



MODIFICACIÓN FÍSICA DE HARINA DE TRIGO SARRACENO. IMPACTO SOBRE LA REOLOGÍA DE LAS MASAS Y LA CALIDAD DE LOS PANES SIN GLUTEN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2016/17

**Alumno: Marta Plaza Calzada
Tutora: Felicidad Ronda Balbas
Cotutora: Marina Villanueva Barrero**

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)
Universidad de Valladolid**

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1 Materiales	6
3.2 Métodos	7
3.2.1 <i>Preparación y conservación de las harina</i>	<i>7</i>
3.2.2 <i>Tratamiento microondas para las muestras de trigo sarraceno polaco.....</i>	<i>8</i>
3.2.3 <i>Preparación de masas</i>	<i>8</i>
3.2.4 <i>Evaluación reológica de las masas</i>	<i>9</i>
3.2.5 <i>Preparación de panes</i>	<i>10</i>
3.2.6 <i>Medida de las propiedades físicas de los panes</i>	<i>11</i>
3.2.7 <i>Análisis estadísticos.....</i>	<i>13</i>
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1 Ensayos oscilatorios	13
4.1.1 <i>Barrido de esfuerzos</i>	<i>13</i>
4.1.2 <i>Barrido de frecuencias</i>	<i>15</i>
4.2 Propiedades físicas de los panes	19
4.2.1 <i>Pérdida de peso y volumen específico</i>	<i>19</i>
4.2.2 <i>Propiedades del color de la corteza y de la miga</i>	<i>20</i>
4.2.3 <i>Alveolado</i>	<i>22</i>
4.2.4 <i>Características de la textura.....</i>	<i>22</i>
4.2.5 <i>Envejecimiento de los panes.....</i>	<i>26</i>
5.CONCLUSIÓN.....	27
6.AGRADECIMIENTOS	28
7. BIBLIOGRAFÍA.....	28

RESUMEN

En los últimos años se ha incrementado el número de investigaciones sobre la elaboración de masas y panes sin gluten, debido al elevado número de pacientes intolerantes a esta proteína. En el presente estudio se han elaborado masas y panes sin gluten sustituyendo harina de arroz por harina de trigo sarraceno tanto nativo como tratado hidrotérmicamente mediante microondas a 1000W durante 8min, a dosis del 30%, 50% y 70%. Para ver el comportamiento viscoelástico de las masas se llevaron a cabo ensayos oscilatorios (barrido de esfuerzos y barrido de frecuencias) en los que se pudo observar que el empleo de trigo sarraceno tratado hidrotérmicamente mediante microondas condujo a masas con una estructura más fortalecida. En cuanto a las propiedades física de los panes, se obtuvo mayor volumen específico y menor dureza de la miga para las muestras sometidas a tratamiento, a diferencia del color de la corteza y de la miga que no presentó grandes diferencias.

Palabras clave: Reología, tratamiento microondas, harina, sin gluten, panes.

ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in the number of investigations on the production of gluten-free dough and breads, due to the high number of patients intolerant to this protein. In the present study gluten-free doughs and breads were substituted for rice flour for both native and hydrotremally treated buckwheat flour using microwave at 1000W for 8 minutes at 30%, 50% and 70% doses. To study the viscoelastic behavior of the masses, oscillatory tests were carried out (strain sweeping and frequency sweeping) in which it was observed that the use of baker's wheat hydrotremically treated by microwaves led to masses with a stronger structure. As for the physical properties of the loaves, a higher specific volume and lower hardness of the crumb were obtained for the samples submitted to treatment, unlike the color of the crust and of the crumb that did not present great differences.

Keywords: Rheology, microwave treatment, flour, gluten-free, breads.

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad celiaca, es una enfermedad inflamatoria crónica del intestino delgado debida a una respuesta inmunológica inadecuada frente al gluten de trigo y proteínas relacionadas con otros cereales que afecta a individuos genéticamente predispuestos en cualquier época de la vida (Arranz et al., 2012). Se ha de saber que el gluten es una mezcla de proteínas de almacenamiento que se encuentran presentes en cereales como trigo, centeno y cebada y que se clasifican en dos grupos: las gluteninas que son polímeros insolubles estabilizados por enlaces disulfuros y las gliadinas que son proteínas solubles en alcohol y agua (Cabrera- Chavez y Calderon de la Barca, 2010).

Cada vez es más elevado el número de pacientes que padecen esta enfermedad planteando un gran desafío tanto a las industrias alimentarias como a las autoridades competentes para garantizar la inocuidad de los alimentos para todos (Miranda et al., 2016). La enfermedad es padecida no solo por la población Europea sino también en Oriente Medio, Asia, Sudamérica y África. En la actualidad, el único tratamiento que adquieren estos pacientes se basa en la retirada de los productos que contienen gluten de su dieta (Hauser et al., 2010).

Desarrollar un pan sin gluten de buena calidad es un gran reto, por eso muchos investigadores están estudiando como sustituir esa proteína con ingredientes capaces de imitar sus propiedades funcionales, ya que la mayoría de los panes sin gluten comercialmente disponibles poseen una calidad inferior a los elaborados con gluten (Gallagher et al., 2003). Para llevar a cabo estos productos es necesario un compuesto de base harinosa y un compuesto que asemeje las funciones características del gluten.

Una de las harinas más empleadas para la elaboración de panes sin gluten, es la harina de arroz (*Oryza Sativa L.*), debido fundamentalmente a que se trata de una harina blanca, con un sabor suave, fácilmente digestible y característica por su propiedades hipoalergénicas (Rosell et al., 2007). La harina de arroz se obtiene mediante un proceso de molienda una vez eliminado el salvado, de los granos fundamentalmente dañados o partidos. En función del tipo de molienda y molino que se emplee para la molturación, se obtendrá un tamaño de partícula diferente. El tamaño de partícula de la harina es fundamental a la hora de obtener unas

características específicas del pan, ya que se ha comprobado que a menor tamaño de partícula de la harina menor volumen específico presenta el pan (De la Hera et al., 2012). Esto puede ser debido a que las harinas con menor granulometría tienen menor capacidad para absorber agua de lo que se requiere para dar consistencia a la masa evitando así, que el pan aumente de volumen durante la fermentación y cocción (Torres, 1999).

Hay investigadores que, además de emplear harinas de cereales para elaborar panes libres de gluten, han evaluado la posibilidad de emplear pseudocereales que posean un elevado valor nutricional como en el caso del trigo sarraceno (TS). El trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) es un pseudocereal que se cultiva en Asia, Europa y América para la formulación y producción de alimentos. Pertenece a la familia de *Polygonacea* y adquiere un importante interés debido principalmente a su elevado contenido en vitaminas (B1, B2, B6 y E), minerales (P, Fe, Zn, y Mg) y aminoácidos como la lisina. Posee proteínas con un alto valor biológico, antioxidantes, catequinas y polifenoles, entre otros. En cuanto a su digestibilidad, a diferencia de la harina de arroz, la harina de trigo sarraceno es relativamente baja (Yildiz y Bilgili, 2012).

Sin embargo tanto la harina de arroz como la harina de trigo sarraceno (TS) no tienen la capacidad de retención de agua y de formar una red de gluten capaz de retener los gases generados durante la fermentación y el horneado de los panes, por lo que se ha comprobado, tras varias investigaciones, que el uso de hidrocoloides como el HPMC es necesario para imitar las propiedades viscoelásticas del gluten (Sciarini et al., 2012). Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) es un éter de celulosa obtenido por enlaces químicos entre un hidroxipropilo y grupos metilo β -1,4-D glucano celulósico. Se trata de un hidrocoloide soluble en agua fría e insoluble en agua caliente (Hager y Arendt, 2013; Sciarini et al., 2012).

Con el fin de determinar las características que contribuyen a la calidad del pan se deben realizar estudios sobre las propiedades reológicas de las masas sin gluten, ya que inciden directamente en la estructura final de las masas y panes, y por lo tanto tienen un efecto directo sobre la maquinabilidad de dichas masas y en consecuencia sobre los productos elaborados a partir de los mismos (Lazaridou y Biliaderis, 2009).

