



# **Modificación física de harina de arroz mediante procesos HMT con microondas. Aplicación a la panificación sin gluten.**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2015/16

Alumna: Noelia Carrillo Grande

Tutora: Felicidad Ronda Balbás

Cotutores: José María Muñoz Muñoz  
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

Pág.

Resumen .....	1
Abstract .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Material .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Métodos .....</b>	<b>7</b>
3. 2. 1. <i>Preparación y conservación de las muestras de harina .....</i>	<i>7</i>
3. 2. 2. <i>Análisis de la absorbancia y actividad de agua de la harina de arroz .....</i>	<i>8</i>
3. 2. 3. <i>Tratamiento microondas de las muestras de harina .....</i>	<i>9</i>
3. 2. 4. <i>Estudio de las propiedades de empastado de las harinas tratadas .....</i>	<i>11</i>
3. 2. 5. <i>Evaluación del color de las harinas tratadas hidrotérmicamente .....</i>	<i>11</i>
3. 2. 6. <i>Elaboración de pan .....</i>	<i>12</i>
3. 2. 7. <i>Medida de las propiedades físicas de los panes .....</i>	<i>13</i>
3. 2. 8. <i>Análisis estadístico .....</i>	<i>13</i>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Absorbancia y actividad de agua de la harina .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Tratamiento microondas de la harina .....</b>	<b>16</b>
4. 2. 1. <i>Pérdida de humedad de la harina .....</i>	<i>16</i>
4. 2. 2. <i>Propiedades de empastado de las harinas tratadas .....</i>	<i>17</i>
4. 2. 3. <i>Propiedades de color de las muestras de harina tratadas .....</i>	<i>20</i>
<b>4.3. Propiedades físicas de los panes elaborados .....</b>	<b>21</b>
4. 3. 1. <i>Propiedades de color, volumen y pérdida de peso .....</i>	<i>21</i>
4. 3. 2. <i>Características de textura .....</i>	<i>25</i>
4. 3. 3. <i>Densidad alveolar .....</i>	<i>27</i>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>27</b>
<b>6. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>28</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>28</b>
Anexo .....	31

## RESUMEN

Se han encontrado pocos trabajos sobre el efecto de la radiación microondas en la harina de arroz. Por esta razón, se ha tratado harina de arroz con un contenido elevado de humedad (20 y 30%) a 250 W durante 2, 4, 6 y 8 minutos y se ha elaborado pan con un 30% y 50% de harina tratada durante 8 minutos. Se han analizado las propiedades físicas de la harina de arroz tratada (propiedades de empastado y color) y del pan sin gluten obtenido con la harina tratada. Previamente, se ha incluido un estudio de la capacidad de absorción de radiación de microondas de la harina en función de su humedad. Todas las muestras mostraron un pico de viscosidad, *breakdown*, *setback* y viscosidad final menor que la harina nativa. No se mostró diferencia de color en las harinas. En cuanto a las propiedades físicas del pan, las harinas tratadas incrementaron el volumen específico del pan y disminuyeron la dureza de la miga, mientras que el color de la miga y la corteza no mostró diferencias significativas con el pan control. También se observó que la absorptividad de las harinas aumentó con el contenido de humedad y que la materia seca de la harina es prácticamente transparente a la radiación de microondas.

Palabras clave: Tratamiento con calor y humedad, microondas, harina, absorptividad.

## ABSTRACT

Little work has been reported about the effect of the microwave radiation in rice flour. For this reason, rice flours of high moisture content (20% and 30%) were treated by microwave irradiation at 250 W for 2, 4, 6 and 8 min and bread was made with a 30% and 50% of treated flour for 8 min. Physical properties of treated rice flour (pasting properties and color) and gluten-free bread made with treated flour were analysed. Previously, it has been included a study on absorptivity of microwave radiation according to level moisture of flour. All flour samples showed lower peak viscosity, breakdown, setback and final viscosity than native rice flour. No difference was shown in treated flours color. With regard to bread's physical properties, treated flours increased specific volume and decreased crum hardness, meanwhile crust and crumb color did not show significant differences compared with the control bread. It was also found that flour absorptivity increased according to the humidity and flour dry matter is virtually transparent to microwave radiation.

Keywords: Heat-Moisture Treatment, microwave, flour, absorptivity.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La enfermedad celíaca es un trastorno inflamatorio del intestino delgado desencadenado por la ingestión de gluten (y proteínas similares) en individuos genéticamente predispuestos (Arranz y Garrote., 2010). Esta intolerancia aparece a cualquier edad y se caracteriza por la presencia de anticuerpos, con o sin manifestaciones clínicas (diarrea, pérdida de peso, malabsorción...), o lesión intestinal. El tratamiento actual de esta enteropatía es una dieta libre de gluten, que reduce las posibles complicaciones (anemia crónica, linfoma, osteoporosis, etc.). Su tasa de prevalencia en Europa y los EE.UU. se estima que es de un 1% de la población (Van Hees, et al., 2013). Sin embargo, su prevalencia ha experimentado un claro aumento en los últimos años debido, entre otras causas, a la realización de estudios con grupos de población más amplios; la mejora en el diagnóstico y la introducción temprana del gluten en niños. Este aumento en el número de personas intolerantes conduce a un aumento en la demanda de productos libres de gluten.

