commemorative Bulletin-Thirty Years of Nutritional Research at the AIB. *AIB Technical Bulletin*, 22, 15.
- Rogers, D., Zeleznak, K., & Lai, C. H. (1988). Effect of native lipids, shortening and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, 65, 398-401.
- Rosell, C. (2009). Enzymatic manipulation of gluten-free breads. En E. Gallagher (Ed.), *Gluten-Free Food Science and Technology* (pp. 83-98). Dublin, Irlanda: Wiley-Blackwell.
- Rosell, C., Santos, E., & Collar, C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*, 42, 176-184.
- Sanchez, H., Gonzalez, R., Osella, C., Torres, R., & de la Torre, M. (2008). Elaboration of bread without gluten from extruded rice flour. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6, 109-116.
- Schober, T. (2009). Manufacture of gluten-free specialty breads and confectionery products. En E. Gallagher (Ed.), *Gluten-Free Food Science and Technology* (pp. 130-180). Dublin, Irlanda: Wiley-Blackwell.
- Shim, J., & Mulvaney, S. (1999). Effect of cooking temperature and stirring speed on rheological properties and microstructure of corn starch and oat flour gels. *Cereal Foods World*, 44, 349-356.
- Slade, L., & Levine, H. (1994). Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients. En H. Faridi (Ed.), *The Science of Cookie and Cracker Production* (pp. 23-241). Nueva York: Chapman and Hall.
- Tipples, H. (1969). The relation of starch damage to the baking performance of flour. *The Bakers Digest*, 43.
- Wen, L., Rodis, P., & Wasserman, B. (1990). Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry*, 67, 268-275.
- Wolf, B. (2010). Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 15, 50-54.
- Yeh, A., & Li, J. (1996). A continuous measurement of swelling of rice starch during heating. *Journal of Cereal Science*, 23, 277-283.
- Yeh, A., Wu, T., & Jaw, Y. (1999). Starch transitions and their influence on flow pattern during single-screw extrusion cooking of rice flour. *Food and Bioprocess Processing*, 77, 47-54.
- Ylimaki, G., Hawarysh, Z., Hardin, R., & Thomson, A. (1988). Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: objective measurements. *Journal of Food Science*, 53, 1800-1805.