Investigadores como Alvarez-Jubete et al., (2010) han elaborado panes sin gluten con harinas de arroz y de pseudocereales como harina de trigo sarraceno, amaranto y quínoa. Los autores han observado que los panes elaborados con pseudocereales presentan un mayor volumen que los de harina de arroz, lo que atribuyen principalmente a la mayor adicción de agua requerida, la viscosidad de la masa, la proporción de amilosa/amilopectina y al mayor contenido de proteínas las harinas procedentes de pseudocereales. En cuanto al color tanto de la corteza como de la miga pudieron observar que era más oscura en los panes elaborados con harinas de pseudocereales que con harina de arroz, a causa de su elevado contenido en fibra. También llevaron a cabo análisis de la textura de la miga obteniendo que, los panes sin gluten que contenían harina procedente de un pseudocereal era más suave y más elástica. Además Torbica et al., (2012) pudieron comprobar que los panes elaborados con trigo sarraceno con cascarilla poseían un grado de retrogradación menor, obteniendo así panes con un proceso de envejecimiento menor. Esto fue corroborado también por Mariotti et al.,(2013), quienes observaron que los panes a los que se les había adicionado harina de trigo sarraceno con cascarilla, perdían la humedad de la miga más lentamente, obteniendo así panes con un menor envejecimiento durante el almacenamiento.

Para mejorar la calidad de los panes sin gluten se ha propuesto emplear tratamientos hidrotérmicos (como el tratamiento por calor y humedad) que permiten modificar las propiedades fisicoquímicas de las harinas sin destruir sus gránulos.

El tratamiento microondas (MW) es uno de los métodos más rápidos para llevar a cabo el tratamiento hidrotérmico. El calentamiento por MW es una técnica relativamente nueva, que posee un tratamiento térmico selectivo, corto e intenso. Aunque hay que tener en cuenta que esta tecnología presenta algunas desventajas ya que, no ofrece un calentamiento uniforme, la destrucción microbiana es incompleta y el tostado del producto puede variar. Su proceso se basa en una interacción del campo electromagnético con la materia por medio de mecanismos dieléctricos y depende tanto de las características del alimento, como de su composición química, su estado físico y su granulometría (Pérez y Sosa, 2013). El calentamiento por microondas se ve favorecido por la presencia de moléculas de agua en el alimento. Los alimentos que contienen moléculas polares como el agua se calientan rápidamente cuando se

exponen a la radiación de microondas, debido a la fricción molecular, generada por la rotación dipolar de moléculas en la presencia de un campo eléctrico alternativo (Kowalsi et al., 2012).

Algunos estudios llevados a cabo para evaluar el comportamiento de las harinas tratadas hidrotérmicamente mediante microondas, fue el realizado por Ashraf et al., (2012) quienes estudiaron el efecto del calentamiento por MW sobre las propiedades funcionales, tales como la retención de agua, la fijación del aceite, la emulsión, la capacidad de formación de espumas, y el índice de solubilidad de las proteínas de harinas de trigo y de alubias pintas, concluyendo que las muestras tratadas con microondas presentaban mejores propiedades funcionales y un aumento de la solubilidad proteica a cortos periodos de tiempo de tratamiento MW. Luo et al., (2006) también pudieron observar, tras estudiar el efecto del microondas en harinas de maíz normal y maíz Waxy, que el MW producía cambios en la superficie granular de los almidones de las harinas, aumentando la temperatura de gelatinización y la solubilidad, y reduciendo su viscosidad, dando lugar a harinas con mejor capacidad de emulsificación y formación de espuma que las no sometidas a tratamiento.

Aunque se han realizado varias investigaciones sobre los cambios generados por el tratamiento con calor y humedad en harinas procedentes de diferentes fuentes, aún no se han encontrado estudios que establezcan el efecto que este tratamiento tiene sobre las propiedades de panificación de las harinas tratadas. Por ello, en el presente trabajo se ha estudiado el efecto del tratamiento con microondas de la harina de trigo sarraceno (con un humedad del 30%), sobre las propiedades reológicas de las masas y la calidad de los panes libres de gluten elaborados con esta harina tratada añadida a harina de arroz en dosis de sustitución del 30%, 50% y 70%. En paralelo se han elaborado masas y panes con las mismas mezclas de harinas de arroz y trigo sarraceno, en este caso sin tratar, para que sirvieran de referencia.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo fue la mejora nutricional de panes sin gluten mediante la incorporación de harina de trigo sarraceno en sustitución parcial pero significativa de la harina de arroz.

Para minimizar el deterioro que tradicionalmente se observa en la calidad sensorial y física de los panes al emplear harinas integrales como esta, se planteó un método de modificación física de dicha harina mediante su tratamiento hidrotérmico con microondas.

Para llevar a cabo este objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Evaluación del impacto de la sustitución del 30%, 50% y 70% de la harina de arroz por harina de trigo sarraceno sobre la reología de las masas de pan sin gluten elaboradas.
- Evaluación del impacto de la sustitución mencionada sobre la calidad de los panes elaborados.
- Obtención de harina de trigo sarraceno tratada hidrotérmicamente mediante radiación microondas después del ajuste de su humedad a un valor inicial del 30%.
- Estudio del efecto del tratamiento hidrotérmico de las harinas de trigo sarraceno sobre la reología de las masas y la calidad de los panes elaborados con los niveles de sustitución indicados anteriormente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material

Para la elaboración de masas y panes sin gluten se ha empleado harina de arroz NPU de variedad *Índica* (suministrado por Herba Ricemills, S.L.U) con un contenido de humedad de un 13%, <1.00% de ceniza, 8.13 % de proteína, <1% de grasa, <10ppm de gluten (datos facilitados por el suministrador) y harina de trigo sarraceno de variedad *Kora* de origen polaco (suministrado por Grupa Producentów Ekologicznych Dolina Gryki Sp ZOO, Miedzylesie, Polonia), con un contenido de humedad de 12.8% aproximadamente, 1.8% de ceniza, 12.6% de proteína y un 3.01% de grasa. El HPMC (hidroxipropilmetilcelulosa) K4M fue suministrado gratuitamente por Down de la empresa Dow Chemical Company (Michigan, EE.UU).

La sal, el azúcar (Azucarera Ebro) y el aceite de girasol (Coosur Premiun) se han obtenido del mercado local. El agua potable utilizada procedía de la red municipal de suministro de agua. La levadura empleada, fue de la marca European (Instant Dry Baker's Yeast) suministrada por la empresa Distribuciones Palenzuela (Palencia, España).

3.2 Métodos

3.2.1 Preparación y conservación de las harinas

Para obtener el contenido de humedad tanto de la harina de arroz como la de trigo sarraceno se siguió el método oficial 44-19 (AACC, 1995). Se basa en pesar, mediante una balanza de Cobos Precisión AX-200 (Barcelona, España), 2g de muestra en una cápsula de acero inoxidable e introducirla en una estufa de secado por convección BINDER Avantgarde Line (Tuttlingen, Alemania) durante una hora (como mínimo) a una temperatura de 130°C. Una vez secada la muestra se dejaba enfriar en un desecador antes de su pesada. Para calcular el contenido de humedad de la harina se empleó la siguiente expresión:

$$\frac{((\text{cápsula vacía (g)} + \text{muestra (g)}) - \text{cápsula tras secado (g)})}{\text{muestra (g)}} \times 100$$

Para obtener harina de trigo sarraceno con una humedad del 30%, se partió de la humedad inicial de la harina y se calculó el agua necesaria para ajustarlo al valor seleccionado. Para ello se pulverizó la cantidad de agua requerida sobre la harina mientras se mezclaba en una mezcladora Bear Teddy Mixer Mono Equipment (Modelo Bear 5L Teddy, Swansea, Reino Unido). Una vez humedecida la harina se introdujo en un envase hermético de polietileno de alta densidad, y se dejó reposar durante 24 horas a 4 ± 2 °C con el objetivo de conseguir un contenido de humedad equilibrado y homogéneo de la harina. Transcurrido ese periodo, y tras comprobar que la harina había alcanzado el 30% de humedad deseado (permitiendo un margen de error de $30 \pm 1\%$) se repartió en bolsas de poliamida-polipropileno (~110g) que se cerraron herméticamente mediante termosellado y se congelaron a -23 ± 2 °C, evitando así posible crecimiento microbiano.

3.2.2 Tratamiento microondas para las muestras de trigo sarraceno polaco.

Las muestras de harina de trigo sarraceno congeladas, con humedad del 30%, se aatemperaron en una cámara a 25°C (temperatura controlada mediante un termómetro digital Testo 108-2 (Lenzkirch, Alemania)) durante 15 min, previo al tratamiento microondas.

Para llevar a cabo el tratamiento se pesaron 100g de la muestra, en un recipiente cilíndrico de polietileno de alta densidad (de 2L de capacidad) en cuya parte inferior se practicó una apertura sobre la que se colocó una lámina plástica de polietileno y polipropileno, perforada con el fin de conseguir que el tratamiento tuviese lugar a presión atmosférica.

El recipiente con la harina se introdujo en el horno microondas SHARP R-342 (Osaka, Japón) adaptado para permitir el giro del recipiente, para mantener a la harina en continuo movimiento durante el tratamiento y así obtener un resultado homogéneo de la muestra tras el proceso.