El gluten es una proteína presente en cereales como el trigo, la cebada y el centeno. La harina de arroz es una de las más apropiadas para la formulación de productos libres de gluten debido a su sabor suave, aspecto incoloro, propiedades hipoalergénicas, bajos niveles de sodio y contenido de carbohidratos fácilmente digeribles (Torbica et al., 2012). Sin embargo, las proteínas del arroz no tienen la capacidad de formar una red que retenga los gases producidos en la fermentación y el horneado (Gujral y Rosell., 2004), por ello se están realizando cada vez más investigaciones para el desarrollo de productos a base de cereales sin gluten y con propiedades similares a los productos convencionales que sí lo contienen.

El grano de arroz se descascarilla y pule para obtener arroz blanco. Durante este proceso se elimina la capa de aleurona y el pericarpio; y se obtienen como subproductos granos de arroz partidos, los cuales se destinan a la fabricación de harina de arroz. El tamaño de partícula de la harina, depende del tipo de molienda y molino utilizado; e influye en las características del pan, observándose un aumento del volumen específico a medida que aumenta el tamaño de partículas (Mancebo et al., 2015). Esto podría estar relacionado con la absorción de agua que se requiere para mantener constante la consistencia de batido y la capacidad para retener el gas, producido en la fermentación, durante el proceso de cocción (Torres et al., 1999). Por ello, es más conveniente la utilización de harina con mayor tamaño de partícula para

proporcionar un mayor volumen y menor dureza a los panes resultantes (De la Hera, et al., 2012).

El almidón es el constituyente principal de la harina de arroz y un importante elemento estructural para muchos productos elaborados a base de arroz (Sasaki et al., 2009). El gránulo de almidón es un sistema semicristalino, que consta de regiones cristalinas y amorfas, compuestas por amilosa y amilopectina. Las propiedades fisicoquímicas del almidón y su idoneidad para diversas aplicaciones industriales depende de la composición y estructura de las moléculas de amilosa y amilopectina, las propiedades de ramificación de las moléculas de amilopectina, el tamaño y morfología de los gránulos (Zavareze et al., 2010; Boren, et al., 2008). El almidón de arroz no es tan ampliamente utilizado como los almidones de otras fuentes, debido al alto valor del arroz molido como alimento. En su forma nativa, tiene un uso limitado en la industria, por lo que se le somete a modificaciones físicas y químicas para mejorar sus propiedades. El almidón modificado físicamente mediante humedad, calor, cizallamiento o radiación ha ganado una aceptación más amplia porque no contiene restos de reactivos químicos, es de bajo costo, respeta el medio ambiente y es acorde con las tendencias sociales hacia productos naturales (Zavareze et al., 2010).

Los tratamientos hidrotérmicos, como el tratamiento por calor y humedad (HMT), son técnicas que cambian las propiedades fisicoquímicas del almidón sin destruir su estructura granular. El grado de modificación depende de la composición del almidón, el origen, y la relación amilosa-amilopectina, así como de la disposición de las cadenas de almidón dentro de las regiones amorfas y cristalinas de los gránulos nativos. Estos procesos requieren el control de la humedad, la temperatura y el tiempo de calentamiento (Chung et al, 2009). El HMT se realiza en condiciones de humedad de 10-30% y temperaturas entre 90 y 120°C (Maache-Rezzoug et al., 2008).

Se han realizado estudios sobre la elaboración de productos con almidones tratados hidrotérmicamente. La mayoría de los estudios han implicado almidones de diferentes fuentes, tales como arroz, patata, tapioca, trigo, maíz y sorgo. Sin embargo, se han realizado pocas investigaciones sobre el efecto del tratamiento por calor y humedad en los almidones de arroz (Zavareze et al., 2011). Independientemente del origen del almidón, el HMT promueve un aumento de la temperatura de gelatinización de transición, una ampliación del rango de temperaturas de gelatinización, una disminución de la hinchazón granular (Horndok y Noom horm, 2007), favorece la lixiviación de amilosa, y un aumento en la estabilidad térmica. Además, en función de la fuente de almidón y las condiciones de tratamiento, se pueden producir cambios en

el patrón de rayos X, la formación de complejos de amilosa-lípido, la interrupción de la cristalinidad, y un aumento o disminución en la susceptibilidad enzimática (Zavareze y Dias, 2011). Zavareze et al. (2010) concluyeron en un estudio con almidones de arroz de bajo, medio y alto contenido de amilosa; que el tratamiento HMT (110°C/15-25% humedad/1h) aumenta la temperatura de *pasting* o temperatura a la que los gránulos de almidón comienzan a hincharse, y la susceptibilidad del almidón a la enzima  $\alpha$ -amilasa y promueve una reducción en la cristalinidad relativa, el pico de viscosidad, el *breakdown* o la diferencia entre el pico de viscosidad y la viscosidad de caída, la viscosidad final y el *setback* o diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída. Horndok y Noom horm (2007) reportó que el HMT aumenta la dureza del gel de almidón tratado (27% amilosa) con un 15-20% de humedad. Para tratamientos del 25% de humedad no se encontró diferencia con el almidón nativo. Esto se atribuye a una posible gelatinización parcial, dando lugar a un gel menos rígido debido a un colapso parcial de la estructura del gránulo. En cuanto al efecto sobre las propiedades de empastado, la disminución del *breakdown* inducida por HMT demuestra que los almidones son más estables durante el tratamiento con calor y agitación continua. Khunae et al. (2007) investigaron el efecto de este tratamiento a 100°C, 18-27% humedad y 16h, en las propiedades estructurales y térmicas de almidones de arroz glutinoso o *waxy* (1,4% de amilosa), arroz Jasmín (15,0% de amilosa) y arroz Chiang (20,2% de amilosa). El patrón cristalino tipo A de los almidones se mantuvo sin cambios, mientras que la cristalinidad relativa y la ordenación molecular a corto alcance de la estructura amorfa de almidones glutinoso y Jasmín disminuyeron al aumentar el nivel de humedad. Por el contrario, la cristalinidad relativa del almidón Chiang tratado permaneció prácticamente sin cambios. Todos los almidones Chiang tratados presentaron un patrón tipo V, con complejos amilosa-lípido. A medida que aumentaba el nivel de humedad del tratamiento, aumentaba el pico del complejo amilosa-lípido. Ensayos de calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostraron un aumento de la temperatura de gelatinización y un amplio intervalo de temperatura de gelatinización para todos los almidones de arroz Chiang y Jasmín tratados a un nivel de humedad de 27%. Esta temperatura dependía directamente del nivel de humedad. Asimismo, se observó que el HMT no alteró el tamaño y la forma de los gránulos de almidón, pero a un 25% humedad los gránulos de almidón de alto y medio contenido de amilosa estaban más agregados y tenían una superficie más irregular; y los de bajo contenido de amilosa mostraron signos de pérdida de integridad física.