Se aplicó una potencia de microondas de 1000W durante 24 min, en el cual se establecieron ciclos de 20s de tratamiento MW intercalados con 40s de parada, obteniendo así la muestra un total de 8 min de tratamiento microondas. Finalizado el proceso se mantuvo la muestra en volteo dentro del microondas durante 10 min para que se enfriara.

La harina tratada obtenida, fue triturada con un mortero de vidrio con el fin de conseguir una granulometría similar a la harina de partida, para posteriormente ser almacenada en recipiente de polietileno cerrado herméticamente a temperatura ambiente.

3.2.3 Preparación de las masas

Se prepararon siete masas de pan elaboradas con diferentes porcentajes de sustitución de harina de arroz por harina de trigo sarraceno (30%, 50% y 70%) tanto nativa como tratada por microondas. También se elaboró una masa 100% harina de arroz que fue tomada como masa control.

Se empleó la siguiente fórmula para la elaboración de las masas, expresada en base a 100g de harina: 5% azúcar, 1.5% de sal, 2% de HPMC, 6% de aceite de girasol y un 95% de agua.

Para la realización de los ensayos se pesaron 70g de harina, 3.5g de azúcar, 1.1g de sal, 1.4g de HPMC y 4.2g de aceite, de manera conjunta y en el orden indicado, y posteriormente, y en un recipiente aparte, la cantidad de agua requerida, dependiente de la humedad de la harina o mezcla de harinas empleadas. El proceso de amasado se realizó con una panificadora (Auto Bakery, (Funaj, China)) la cual poseía una hélice con dos velocidades de giro diferentes. Inicialmente poseía una velocidad lenta, donde se incorporaban los sólidos y el aceite, transcurridos un minuto la velocidad de la hélice se incrementaba y se incorporaba el agua, y se mantenía amasando durante 8min. Finalizado el proceso se homogenizó la muestra y se repartió en cuatro recipientes de plástico cerrados herméticamente con una capacidad de 35ml para su ensayo reológico.

Las muestras obtenidas se dejaron reposar durante 10 min antes de comenzar los ensayos.

3.2.4 Evaluación reológica de las masas

Para estudiar el comportamiento reológico de las masas se han realizado ensayos dinámicos/oscilatorios de barrido de esfuerzos y barrido de frecuencia para cada una de las masas elaboradas. Los ensayos fueron llevados a cabo al menos por duplicado mediante un reómetro Kinexus Pro + (Malvern Instruments Ltd, Malvern, Reino Unido) que poseía una geometría de placas paralelas (40mm de diámetro de acero inoxidable) de superficie serrada y con una separación entre placas de 3mm.

- Barrido de esfuerzos

Las pruebas de barrido de esfuerzos se llevaron a cabo mediante un control de esfuerzos logarítmico entre 0,1 y 500 Pa a una frecuencia de 1Hz, manteniendo una temperatura constante de 25°C, gracias a un módulo Peltier KNX2002 C25P, apoyado con un baño de recirculación KNX2002 (Marven Instruments Ltd., Marven, Reino

Unido) y estableciendo un tiempo de espera de 300s del reómetro antes de realizar la medición, para permitir la relajación de la muestra.

El resultado de estos ensayos nos permitió localizar el esfuerzo máximo ($\tau_{m\acute{a}x}$) que era capaz de soportar la muestra antes de que se destruyese su estructura (al observar un descenso del módulo elástico (G'_{1}) y el aumento de la tangente), y así obtener la zona viscoelástica lineal (LVR) para las masas, que osciló para todas las muestras entre 6 y 15 Pa.

- Barrido de frecuencias

Tras el barrido de esfuerzos, se cambió de muestra y se sometió a la masa a un barrido de frecuencia (por duplicado) en el intervalo de 0,1 a 20 Hz y a un esfuerzo constante (en la zona viscoelástica lineal), obtenida del ensayo anterior, 1 Pa. Al igual que en los ensayos de barrido de esfuerzos, las pruebas se realizaron a una temperatura constante de 25°C, y estableciendo un tiempo de espera de 300s del reómetro antes de realizar la medición, para permitir la relajación de la muestra.

Las curvas obtenidas de los barridos de frecuencias se ajustaron por mínimos cuadrados a la ley de la potencia:

$$G'_{1}(\omega) = G'_{\omega 1} \cdot \omega^a$$

$$G''_{1}(\omega) = G''_{\omega 1} \cdot \omega^b$$

$$\tan \delta(\omega) = G''_{\omega 1} / G'_{\omega 1} = (G'' / G')_{\omega 1} \cdot \omega^c = (\tan \delta)_{\omega 1} \cdot \omega^c$$

Donde $G'_{\omega 1}$, $G'_{\omega 1}$, $G''_{\omega 1}$ y $(\tan \delta)_{\omega 1}$ representan los módulos de elasticidad y viscosidad y la tangente de pérdida a una frecuencia constante de 1 Hz. Los parámetros a, b y c representan constantes experimentales y ω la frecuencia angular (rad^{-1}) (Ronda et al., 2011).

3.2.5 Preparación de los panes

A partir de las mismas masas descritas en el apartado anterior, se elaboraron los panes con los mismos porcentajes de trigo sarraceno, tanto nativo como modificado con el tratamiento MW, en sustitución de harina de arroz. La formulación empleada

para llevar a cabo las elaboraciones, corresponde a la misma empleada en la formulación de masas mencionadas anteriormente, exceptuando la incorporación de un 3% de levadura.

Para realizar los ensayos se pesaron en una cubeta de amasado 600g de harina, 30g de azúcar, 9g de sal, 12g de HPMC y se mezcló durante 2min a una velocidad de 2, en una amasadora KitchenAid Professional (KPM5). Transcurrido este periodo, se pesó 36g de aceite, se incorporó a los sólidos anteriores y se mezcló durante 5 min a una velocidad de 2. Acto seguido se pesó el agua, cuya cantidad varió en función de la humedad de harina utilizada (la harina de trigo sarraceno tratada con MW no contenía la misma cantidad de agua que la nativa, al igual que la harina de arroz). En primer lugar se pesaron 200g de agua y se disolvieron 18g de levadura. Una vez disuelto, se incorporó el resto de agua que le faltaba a la formulación.

Se añadió el agua con la levadura sobre el resto de los ingredientes, durante un minuto a una velocidad de 2. Posteriormente se aumentó la velocidad a 4 y se mantuvo 3min, permitiendo así que la harina se hidratase. Transcurrido ese periodo de tiempo, se paró la amasadora, y de manera manual, con ayuda de una paleta, se homogenizó la mezcla. Se encendió de nuevo la amasadora durante 4min a una velocidad de 4. A continuación se repartió en 6 moldes 200g de la masa de manera homogénea y se introdujo en la fermentadora durante 40 min, a 32°C y a una humedad relativa de 85%. Una vez fermentado el producto, se hornearon las masas de los panes en un horno Sveba Dahlin (previamente precalentado) con convección de aire y giro continuo de la bandeja de horneado, durante 20min a 170°C. Finalizado este proceso, se dejaron enfriar los panes a temperatura ambiente durante 1 hora.

3.2.6 Medida de las propiedades físicas de los panes

De los 6 panes obtenidos de cada elaboración se destinaron, dos para realizar las medidas en fresco, uno para evaluar su envejecimiento a los 7 días, el cual se conservó en una bolsa hermética en refrigeración a 4°C y tres para la realización de una posible cata.

La pérdida de peso de cada uno de los panes se evaluó, con una balanza de precisión TE 6101 de Sartorius, mediante la diferencia entre el peso de la masa incorporada

para su elaboración (200g) y el peso de los panes después del horneado una vez extraídos del molde.

Para determinar el volumen específico de los panes enteros se midió con un medidor de volumen de pan, Bread Volumen Tester JMTY (Hangzhou, China) que se basa en el método de desplazamiento de semillas (método 10-05 de la AACCC). Las medidas se realizaron por duplicado sobre cada uno de los dos panes destinados a la medida.

Para analizar la imagen del producto se tomaron fotografías frontales, laterales, así como de la rebanada central de todos los panes elaborados, empleando una cámara Canon IXUS 285 HS (Alcobendas, Madrid). Para visualizar mejor el alveolado de la miga de cada pan, se escaneó cada rebanada (en escala de color y en escala de grises) mediante un escáner HP Scanjet 93110.

Para evaluar el color de los panes se establecieron medidas tanto de la corteza de los panes como de la miga de los mismos. Para la corteza de los panes se realizaron cuatro medidas en cuatro puntos diferentes de cada pan y para la miga se realizaron dos medidas por rebanada una en cada cara de la misma. Para realizar las medidas se empleó el colorímetro PCE-CSM5 (Tobarra, Albacete) y el software CQCS3. Los resultados se emiten en las coordenadas del sistema CIE L*, a*, b* y CIE L*,C* y h* con el iluminante patrón D65 y el Observador 10°.

La textura de la miga del pan se evaluó mediante un texturómetro universal TA-TX2 de Stable Microsystems (Godalming, Reino Unido) con una sonda cilíndrica de aluminio de 20mm de diámetro. Para llevar a cabo el proceso, se realizó un ensayo TPA de doble compresión sobre dos rebanadas (tomadas de la zona central del pan) de 2cm de espesor, para penetrar 50% de profundidad, a 1 mm/s de velocidad y con un tiempo de espera entre compresiones de 30s. Los resultados obtenidos fueron registrados en el software "Texture Expert", de donde se extrajeron los resultados de dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia de cada una de las formulaciones. La dureza de la miga se determinó tanto en los panes frescos, día 0, como en los panes almacenados a $3 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 7 días. Con los panes elaborados con una sustitución del 70% de la harina de arroz por harina de TS, tanto nativa como tratada por microondas, se llevó a cabo un estudio de la cinética de endurecimiento

más completo, con medidas de dureza a días 0,1,2,3 y 7. Este mismo estudio también se realizó sobre el pan control, elaborado con 100% harina de arroz.

3.2.7 Análisis estadísticos

Con el fin de evaluar los diferentes factores estudiados, (efecto de la presencia y dosis de trigo sarraceno y del tratamiento microondas) se realizó un análisis simple de varianza (ANOVA) empleando el programa informático Statgraphics Centurion XVII.II-X64 (Bitstream, Cambridge, MN, USA). Para establecer las diferencias significativas entre muestras, se empleó el método de Fisher (LSD) ($p < 0,05$).

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ensayos oscilatorios

Las propiedades viscoelásticas de la masas panarias elaboradas a base de harina de trigo sarraceno (tratada hidrotérmicamente y sin tratar) en diferentes dosis (30%, 50%, 70%) y la masa control elaborada a base de harina de arroz, estudiadas mediante pruebas oscilatorias dinámicas, se recogen en la Figura 1, Figura 2 y Tabla 1.

4.1.1 Barrido de esfuerzos

Los ensayos de barrido de esfuerzos realizados con una frecuencia de 1 Hz, permitieron establecer la región viscoelástica lineal de las masas, mediante la localización del esfuerzo máximo (τ_{max}), al observar en las curvas el descenso del módulo elástico (G'_1) y el módulo viscoso (G''_1), y un incremento sustancial de la tangente ($\tan(\delta)_1$), hasta el entrecruzamiento de las curvas G'_1 y G''_1 ($G'_1 = G''_1$). En la zona viscoelástica lineal el módulo de almacenamiento (G'_1) estuvo siempre por encima del de pérdida (G''_1), denotando un comportamiento elástico predominante en todas las masas estudiadas. El esfuerzo máximo registrado de cada una de las masas evaluadas (valores que oscilaron entre 6,18 y 14,23 Pa) determina el punto en el cual, deja de existir una proporcionalidad entre el esfuerzo aplicado y la deformación experimentada y denota que la masa experimenta una destrucción molecular interna de su estructura. El punto de corte de los módulos viscoelásticos ($G'_1 = G''_1$) informa del momento en el que las masas pasan de tener un comportamiento predominantemente elástico, a tenerlo más viscoso. El esfuerzo al que se produce esta circunstancia se

denomina con frecuencia *Crosspoint*, que hace referencia al punto de cruce de G'_1 con G''_1 ($G'_1=G''_1$) (Steffe, 1995).

Como se muestra en la tabla 1, las masas mostraron un debilitamiento de su estructura, con valores más bajos de τ_{max} , al enriquecerlas con trigo sarraceno nativo. Este esfuerzo máximo obtenido en la zona LVR, decreció hasta un 40% con la adición del 70% de trigo sarraceno aunque las diferencias respecto al valor de la masa control (100% harina de arroz) solo resultaron significativas a partir del 50% de sustitución. El empleo de TS tratado hidrotérmicamente mediante microondas condujo a masas con una estructura fortalecida. En la tabla 1, se puede observar un mayor esfuerzo máximo soportado por la masa antes de comenzar su desestructuración conforme aumenta la dosis de harina de TS tratada añadida a la masa. A dosis de sustitución del 50% y del 70%, el valor de τ_{max} se multiplicó por dos respecto a los valores obtenidos para las mismas adiciones de harina sin tratar. También representaron un aumento significativo (hasta del 40% para la adición mayor) respecto a la masa control.

El análisis de varianza permitió concluir un efecto significativo del tratamiento de microondas de la harina sobre el esfuerzo máximo tolerado por las masas en la zona LVR. Sin embargo, la dosis de TS no permitió concluir efecto significativo alguno. Si fue significativa la interacción doble (tratamiento*dosis), que explica que la dosis más alta de TS sí provocaron un cambio en las características de las masas pero solo en el caso en el que la harina adicionada hubiese sido tratada por microondas.

En cuanto al punto de corte de los módulos viscoelásticos ($G'_1=G''_1$) se pudo ver como la masa con un 70% de TS tratado tardó más en pasar de tener un comportamiento predominantemente elástico, a tenerlo más viscoso, mostrando diferencias estadísticamente significativas con el resto de las masas estudiadas.

En la figura 1 se presenta, a modo de ejemplo, las diferencias que presenta la masa que contiene una dosis del 70% trigo sarraceno tratado hidrotérmicamente, con la masa control (100% harina de arroz) y la masa que contiene el mismo grado de sustitución por TS pero sin tratar.

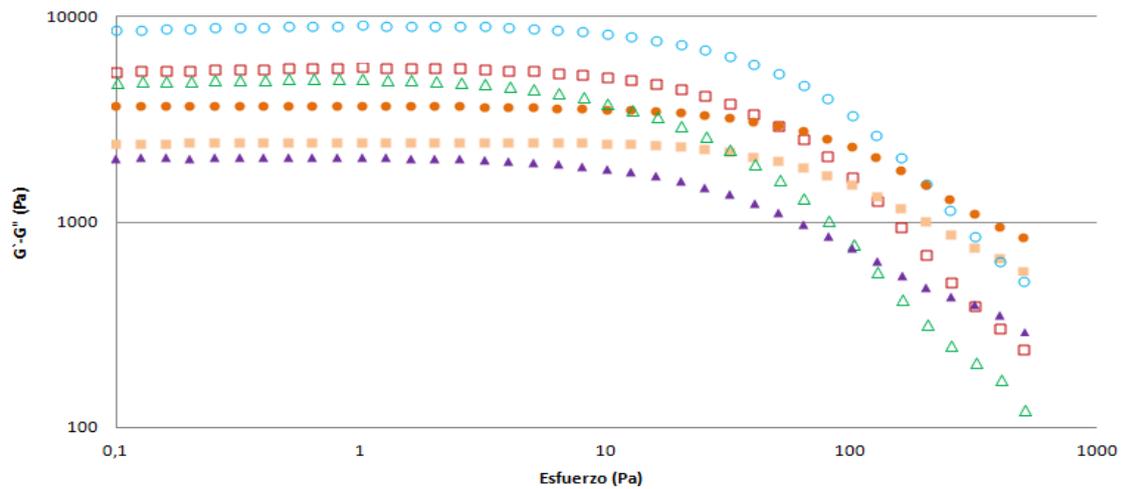


Figura 1: Barrido de frecuencia de la masa control; G'_1 (módulo elástico) (\square), G''_1 (módulo viscoso) (\blacksquare), de la masa con 70% TS nativo; G'_1 (módulo elástico) (\triangle), G''_1 (módulo viscoso) (\blacktriangle) y de la masa con un 70% de TS tratado; G'_1 (módulo elástico) (\circ), G''_1 (módulo viscoso) (\bullet).

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que el empleo de harinas TS tratadas hidrotérmicamente con MW ejercen un fortalecimiento de la estructura de las masas, al presentar mayores esfuerzos, conforme se aumenta la dosis de harina. A diferencia de las masas con harina de trigo sarraceno sin tratar que reflejan una ruptura de su estructura a bajos esfuerzos, menores que incluso la masa control.