El tratamiento con microondas (MW) proporciona un método más rápido que el horneado convencional para realizar el tratamiento HMT. Las MW son ondas electromagnéticas que absorben moléculas polares e ionizables (agua y sales minerales, principalmente) en el rango de frecuencia de 300-300,00 MHz y se orientan en la dirección del campo magnético. La rotación de las moléculas genera calor debido a la fricción y choque entre ellas, dando lugar a un aumento rápido de la temperatura, hecho que diferencia el calentamiento con MW de los tratamientos térmicos tradicionales (Román et al., 2015). Se han realizado estudios sobre el impacto del tratamiento MW en las propiedades físicoquímicas, estructurales y funcionales de cereales, legumbres y almidones de cereales, pero el efecto en harina ha sido poco estudiado. Ashraf et al., (2012) estudiaron el efecto del tratamiento MW (100 g muestra/50, 90 y 300 s de MW) en las propiedades funcionales de harina de trigo y de frijol rojo. Se demostró que el MW mejoraba la capacidad para retener agua, la absorción de aceite, la capacidad emulsionante y de formación de espuma y el índice de solubilidad de las proteínas. Román et al., (2015) comprobaron que la radiación MW (1,2 y 4 min/30% humedad) sobre harina de maíz hacía que las partículas fueran más compactas y los gránulos de almidón estuvieran menos hinchados. Se observó un cambio en la estructura, con la formación de complejos amilosa-lípidos y un aumento de la temperatura de comienzo, temperatura de pico y entalpía de gelatinización a tiempos más largos de tratamiento. Conjuntamente, se indicó que a tiempos más largos de tratamiento, menor era el pico de viscosidad y el *breakdown*. Lewandowicz et al., (2000) demostró que el tratamiento hidrotérmico con MW (60 min./30%humedad) aumentaba el rango de temperaturas de gelatinización y disminuía la solubilidad y cristalinidad. El grado y tipo de cambios dependía del tipo de almidón, mostrando los almidones de trigo y maíz cambios más pronunciados que los de maíz waxy. Luo et al., (2006), comprobaron que el tratamiento HMT con MW (20 min./30%humedad) no producía cambios en el tamaño y forma de los gránulos de almidón de maíz normal, waxy y amilomaíz V. Sin embargo, la superficie se volvía porosa y el patrón de rayos-X cambiaba de tipo B a A+B para el amilomaíz. El poder de hinchamiento, la solubilidad, la sinéresis, la entalpía de gelatinización y la viscosidad disminuyeron y las temperaturas de transición de gelatinización y la temperatura de *pasting* aumentaron. Se ha comprobado que existe una fuerte correlación entre el contenido de humedad de las muestras irradiadas y las curvas de viscosidad. En almidones de patata y tapioca, tratados con más del 20% de humedad, la bajada de viscosidad era más pronunciada y la temperatura de gelatinización más elevada. Sin embargo, a un 20% de humedad el perfil de viscosidad era el mismo que el del

almidón nativo (Lewandowicz et al., 1997). Asimismo, el tratamiento con MW ha reportado efectos positivos en las propiedades nutricionales del pan (Demir et al., 2014). La adición de fracciones de salvado, germen y harina de trigo integral tratadas con MW, aumentó la actividad antioxidante, la digestibilidad in vitro de proteínas, y el contenido de minerales del pan elaborado y disminuía el contenido de ácido fítico, un importante antinutriente que reduce el efecto de algunos minerales y la biodisponibilidad proteínas.

Uno de los temas más estudiados en el desarrollo de panes sin gluten han sido las mezclas de harinas y almidones. Se han elaborado panes a partir de harina de arroz, almidón de tapioca y maíz (López, et al., 2004; Schamne, et al., 2010). El pan elaborado con almidón de maíz presentó mayor volumen y el elaborado con harina de arroz mejor textura de la miga, color y calidad sensorial. La mezcla de harina de arroz y de los dos almidones aportaba mayor dureza que la de almidones solos. La adición de harina de soja o de sorgo a la mezcla de almidones y harinas para mejorar los panes también se ha estudiado (Sánchez, et al., 2002; Milde, et al., 2012). La primera aumentaba la calidad de la miga, disminuyendo el número de alveolos. No se han encontrado estudios que evalúen la calidad del pan elaborado a partir de harina de arroz tratada hidrotérmicamente con MW. Hormdok y Noom (2007) estudiaron la calidad de los noodles elaborados a base de almidón y harina de arroz tratada con calor y humedad (100-110°C/15-25% humedad/0,5-1,5h). Se comprobó que estos productos adquirirían mayor calidad en la cocción y mejor textura que los elaborados a base de harina sin tratar. Además, se observó una fuerte correlación de los parámetros obtenidos de ensayos de viscosidad mediante RVA y la textura de gel elaborado con la harina tratada con la cocción y la textura de los noodles. De la misma manera, Marston et al., (2016) comprobaron que el tratamiento térmico de harina de sorgo en seco a dos temperaturas (95 y 125 °C) durante 15, 30 y 45 minutos producía cambios en la viscosidad que estaban relacionados con la calidad del pan elaborado a partir de ésta, por lo que estos parámetros podrían llegar a ser un método práctico para la predicción de la calidad del pan y otros productos. También, se evidenció que los panes elaborados con harina de sorgo tratada mostraron mayor volumen específico y mejores cualidades sensoriales. Por contra, Miyazaki y Morita (2005) elaboraron pan con almidón de maíz tratado por HMT y reportaron que éste tenía menor volumen específico y suavidad de la miga. En cambio, con la adición de materia grasa el volumen fue mayor y la suavidad de la miga la misma.