4.1.2 Barrido de frecuencias

En la tabla 1 se muestran las propiedades reológicas de cada una de las masas de pan sin gluten donde se reflejan parámetros como: G'_1 , G''_1 , $\tan(\delta)_1$, y los exponentes a, b y c obtenidos tras el ajuste de dichas gráficas, establecidas en el rango de 1-10 Hz, a una función potencial. En todos los casos, se puede observar que los valores del módulo elástico (G'_1) fueron mayores (oscilaron entre 4455 a 8834 Pa) que los valores del módulo viscoso (G''_1 , osciló entre 2043 a 3587Pa) revelando así que, las masas evaluadas adquieren un comportamiento típico de los sólidos viscoelásticos, presentando ambos módulos una ligera dependencia con la frecuencia. En cuanto a los valores que muestra la $\tan \delta = (G''_1/G'_1)$ fueron sustancialmente inferiores a 1 (Gujral y Rosell, 2004), lo que denota un comportamiento predominantemente elástico de las masas. Para el análisis de los resultados obtenidos, se utilizaron logaritmos

neperianos de las variables G'_1, G''_1 y $\tan(\delta)_1$ debido a la mejor homogeneidad de la varianza.

En la figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, las diferencias que presentan las curvas obtenidas de los ensayos de barrido de frecuencias para la masa que contiene un 70% TS nativo, con la masa control y la masa con un 70% de TS tratado hidrotérmicamente mediante MW.

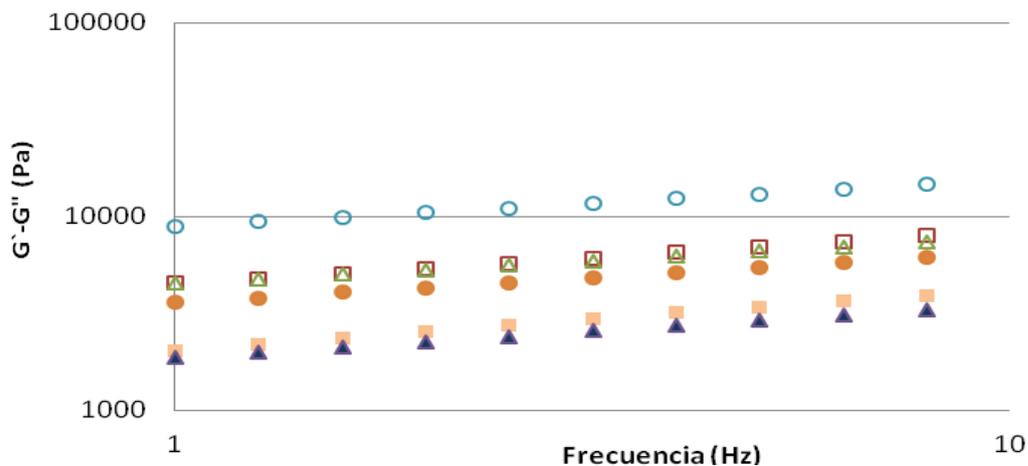


Figura 2: Barrido de esfuerzo de la masa control; G'_1 (módulo elástico) (\square), G''_1 (módulo viscoso) (\square), de la masa con 70% TS nativo; G'_1 (módulo elástico) (\triangle), G''_1 (módulo viscoso) (\triangle) y de la masa con un 70% de TS tratado; G'_1 (módulo elástico) (\circ), G''_1 (módulo viscoso) (\bullet).

Las curvas mostraron el comportamiento típico de los sólidos viscoelásticos, donde se pudo observar valores inferiores en los módulos elásticos (G'_1) y viscosos (G''_1) de la masa control y la masa de trigo sarraceno al 70% sin tratar, con respecto a la masa que contenía harina de trigo sarraceno tratada hidrotérmicamente. Tras analizar los datos obtenidos (Tabla 1) se pudo ver que tanto la masa control como la masa que poseía una dosis del 70% de trigo sarraceno que no había sido sometida al tratamiento térmico, no mostraban diferencias entre ellas.

En general, los valores de los módulos elásticos (G'_1) y viscosos (G''_1) se incrementaron hasta un 50% con la adición de TS tratado hidrotérmicamente aunque las diferencias respecto al valor de la masa control (100% harina de arroz) solo resultaron significativas a partir del 50% de sustitución. En cuanto a los parámetros a y b no se observó ninguna dependencia en cuanto al tratamiento térmico aplicado, pero

si en cuanto a la dosis de harina incorporada, mostrando diferencias significativas en dosis de sustitución del 50% y 70%, con respecto a la masa control y a la masa con un 30% de TS. Los valores de la tangente oscilaron entre 0.41 y 0.46, mostrando una mayor dependencia en la cantidad de harina de trigo sarraceno adicionada en la masa, independientemente del tratamiento térmico aplicado.

El análisis de varianza permitió concluir un efecto significativo del tratamiento de microondas de la harina sobre la elasticidad y viscosidad de las masas. Sin embargo, la dosis de TS no permitió concluir efecto significativo alguno. Sí fue significativa la interacción doble (tratamiento*dosis), que explica que la dosis más alta de TS sí provocará un cambio en las características de las masas pero sólo en el caso de haber sido tratada por microondas. Por el contrario, los parámetros (a y b) que determinan la variación de los módulos G_1' y G_1'' con la frecuencia y la tangente no variaron significativamente el tratamiento MW, pero sí dependieron de la dosis de TS incorporada. También ejerció un efecto significativo la interacción doble (tratamiento*dosis), de forma que las dosis más altas de TS provocaron un cambio en las características de las masas independientemente de que la harina adicionada hubiese sido tratada por microondas o no.

Por lo tanto, se puede concluir que las masas adquieren una mayor consistencia cuanto mayor dosis de harina de trigo sarraceno tratada hidrotérmicamente contienen. Esto puede ser debido a que la harina humedecida (30%) al ser irradiada a 1000W durante 8 minutos (100°C) mediante un tratamiento microondas, daña al gránulo de almidón aumentando su porosidad, lo que permite obtener una mayor capacidad de absorción del agua de la harina durante el amasado de la masa dando lugar a una mayor consistencia de la misma. Los resultados obtenidos concuerdan con los del estudio realizado por Pinkrová et al., (2003), quién observó que tras someter a la harina de arroz a diferentes tiempos de irradiación (tratamiento microondas) y potencias, comprobó que la harina de arroz humedecida al 30% con un mayor tiempo de irradiación y una mayor potencia, presentaba un mayor contenido de almidón dañado y por tanto una mayor capacidad de absorción de agua.

Tabla 1: Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros obtenidos de los ensayos reológicos oscilatorios aplicados a las masas de pan, según la dosis de trigo sarraceno y del empleo de harina nativa o tratada.

Dosis TS (%)	Tratamiento MW	G'_1 (Pa)	a	R^2	G''_1 (Pa)	b	R^2	$\tan(\delta)_1$	c	$\tau(\text{máx})$ (Pa)	$G'_1=G''_1$ (Pa)
0	Control	4455 a	0,275 b	0,9994	2043 a	0,315 b	0,9989	0,459 d	0,039 b c	10,02 b	103 a
30	No	3848 a	0,265 b	0,9996	1701 a	0,319 b	1	0,442 c	0,053 c	7,96 a b	65 a
50	No	4231 a	0,241a	0,9995	1778 a	0,274 a	0,9999	0,420 b	0,033 a b c	6,32 a	90 a
70	No	4500 a	0,237 a	0,9997	1873 a	0,271 a	0,9998	0,416a b	0,034 a b c	6,18 a	113 a
30	Si	4150 a	0,269 b	0,9988	1886 a	0,321b	0,9995	0,455 c d	0,052 c	7,95 a b	82 a
50	Si	6341 b	0,243 a	0,9998	2716 b	0,273 a	0,9992	0,428 b	0,030 a b	12,6 c	113 a
70	Si	8834 c	0,242 a	0,9999	3587 c	0,258 a	0,9997	0,406 a	0,016 a	14,23 c	200 b
<u>ES</u>		262	0,0035		105	0,0068		0,0040	0,0062	0,62	15

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Los grupos homogéneos para G'_1 y G''_1 se obtuvieron a partir del Ln de los valores de ambos módulos.

TS: trigo sarraceno; MW: Microondas; G'_1 : Módulo elástico; G''_1 : Módulo viscoso; $\tan(\delta)_1$: pérdida de tangente; a, b y c: parámetros experimentales; $\tau_{\text{máx}}$: esfuerzo máximo; ES: Error estándar agrupado

4.2 Propiedades físicas de los panes

4.2.1 Pérdida de peso y volumen específico

La pérdida de peso de los panes durante el horneado da una idea de la capacidad de retención de agua de los ingredientes que los constituyen. En la tabla 2, se puede observar que las elaboraciones que mayores pérdidas de agua presentaron fueron los panes control (100% de harina de arroz) y los panes constituidos con un 30% de trigo sarraceno sin tratar. Sin embargo tras realizar el análisis de varianza se pudo concluir que ni la dosis ni el tratamiento ejercieron un efecto estadísticamente significativo. Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Alvarez-Jubete et al., (2010).