Aunque se han descrito cambios por el tratamiento con calor y humedad en harina de diferentes fuentes, no hay estudios que indiquen el efecto del tratamiento hidrotérmico mediante microondas en la harina de arroz, ni tampoco su impacto en el pan resultante elaborado con harina tratada. Por ello, sería necesario estudiar el efecto del microondas en la harina de arroz y en la elaboración de pan.

## **2. OBJETIVO.**

El principal objetivo de este trabajo fue la modificación física de harina de arroz (con humedades del 20% y 30%) mediante tratamiento hidrotérmico con radiación de microondas para mejorar su aplicabilidad a la panificación sin gluten. Se estudiaron los cambios en el perfil de viscosidad de la harina de arroz, tratada con microondas, frente a la harina nativa en función de los distintos niveles de humedad y tiempos de tratamiento, propiedades que se correlacionaron con los parámetros de calidad del pan. El trabajo también incluye un estudio del grado de interacción de la harina con la radiación de microondas (desfase y atenuación) en función de su humedad.

## **3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

### **3. 1. Material.**

La harina de arroz empleada (Herba NAT 300), de la subespecie indica, fue suministrada por Herba Ricemills S.L.U. (Tarragona, España), con aproximadamente 13% de humedad, <0,9 % de cenizas, >6.5% de proteína, <10 ppm de gluten, <1% de grasa, y sin tratamientos de conservación contra plagas. La distribución del tamaño de partícula fue de un 1%<250 µm, 250µm> 10-20%> 210 µm, 210µm> 35-45%> 150 µm, 150µm> 20-35%> 100 µm y un 10-20 %<100 µm (datos proporcionados por el fabricante). La sal, azúcar y aceite de girasol utilizados en la panificación fueron adquiridos en el mercado local. La levadura fue de la marca European (Instant Dry Baker's Yeast) de la empresa Akmaya Group; y el HPMC (Hidroxipropilmetilcelulosa), de la marca Down, fue suministrado por Dow Chemical Company (Míchigan, EE.UU).

### **3.2. Métodos.**

#### 3. 2. 1. Preparación y conservación de las muestras de harina.

El contenido de humedad de la harina de arroz de partida se midió siguiendo el método oficial 44-19 (AACC, 1995) mediante una balanza Cobos Precisión AX-200 (Barcelona, España) y una estufa BINDER de calor y de secado Avantgarde.Line (Tuttlingen, Alemania), y se calculó el agua necesaria para ajustarlo al valor seleccionado. Para la medida de la Absortividad y la actividad de agua se ajustó harina

de arroz al 2.5%, 5, 10, 13, 15, 20, 25, 30 y 39% de humedad (con un margen de error de  $\pm 0,5\%$ ); y 20 y 30% de humedad para el análisis de las propiedades de empastado. Con el fin de conseguir las humedades superiores al 13% se pulverizó la cantidad de agua apropiada mientras se mezclaban en una mezcladora Bear Teddy Mixer Mono Equipment (Modelo Bear 5L Teddy, Swansea, Reino Unido.) durante 10 minutos. La harina al 2,5% de humedad se obtuvo introduciendo muestras de harina inicial en un liofilizador FreeZone 1 series - Labconco (Kansas City, EE.UU.). Las harinas de humedades intermedias se obtuvieron mediante mezcla de harinas de diferentes humedades en las proporciones adecuadas. A continuación, las muestras se dejaron reposar 24 h a  $4 \pm 2$  °C con el fin de equilibrar el contenido de humedad. Cuando el contenido de humedad era correcto se envasaba la harina en botes cerrados herméticamente y se conservaban en refrigeración a  $4 \pm 2$  °C.

Se procedió de la misma manera para la preparación de muestras de harina, al 20% y 30% de humedad, para el tratamiento microondas. La harina se envasó en bolsas de poliamida-polipropileno cerradas herméticamente mediante termosellado, que se congelaron 1-2 h a -80°C, y luego se mantuvieron a -28°C, para evitar el crecimiento microbiano hasta su tratamiento posterior.

### 3. 2. 2. Análisis de la absorbancia y actividad de agua de la harina de arroz.

Se distribuyeron de manera homogénea, en placas de Petri, nueve muestras de harina con diferente contenido de humedad (2.5, 5, 10, 13, 15, 20, 25, 30 y 39%) prestando especial atención a su distribución uniforme.

La medida de la absorbancia se realizó en un analizador vectorial de redes Keysight (Agilent) E5071C, conectado con cada uno de los puertos a una transición coaxial - guía de ondas (WR340) mediante un atenuador de 40dB colocado junto a la transición. La misión de los atenuadores fue reducir el desajuste de impedancias entre la línea coaxial que une el analizador de redes (50 ohms) y la transición (impedancia dependiente de la muestra que se coloque), reduciendo las ondas estacionarias en esas líneas y mejorando la calidad de la medida. Ambas transiciones se encuentran enfrentadas, a distancia fija, y entre ellas se colocó la placa Petri, de 11 mm de profundidad, con la muestra enrasada. El equipo opera entre 2 y 3 GHz, midiendo el coeficiente de scattering S12, y se calibró con una placa Petri vacía. En esas circunstancias se ajustaron los 0 dB y 0° de desfase. La medida se realizó a una frecuencia de 2,5 GHz, pero se registró la banda completa, entre 2 y 3 GHz para posterior referencia. Antes de medir la absorbancia, se registró el peso de cada una de las muestras. El análisis de cada muestra se realizó al menos por duplicado.

Para un líquido la ley de Lambert-Beer se aplicaría directamente, ya que el llenado de las celdas es igual en cada muestra (la celda se llena completamente). En el caso de la harina, la medida de la absorbancia es más compleja. Si tratamos de aplicar la ley de Lambert-Beer, el agua se comportaría como soluto y la harina como disolvente, quedando entre las partículas de ésta espacios que contienen aire. Estos espacios suponen un llenado parcial de la celda, por lo que para tener en cuenta esto, se normalizó la masa.

Los resultados de la absorbancia se reflejaron en términos de atenuación, calculada como la relación entre la potencia recibida con muestra y la recibida sin ella (medida en dB); y desfase, calculado como el desplazamiento de fase de la señal recibida al colocar la muestra (medido en grados).

$$\alpha = 20 \log \left| \frac{S_{12}(\text{lleno})}{S_{12}(\text{vacío})} \right| \quad \theta = \arg \frac{S_{12}(\text{lleno})}{S_{12}(\text{vacío})}$$

En términos de potencia se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = 10 \log \frac{P(\text{lleno})}{P(\text{vacío})}$$

donde  $\alpha$  es la atenuación,  $P(\text{lleno})$  es la potencia detectada con la muestra colocada y  $P(\text{vacío})$  la potencia detectada con la placa Petri vacía.

La atenuación de la muestra se relaciona con las pérdidas dieléctricas de la harina estudio, mientras que el desfase se relaciona directamente con la permitividad dieléctrica de dicha harina.

La actividad de agua ( $a_w$ ) de estas harinas se midió mediante el sistema modular de medición de la humedad Testo 650 (Lenzkirch, Alemania). Para ello se prepararon nueve muestras de harina de aproximadamente 20 g con diferentes humedades (2.5, 5, 10, 13, 15, 20, 25, 30 y 39%). Todas las medidas se realizaron por duplicado y a 25°C. Los resultados se representaron en forma de gráfico, como isoterma de absorción a 25°C. Posteriormente, se representó el grado de interacción de la harina con la radiación de microondas (desfase y atenuación) en función de su humedad y  $a_w$ . Para evaluar la relación de la humedad, con el desfase y la atenuación se ajustaron los datos a dos ecuaciones polinómicas y se compararon las  $R^2$ .

### 3. 2. 3. Tratamiento microondas de las muestras de harina.

Se llevaron a cabo varios tratamientos de microondas previos con el fin de establecer las condiciones de trabajo para el tratamiento microondas. Se establecieron los tiempos de los ciclos de reposo-tratamiento microondas que se aplicaron, el contenido

de humedad inicial de las harinas tratadas y la temperatura de las harinas. Se probaron dos contenidos diferentes de humedad (20 y 30%), seis tratamientos microondas (2, 4, 6, 8, 12 y 16 minutos) y dos pesos de muestra (50,0 y 100,0 g); así como diferentes ciclos de tratamiento MW y parada. Finalmente se decidió tratar 100 g de muestra (al 20 y 30% de humedad) con ciclos de 20 s de tratamiento MW y 40 s de parada (24 minutos totales) para la elaboración de pan; y 6, 12, 18 y 24 minutos totales para el estudio de las propiedades de empastado (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tratamientos microondas para el estudio de las propiedades de empastado de la harina y la elaboración de pan (última fila).

Ciclo (s de MW/ s de parada)	Tiempo total/ciclo (s)	nº ciclos totales	Tiempo total tratamiento MW (min)	Tiempo total de parada (min)	Tiempo total (min)
20/40	60	6	2	4	6
20/40	60	6	4	8	12
20/40	60	6	6	12	18
20/40	60	6	8	16	24

Antes del tratamiento microondas, cada muestra de harina de arroz se descongeló y mantuvo 15 minutos en una cámara a 25°C para su atemperación. Se pesaron 100 g en un recipiente cilíndrico de polietileno de alta densidad de 2L de capacidad con tapón roscado. El envase tenía acoplado en su base una válvula con una lámina plástica (polietileno y polipropileno) perforada que permitía trabajar a presión atmosférica. El recipiente con la harina se introducía en el horno microondas SHARP R-342 (Osaka, Japón) adaptado para facilitar su volteo continuo durante el tratamiento. Este movimiento facilitaba la homogeneidad del tratamiento MW en toda la muestra de harina. La frecuencia de la radiación microondas era de 2450 MHz.