En cuanto al volumen específico, se pudo observar como en los panes elaborados con harina de TS tratada hidrotérmicamente aumentaban de volumen conforme se incrementaba la dosis de harina tratada, incrementándose su volumen hasta un 25% en el caso de los panes sustituidos con 70% de TS tratado respecto a los nativos con la misma sustitución. Este hecho pudo ser causado por la obtención de almidón dañado en la harina tras el tratamiento, que permitió absorber mayor cantidad de agua, dando lugar a una mayor expansión del producto. En las investigaciones realizadas por Marston et al., (2016) y, Myazaki y Morita (2005), también pudieron observar como los panes elaborados con harinas tratadas hidrotérmicamente con microondas, aumentaban de volumen.

Por el contrario en los panes enriquecidos con harina de TS nativa, se observó un descenso del volumen conforme aumentaba el grado de sustitución de harina de arroz por TS. El descenso en la consistencia de las masas ya comentada anteriormente, y el elevado contenido en fibra asociado a la adición de TS podrían explicar la mayor dificultad de las masas de pan para retener el gas de la fermentación y el menor volumen resultante en los panes obtenidos. Este hecho podría remediarse, al menos en parte, mediante el empleo de hidrataciones de masas adaptadas a la adición de TS. Alvarez-Jubete et al., (2010), observaron mayores volúmenes en los panes con trigo sarraceno, tras ajustar el contenido de agua requerido para su formulación.

Tabla 2: Valores medios y grupos homogéneos para el volumen específico y la pérdida de peso de los panes elaborados según la dosis de trigo sarraceno y del empleo de harina nativa o tratada.

Dosis TS (%)	Tratamiento MW	% Pérdida de peso	Volumen específico
0	Control	19,4 b	3,11 d
30	No	20,9 c	3,07 d
50	No	18,1 a b	2,78 a
70	No	17,1 a	2,89 b
30	Si	17,9 a	2,95 b c
50	Si	18,3 a b	3,00 c
70	Si	18,2 a b	3,84 e
ES		0,43	0,022

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). TS: trigo sarraceno; MW: Microondas; ES: Error estándar agrupado.

A la vista de los resultados obtenidos y tras realizar el análisis de varianza se pudo concluir un efecto significativo del tratamiento microondas de la harina y de la dosis de TS incorporada sobre el volumen específico de los panes. De igual manera también fue significativa la interacción doble (tratamiento*dosis), que muestra que tanto la dosis de sustitución como el tratamiento hidrotérmico aplicado a la harina provocaron cambios significativos ($p < 0,05$) en el volumen de los panes.

4.2.2 Propiedades del color de la corteza y de la miga.

Como se muestra en la tabla 3, la luminosidad de la corteza de los panes constituidos tanto con harina de trigo sarraceno nativa como tratada por microondas aumentó ligeramente conforme se aumentaba la dosis de TS con respecto al pan control, aunque las diferencias respecto al pan control sólo resultaron significativas para el 30% de sustitución. La luminosidad de la corteza del pan, fundamentalmente afectada por la extensión de la reacción de Maillard durante el horneado, pudo verse afectada por la capacidad de retener agua de cada fórmula que determinó la concentración en la corteza de los precursores de esta reacción de pardeamiento no enzimático. En cuanto a la saturación de los panes, las piezas que presentaron mayor viveza de color fueron los panes control seguido de los panes con un 30% de TS tratado y sin tratar. El tono evolucionó desde valores de 57 grados para el pan control hacia valores más bajos, que indican tonos más rojizos 50-51, para las adiciones de TS del 50% y 70%, con independencia de si era nativo o modificado.

El análisis de varianza permitió concluir un efecto significativo de la dosis de trigo sarraceno para la corteza de los panes. Por el contrario, el tratamiento de microondas no permitió concluir efecto significativo alguno. Si fue significativa la interacción doble (tratamiento*dosis), que explica que a dosis más altas de TS sí provocaron cambios en la luminosidad, saturación y tono de la corteza de los panes.

El color de la miga de los panes, principalmente se ve afectado por el color de los ingredientes. La luminosidad de la miga disminuyó significativamente con la adición del 30% de TS, tanto nativo como modificado, y para las adiciones superiores fue aumentando de nuevo para alcanzar panes próximos al pan control. La saturación de la miga disminuyó con la adición de TS nativo respecto al pan control, pero en los panes enriquecidos con TS modificado, la viveza fue similar a la del pan control, superándola incluso, para la adición del 30%. El tono de la miga aumentó con la primera adición del 30% de TS nativo, para después volver a bajar hasta igualarse con el tono del pan control para adiciones superiores. En los panes elaborados con TS tratado por MW el tono de la miga se hizo más amarillenta para dosis más altas, del 50 y 70%.

Tabla 3: Valores medios y grupos homogéneos para el color de la corteza y de la miga de los panes elaborados según la dosis de TS y del empleo de harina nativa o tratada.

		CORTEZA			MIGA		
Dosis TS (%)	Tratamiento o MW	L*	C*	h	L*	C*	h
0	Control	54,41c	35,77d	57,06 cd	63,73d	9,20 c	57,02 a
30	No	43,80 a	31,56 c	53,90bc	57,86a	6,27 ab	74,27 c
50	No	54,15 c	18,32a	51,05ab	63,49 cd	5,66 a	65,25 b
70	No	54,90 c	18,22a	50,48a	61,68 bc	6,98 abc	56,9 a
30	Si	48,33 b	31,95c	58,45d	58,65 a	11,75 d	55,59 a
50	Si	55,64cd	18,64a	52,41 ab	60,99 b	8,17 bc	62,71 b
70	Si	59,12 d	21,11 b	53,33ab	62,75 bc	8,53 bc	63,81 b
ES		1,08	0,39	0,95	0,69	0,69	0,95

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). TS: trigo sarraceno; MW: Microondas; L*: luminosidad; C*: saturación; h: tono; ES: Error estándar agrupado

Se puede concluir que en la corteza de los panes, las variaciones que se observaron en los valores de luminosidad, tono y saturación, pueden ser debidos a las alteraciones de la superficie que presenten los panes. Purlis (2010) describió que la luminosidad de los panes variaba, obteniendo mayor claridad con una superficie uniforme ya que permite reflejar más la luz que una irregular, también pudo observar que el color de la corteza era prácticamente el mismo para todos los panes, debido a la reacción de Maillard y a la caramelización de azúcares tras el horneado.

4.2.3 Alveolado

Con el propósito de observar mejor las diferencias que presenta la densidad alveolar y el tamaño de los alveolos de cada una de las migas estudiadas, en función del tratamiento térmico y la dosis de sustitución aplicada, se escanearon las rebanadas centrales de cada una de las elaboraciones (figura 3).

La miga de los panes control (100% harina de arroz) y la miga de los panes elaborados con harina de trigo sarraceno nativa presentaron menor densidad alveolar y mayor tamaño de alveolos, a diferencia de las migas elaboradas con harina de TS tratada en las que se pudo ver mayor densidad alveolar y menor tamaño de alveolos, en particular los panes con un 30% y un 70% de sustitución con TS tratado. La presencia de alveolos más grandes explica la menor suavidad de la miga. Investigadores como Mariotti et al., 2013 pudieron observar que la presencia de poros medianos en los panes contribuye a un aumento en la blandura de la miga. Por lo tanto los panes que poseían harina de TS tratada presentaron una miga más suave a mayor dosis de sustitución incorporada.

4.2.4 Características de la textura

En la tabla 4 se presentan los parámetros texturales de los panes. Como se puede observar todos los panes elaborados con harina tratada hidrotérmicamente presentaron menores valores de dureza que los panes sin tratar, destacando así la menor dureza de miga de los panes con un 70% de harina de TS tratada hidrotérmicamente y la mayor dureza de los panes con un 70% de harina nativa. Esto indica que los panes elaborados con harina de TS tratada presentaban un miga más suave y más ligera que las piezas sin tratar. Resultados similares obtuvo Marston et

al., (2016) quién tras estudiar el efecto de tratamiento de microondas en la harina de sorgo para elaborar panes sin gluten, observaron que los panes que contenían harina de sorgo tratada presentaban también menores valores de dureza.