La potencia de microondas, de 900 w, se aplicó en ciclos de tiempos de 20 segundos a intervalos combinados con tiempos de parada de 40 segundos. En estas condiciones los botes de muestras resistieron la presión de vapor de agua sin romperse durante el tratamiento. Las muestras se dejaron en el microondas durante cinco minutos adicionales, posteriormente se mantuvieron otros 30 minutos a temperatura ambiente y se almacenaron en recipientes herméticos de plástico a 4 °C hasta su análisis posterior.

El contenido de humedad de la harina antes y después del tratamiento con microondas se determinó por duplicado según el método AACC 44-19. La temperatura de las muestras de harina antes y después del tratamiento se controló con un termómetro estanco Testo 108-2 (Lenzkirch, Alemania). Se realizaron en total cuatro tratamientos microondas a diferentes tiempos (2, 4, 6 y 8 min) a cada una de las harinas con diferente humedad (20 y 30%), para el análisis de las propiedades de pasting. Para la

elaboración del pan se emplearon harinas tratadas durante 8 minutos de tratamiento MW. Para conseguir la cantidad necesaria para cada elaboración se precisaron seis tratamientos microondas de 8 minutos a cada una de las harinas con diferente contenido de humedad (20 y 30%).

Las pérdidas de agua suponen un 14-22%. Algunos experimentos descritos en la literatura describen pérdidas del 5 al 13% en muestras tratadas durante 6 minutos y otros estudios que también utilizan recipientes abiertos o no cerrados herméticamente (vasos de precipitados de vidrio sellados con una película de polietileno perforada) no indican el contenido de humedad retenido. En este estudio es necesario el control de la humedad, sobre todo de la humedad inicial de las harinas tratadas, sin embargo la humedad final no es de extrema importancia para obtener resultados concluyentes.

#### 3. 2. 4. Estudio de las propiedades de empastado de las harinas tratadas.

Las propiedades de empastado se estudiaron mediante el equipo RVA-4 (Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific Pvt. Ltd., Australia) utilizando el método estándar ICC 162. Este método consiste en someter a la mezcla de harina (3 gr. aprox.) y agua (25 gr. aprox.) a un acondicionamiento previo de 1 minuto a 50°C, seguido de un calentamiento de 50 a 95°C, a una velocidad de 12,16°C/min; mantenimiento un tiempo (3,30 minutos) a esa temperatura y después enfriando hasta llegar a los 50°C, a una velocidad de 11.8°C/min, manteniendo esta temperatura durante 2 minutos.

Se realizaron al menos dos perfiles de RVA para cada muestra, dos para cada tratamiento, y se registraron los siguientes parámetros: Temperatura de *pasting* (temperatura a la que los gránulos de almidón comienzan a hincharse y gelatinizar debido a la absorción de agua), *Peak viscosity* (viscosidad máxima alcanzada por la pasta), *Peak time* (tiempo al cual se alcanza la máxima viscosidad), *Trough viscosity* (viscosidad mínima registrada en la etapa final cuando la temperatura es de 95 °C), Viscosidad final (viscosidad a 50°C), *Breakdown* (diferencia entre el pico de viscosidad y el *Trough viscosity*) y la retrogradación o *Setback* (diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída) calculados a partir de la curva de viscosidad mediante el software Thermocline v.2.2 (Newport Scientific Pty. Ltd, Warriewood, Australia) para Windows.

#### 3. 2. 5. Evaluación del color de las harinas tratadas hidrotérmicamente.

Las muestras de harina se introdujeron en cápsulas de plástico de unos 20 g y se extendieron de manera uniforme en la superficie. El color se evaluó mediante el espectrofotómetro MINOLTA CM-508i (Japan) en el sistema de especificación CIE L\* a\* b\*. La luminosidad se determinó directamente con L\* y los valores de cromaticidad,

tono (h) y saturación (C\*), se calcularon a partir de las coordenadas a\* y b\* mediante las siguientes fórmulas:

$$C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$$

$$h = \arctg(b^*/a^*)$$

Se estableció la diferencia de color de las harinas tratadas con respecto a la harina sin tratar mediante la ecuación:  $\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$

donde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  son las diferencias en L\*, a\* y b\* entre las dos muestras.

### 3. 2. 6. Elaboración de pan.

El proceso de elaboración de la masa se realizó utilizando la siguiente fórmula en base a 100 gramos de harina de arroz al 13% de humedad: 5% de azúcar, 1.5% de sal, 2 % de HPMC, 6% de aceite, 3% de levadura y 95% de agua.

**Tabla 2.** Elaboraciones realizadas.

Elaboración	Harina de arroz (%)	Harina tratada (%)	% Humedad	Tiempo de MW
1	100	0	-	-
2	70	30	20	8
3	50	50	20	8
4	70	30	30	8
5	50	50	30	8

Para la realización de los ensayos se pesaron 300 g de harina de arroz (con el porcentaje de harina tratada según la elaboración de la que se tratara , Tabla 2), 15 g de azúcar, 4.5 g de sal y 6 g de HPMC en una cubeta de amasado y se mezclaron a velocidad 2 durante 2 minutos en una amasadora KitchenAid Professional (KPM5). Terminado este periodo de tiempo, se añadieron 18 g de aceite y se procedió a mezclar en la misma amasadora durante 2 minutos a velocidad 2. Posteriormente, se disolvieron 9 g de levadura en 100 g de agua fría y se añadió el resto de agua hasta alcanzar un 95% de agua en cada elaboración. Se incorporó la mezcla de agua y levadura al resto de ingredientes mientras se mezclaba en la amasadora durante 2 minutos a velocidad 2. A continuación, se subió la velocidad de la amasadora a 4 y se mantuvo durante 6 minutos. Finalmente, se repartió la masa de manera homogénea en tres recipientes (180 g por cada molde) y se introdujo la bandeja con las masas en la fermentadora, 50 minutos a 28°C y 85% de Humedad Relativa. Una vez precalentado el horno, se hornearon las masas de pan durante 20 minutos a 170°C, en un horno Sveba Dahlin, con convección de aire y giro en continuo de la bandeja de horneado. Terminado este proceso, se dejaron enfriar los panes durante 1 hora.