Tabla 4: Valores medios y grupos homogéneos para la dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia de la miga de los panes elaborados según la dosis de TS y del empleo de harina nativa o tratada

Dosis TS (%)	Tto MW	Dureza	Elastic	Cohesi.	Gomo.	Mastic.	Resile.
0	Control	2,09c	0,88b	0,41a	0,86 c	0,76b	0,16a
30	No	2,45d	0,94c	0,51d	1,26d	1,19c	0,26d
50	No	2,89e	0,95c	0,47bc	1,32d	1,26c	0,22c
70	No	3,38f	0,94c	0,45b	1,51e	1,43d	0,19b
30	Si	1,74b	0,91b	0,48c	0,83bc	0,76b	0,21bc
50	Si	1,88bc	0,89b	0,39a	0,74b	0,66b	0,15a
70	Si	0,76a	0,84a	0,57e	0,44a	0,37a	0,27d
ES		0,08	0,01	0,01	0,03	0,04	0,008

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). TS: trigo sarraceno; Tto: tratamiento; MW: Microondas; Elastic: elasticidad; Cohesi: cohesividad; Gomo.: gomosidad; Mastic: masticabilidad; Resile: resiliencia; ES: Error estándar agrupado.

En cuanto a los valores de elasticidad, se comprobó mediante un análisis de varianza un efecto significativo del tratamiento de microondas de la harina sobre la elasticidad de la miga, a diferencia de la dosis de TS incorporada que no permitió concluir efecto significativo alguno. Si fue significativa la interacción doble (tratamiento*dosis), que explica que la dosis más alta de TS sí provocó un cambio en las características de la miga, pero solo en el caso en el que la harina adicionada hubiese sido tratada por microondas. Por lo tanto tras los resultados obtenidos podemos concluir que generalmente, los panes que presentaron migas menos elásticas fueron las elaboradas con harina de TS tratada y el pan control.

En cuanto a la cohesividad de la miga se pudo observar que los panes que contenían harina nativa presentaron menor resistencia interna conforme se aumentaba la dosis de TS, a diferencia de los panes elaborados con harina de TS tratada donde se pudo ver un pronunciado incremento de cohesividad en la muestra que poseía un nivel de sustitución del 70%. El análisis de varianza permitió concluir un efecto significativo de la dosis de TS sobre la cohesividad de las masas.

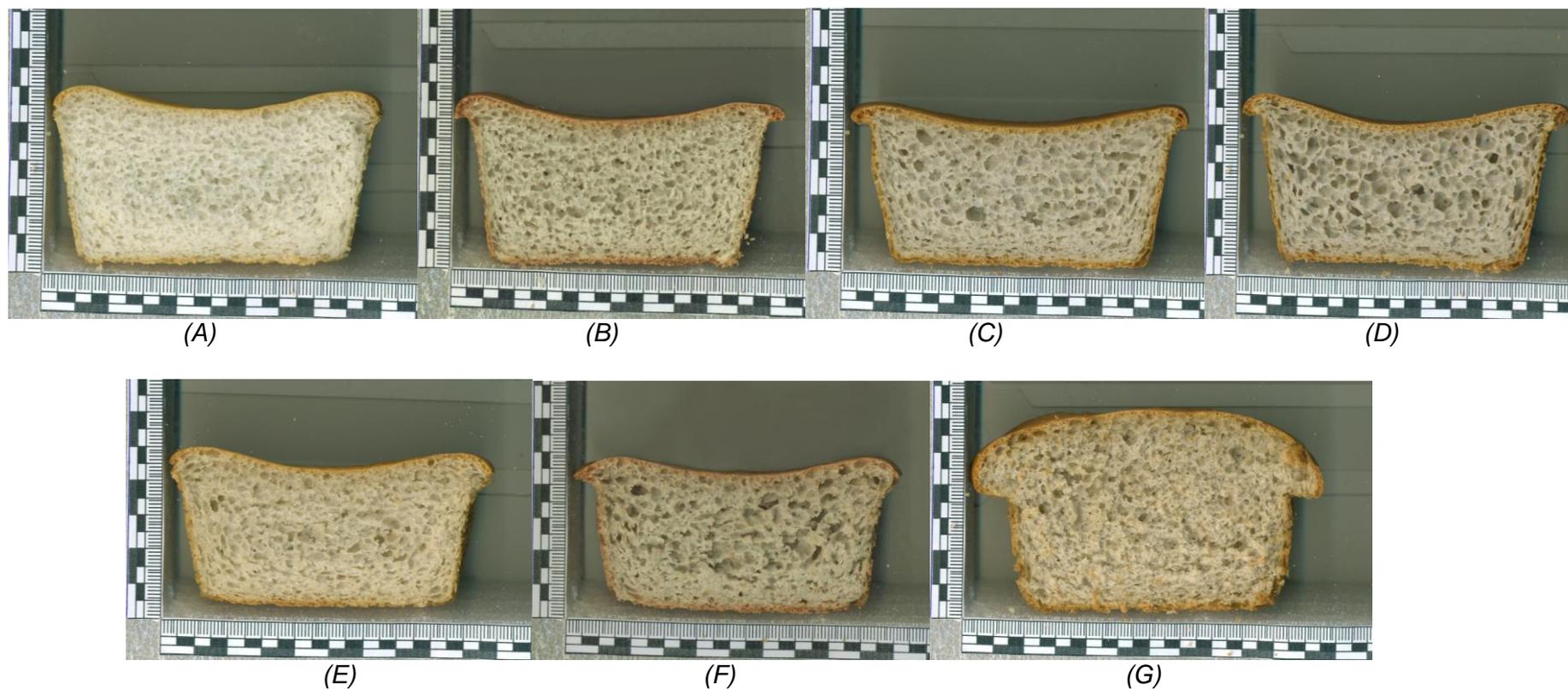


Figura 3: Sección transversal central de la rebanada de pan. Pan elaborado con 100% harina de arroz (A), con un 30% de TS nativo (B), 50% TS nativo (C) y 70% TS nativo (D). Pan elaborado con 30% de TS tratado MW (E), 50% TS tratado MW (F) y 70% TS tratado MW (G).

Los panes elaborados con harina tratada presentaron menores valores de gomosidad que los panes nativos, obteniendo así panes fácilmente desintegrables. Como se muestra en la tabla 4, la muestra que requiere de menor energía para ser desintegrado es el pan que poseía un 70% TS tratado hidrotérmicamente, a diferencia de la muestra con un nivel de sustitución del 70% de harina nativa que presentó el mayor valor de gomosidad, estableciendo una diferencia de hasta un 72,5% entre las muestras. Por lo que podemos concluir, y tras verificarlo mediante la realización de un análisis de varianza, que el factor gomosidad muestra diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento hidrotérmico aplicado a la harina.

Al igual que la dureza, elasticidad, cohesividad y gomosidad, los panes elaborados con harina tratada hidrotérmicamente (MW) mostraron valores inferiores de masticabilidad en comparación a los panes que poseían harina nativa en su formulación, aunque similares a los que presentó el pan control. Dichos resultados reflejan que la miga de los panes sometidos a tratamiento son más blandos y presentan por tanto mayor facilidad de masticación que los restantes.

En cuanto a la capacidad de recuperación instantánea (resiliencia), los resultados no nos permiten extraer conclusiones muy precisas del efecto del tratamiento MW. Los panes que presentaron menores valores son el pan con 50% TS tratado y el pan control, a diferencia las elaboraciones del 30% TS nativo y el 70% TS tratado que reflejaron los mayores valores sin mostrar diferencia entre ellos.

Tras siete días de almacenamiento de los panes, las muestras que menor dureza presentaron, como se puede observar en la tabla 5, fueron los panes elaborados con harina de TS tratada, destacando así el pan con 70% de sustitución como menor incremento de dureza mostrado durante el almacenamiento.

Conforme a los resultados obtenidos y tras realizar el análisis de varianza se pudo concluir un efecto significativo del tratamiento microondas de la harina en cuanto al endurecimiento de la miga de los panes almacenados 7 días. De igual manera también fue significativa la interacción doble (tratamiento*dosis) la cual indica que la dosis más alta de TS sí provocará cambios en la dureza de las muestras pero sólo en el caso de haber sido tratada por microondas.

Tabla 5: Valores medios y grupos homogéneos para la dureza e incremento de dureza, a los 7 días, de los panes elaborados según la dosis de TS y del empleo de harina nativa o tratada.

Dosis TS (%)	Tratamiento MW	Dureza d-7	Incremento de Dureza 0-7
0	Control	4,93 bc	2,83 ab
30	No	5,38 c	3,98 c
50	No	7,42 d	4,53 c
70	No	8,02 d	4,64 c
30	Si	4,60 b	2,86 b
50	Si	4,46 b	2,38 ab
70	Si	2,71 a	1,94 a
ES		0,23	0,27

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). TS: trigo sarraceno; MW: Microondas

4.2.5 Envejecimiento de los panes

En la figura 4, se muestra la cinética de envejecimiento de los panes establecida a lo largo de siete días de almacenamiento a 3°C. Como se puede observar, tras 24h de la elaboración de los panes, las muestras incrementaron su dureza generalmente hasta un 60%. Transcurridas 24h, la firmeza de la miga con un 70% de TS tratada se mantuvo prácticamente constante a lo largo del tiempo, a diferencia de la muestra de TS no tratada donde se pudo observar un notable incremento de dureza conforme transcurría el tiempo. Resultados similares se obtuvieron en la miga control donde se pudo observar un aumento de la dureza hasta el segundo día, a partir del cual se mantuvo prácticamente constante.