### 3. 2. 7. Medida de las propiedades físicas de los panes.

Los tres panes obtenidos en cada una de las elaboraciones, se pesaron a la hora de salir del horno. La pérdida de peso en gramos de cada uno de los panes elaborados se evaluó con una balanza de precisión Sartorius Talent TE6101 (Gotinga, Alemania). Se eligieron dos de los tres panes para su medida en fresco y se reservó el otro para su evaluación a los siete días. Este pan se mantuvo en refrigeración (a 4 °C) en bolsa hermética hasta su análisis.

Se realizaron fotografías de lateral y de frente de los dos panes enteros elegidos en cada elaboración mediante una cámara Canon PowerShot SX410 IS, así como de dos rebanadas de 2 cm de grosor de cada uno de los panes, usando una plantilla milimetrada. Igualmente, se realizó un escaneado de las dos rebanadas centrales de cada pan, para evaluar mejor la densidad alveolar de la miga de cada uno de los panes elaborados.

El color, al igual que el de la harina, se midió con el espectrofotómetro MINOLTA CM-508i (Japan). Se realizaron cuatro medidas de los panes enteros, una por cada cuadrante, y dos de las rebanadas, una por cada una de las caras. Los resultados se mostraron en el sistema de especificación CIE L\*, a\* y b\*. La luminosidad se determinó directamente con L\* y los valores de cromaticidad, de tono y saturación con a\* y b\*.

El volumen específico de los panes enteros se midió con un medidor láser de volumen BVM-L370 Volume Analyser (Texvol Instruments, Viken, Sweden). La medida se realizó por duplicado. Los resultados se registraron con el programa "Volscan Profiler". La textura de la miga se evaluó con el texturómetro TA-XT2 Texture Analyser (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido.), realizando un ensayo de doble compresión "Texture Profile Analysis" (TPA) para penetrar 50% de profundidad, a 1 mm/s de velocidad con un retardo de 30 segundos entre la primera y segunda compresión. Para ello se utilizó una sonda de aluminio cilíndrica de 20 mm de diámetro. La medida se realizó en una de las caras de cada rebanada (de 2 cm de espesor), en las dos rebanadas centrales de cada uno de los panes. Los resultados de dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia se registraron con el software "Texture Expert". Para evaluar el envejecimiento de cada pan, se determinó el incremento de dureza tras una semana de almacenamiento a 4°C.

### 3. 2. 8. Análisis estadístico.

Para los cálculos estadísticos se utilizó el programa informático Statgraphics Centurion XVII (Bitstream, Cambridge, MN, USA). Se realizaron análisis simples de varianza (ANOVA) para determinar los efectos del tiempo de tratamiento microondas y la

humedad de la harina, por separado, en el color de la harina y sus propiedades de empastado. Asimismo, también se realizó un análisis multifactorial (ANOVA), para evaluar el efecto del tratamiento hidrotérmico en su conjunto, en las mismas propiedades de las harinas. Los datos de color, textura, volumen específico y pérdida de peso de los panes elaborados se trataron de la misma manera, utilizando el test de la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher ( $p < 0,05$ ), para todas las medias de los datos experimentales.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1. Absorbancia y actividad de agua de la harina.

Los datos correspondientes a la atenuación, desfase y actividad de agua, se recogen en la Tabla 3 y se representaron gráficamente junto a la isoterma de absorción de la harina (Figura 1). Como se puede observar en la Figura 1, el contenido de agua libre en la harina es mayor según aumenta su contenido de humedad. Pero, a partir de del 25% de humedad, la actividad de agua es próxima a 1 y la mayor parte del agua está como agua libre.

**Tabla 3.** Medias de las medidas de atenuación y desfase para harinas con diferentes porcentajes de humedad y actividad de agua ( $a_w$ ).

Humedad muestra (%)	$a_w$	Atenuación (dB/g)	Desfase (°)
2,5	0,027	0,00114	22,00
5	0,085	0,00300	22,70
10	0,343	0,00976	26,65
13	0,627	0,01559	25,75
15	0,764	0,02034	29,40
20	0,940	0,02960	34,80
25	0,999	0,03734	37,40
30	0,999	0,05457	48,90
39	0,999	0,10445	71,55

Existe una buena relación entre la atenuación, la actividad de agua y la humedad. La atenuación aumenta según va aumentando el agua libre, pero cuando la mayoría del agua es libre ( $a_w=0,999$ ) la atenuación sigue elevándose. Esto nos indica que cuanto mayor es la cantidad total de agua contenida en la harina, independientemente del agua libre, menor es la señal que llega al receptor. Esto se debe, por una parte, a que existe una mayor absorción de radiación por parte de la muestra; y por otro lado, a que la proporción de radiación incidente que es reflejada por la muestra es mayor, dado que su permitividad dieléctrica también lo es. La unión de estos dos efectos justifica la



desviación positiva respecto de la ley de Beer que muestra la curva de absorción, aproximándose más a un comportamiento cuadrático que a uno lineal.

El aumento de la atenuación en muestras de harina con diferentes porcentajes de humedad, pero misma actividad de agua (próxima a 1), se cree que puede deberse a que el pequeño porcentaje de agua ligada tiene la capacidad de absorber radiación microondas. Este hecho no se puede confirmar, ya que cabe la posibilidad de que el aumento de la atenuación se deba a un aumento de la radiación reflejada y no de la absorbida.