La principal causa del endurecimiento de los panes es la retrogradación del almidón, y la migración de humedad entre los componentes del pan. Rogers et al., (1988) confirmaron que la retrogradación del almidón aumenta conforme se incrementa el contenido de agua a los panes. Como generalmente los panes sin gluten poseen mayor humedad, la retrogradación del almidón puede progresar más rápidamente durante el almacenamiento. Reducir la cinética de envejecimiento de los panes sin gluten, como parece se consigue con el empleo de harina modificada con microondas, representa un importante beneficio para los productos sin gluten.

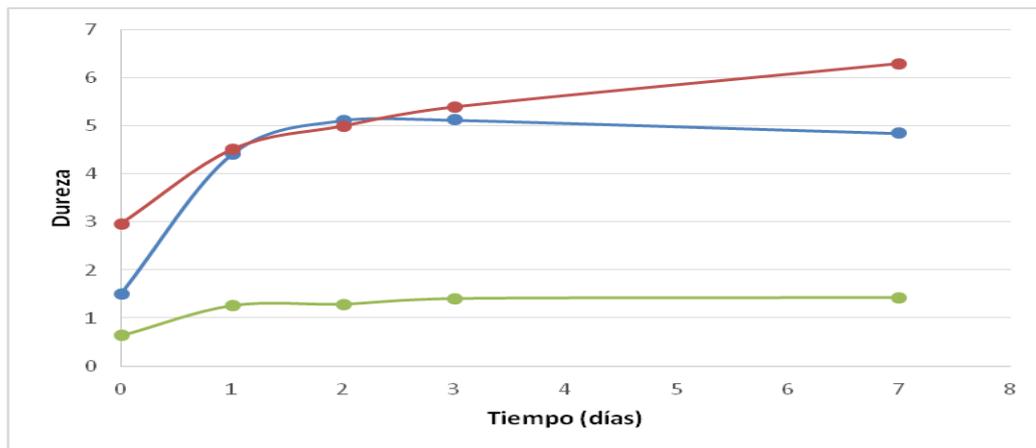


Figura 4: Evolución del envejecimiento de los panes durante siete días. La línea azul representa la miga control (100% harina de arroz), la línea roja la miga con un 70% de TS nativo y la línea verde la miga con un 70% de TS tratado mediante MW.

5. CONCLUSIÓN

Existen diversas tendencias en panificación y todas ellas con el objetivo de mejorar la calidad del pan para aquellas personas que sufren intolerancia al gluten. Prescindir de la red de gluten en el desarrollo de productos es un gran desafío, por eso muchos investigadores buscan fuentes alternas al trigo para la elaboración de productos panificados.

Con este estudio se ha podido observar que la elaboración de masas sin gluten donde se sustituye harina de arroz por harina de trigo sarraceno tanto nativo como tratado hidrotérmicamente mediante microondas, en dosis importantes (30%, 50% y 70%) resulta una alternativa viable, además de interesante desde un punto de vista nutricional. En cuanto a las propiedades físicas de los panes se ha demostrado que el empleo de harina tratada hidrotérmicamente mediante MW mejora la calidad del pan, obteniendo panes con mayor volumen y menor dureza, y por tanto mayor vida útil.

Por lo tanto este trabajo muestra la viabilidad de la incorporación del TS tratado hidrotérmicamente a productos panificados teniendo en cuenta las características reológicas de las masas y propiedades físicas de los panes, ofreciendo un beneficio para aquellas personas intolerantes a la proteína del trigo. No obstante queda pendiente la realización del análisis sensorial con cada uno de los panes elaborados

en el estudio, para ver desde otra perspectiva la aceptación sensorial por parte de los consumidores.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo Fin de Máster se ha realizado en el marco del proyecto (AGL2015-63849-C2-2-R) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y los Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (MINECO /FEDER) y del proyecto de la Comisión Europea, Marie Skłodowska-Curie H2020-MSCA-IF-2015-EF (Ref: 706102).

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E.K., Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230, 437-445.

American Association of cereal Chemists. (1995). Approved methods (9th ed.). Minneapolis, USA: *American Association of cereal Chemists*.

Arranz, E., Montalvillo, E., Garrote, JA. (2012). Inmunopatogenia de la enfermedad celiaca. Enfermedad celiaca y sensibilidad al gluten no celiaca. *OmniaScience*, 7(7), 123-149.

Ashraf, S., Saeed, SMG., Sayeed, SA., Ali, R. (2012). Impact of Microwave Treatment on the Functionality of Cereals and Legumes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14 (3), 365-370.

Cabrera- Chávez, F., Calderón de la Barca, A.M (2010). Trends in wheat technology and modification of gluten proteins for dietary treatment of coeliac disease patients. *Journal of Cereal Science*, 52, 337-341.

Gallagher, E., Kunkel, A., Gormley, R. T., y Arendt, K. (2003). The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research and Technology*, 218, 44-48.

Gujral, H.S., Rosell, C.M. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International* , 37, 75-81.

De la Hera, E., Talegóm, M., Caballero, P., Gómez, M. (2012). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 15, 924-932.

Hager, A., Arendt, K., (2013). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*, 32, 195-203.

Hauser, W., Janke, K., Klump, B., Gregor, M., Hinz, A., (2010). Anxiety and depression in adult patients with celiac disease on a gluten-free diet. *World Journal Gastroenterology*, 16(22), 2780-2787.

Kowalsi, S., Lukasiwickz, M., Bednarz, S., Panus, M. (2012). Diastase number changes during thermal and microwave processing of honey. *Czech Journal of food Science*, 30(1), 21-26.

Lazaridou, A., Biliaderis, C. (2009). Gluten free doughs: Rheological properties, testing procedures- methods and potential problems. Gluten-free. *Food Science and Technology*, 52-75.

Luo, Z., He, X., Fu., Luo, F., G., (2006). Effect of Microwave Radiation on the Physicochemical Properties of Normal Maize, Waxy Maize and Amylomaize V Starches. *Carbohydrate Laboratory, Light Industry and Food College*, 58, 468-474.

Mariotti, M., Pagani, A., Lucisano, M. (2013). The Role of Buckwheat and HPMC on the Breadmaking Properties of some Commercial Gluten-Free Bread Mixtures. *Food Hydrocolloids*, 30 (1), 393-400.

Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *Food Science and Technology*, 65, 637-644.

Miranda- Castro, R., de los Santos- Alvarez, N., Miranda-Ordines, AJ., Lobo-Castanon, MJ., (2016). Harnessing Aptamers to Overcome Challenges in Gluten Detection. *Biosensors*, 6(16), 1-11.

Miyazaki, M., Morita, N. (2005). Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. *Food Research International*, 38, 369-376.

Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products. *Journal of Food Engineering*, 99, 239-249.

Pinkrová, J., Hubáckova, B., kadlec, P., Prihoda, J., Bubnik, Z., (2003). Changes of starch during microwave treatment of rice. *Food Science*, 21, 176–184.

Perez, R., Sosa, M. (2013). Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos. *Ingeniería de Alimentos*, 7 (1), 37-47.

Rogers, D., Zeleznak, K., Lai, C. H. (1988). Effect of native lipids, shortening and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, 65, 398-401.

Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P. A., y Pando, V. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 272-277.

Rosell, M. C., Collar, C., Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21, 452-462.

Sciarini, L.S., Pérez, G.T., Edel León, A., Ribotta, P.D. (2012). Partial-Baking Process on Gluten-Free Bread: Impact of Hydrocolloid Addition. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 1724-1732.

Steffe, J.F., (1995). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, second ed. Freeman Press, East Lansing, MI.

Torbica, A., Hadnađev, M., Dapčević Hadnađev, T. (2012). Rice and Buckwheat Flour Characterisation and its Relation to Cookie Quality. *Food Research International*, 48 (1) 277-283.

Torres, R.L., Gonzalez, R.J., Sánchez, H.D., Osella, C.A., De la Torre, M.A.G. (1999). Performance of rice varieties in making bread without gluten. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 49, 162-165.

Yıldız G. y Bilgiçli N. (2012). Effects of whole buckwheat flour on physical, chemical, and sensory properties of flat bread. *Food Science*, 30, 534–540.