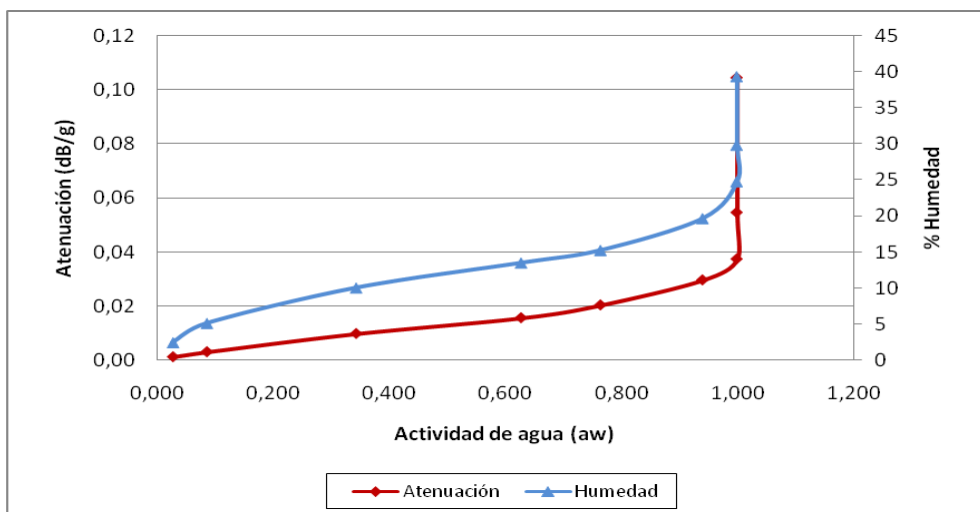


Figura 1. Isoterma de absorción de la harina junto a la atenuación en función de la actividad de agua.

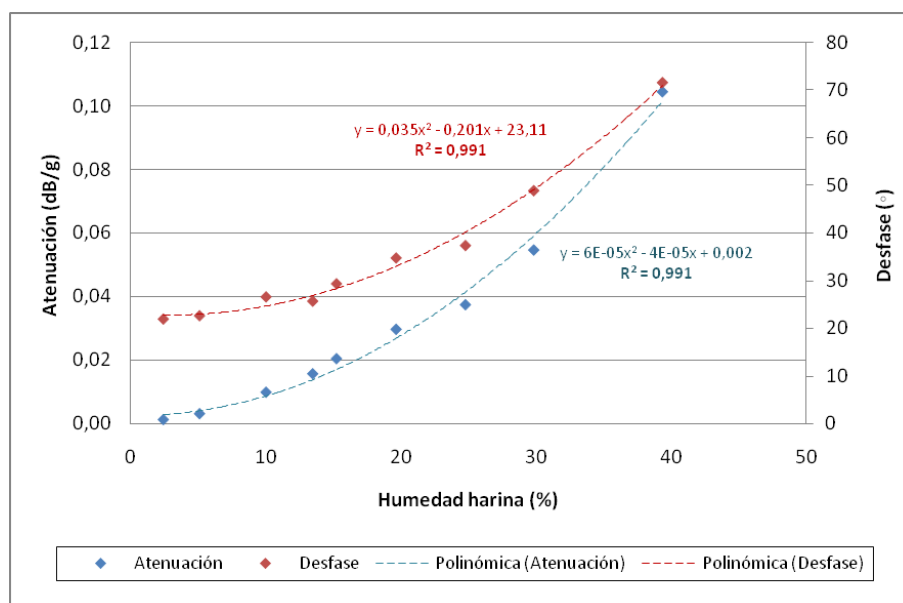


Figura 2. Gráfico de correlación de la atenuación y el desfase en función de la humedad de la harina.

Los resultados de atenuación y desfase de la harina en función de la humedad se ajustaron a una ecuación polinómica (Figura 2). Tanto el desfase como la atenuación se correlacionan de forma positiva con la humedad, con valores de  $R^2$  mayores que 0,99. Sin embargo, ninguna de las dos se relaciona de manera tan positiva con la actividad de agua.

Estos resultados demuestran que harinas con altos porcentajes de humedad, independientemente de su agua libre, son capaces de absorber y/o reflejar más energía microondas. Si fuese cierta la hipótesis de que el agua ligada de la harina es capaz de absorber radiación microondas, la harina con un porcentaje de humedad mayor que el 25%, aportaría diferentes propiedades a la masa y productos elaborados a partir de esta, que la harina con menos del 25% de humedad, ya que la radiación MW provoca modificaciones físicas en la harina, alterando en consecuencia sus propiedades funcionales.

Estos resultados indican también que la medida de la atenuación experimentada por una radiación microondas al atravesar una muestra de harina, puede constituir un método más rápido, sencillo y preciso que los convencionales para la determinación de la humedad de la harina de arroz y su posterior aplicación, tal y como concluyeron Ince and Turner (1965), en una de sus investigaciones en bizcochos, y Okabe et al. (1973), en un estudio en granos de arroz y trigo.

#### **4. 2. Tratamiento microondas de la harina.**

Tras el acondicionamiento, se obtuvo harina con una media de 19,9% y 30,4% de humedad, calculadas por el método oficial 49-19 (AACC, 1995), a partir de harina NPU de partida con 13,5% de humedad. Se realizaron los mismos tratamientos microondas en cada una de las muestras de harina por duplicado. A partir de estas muestras, se estudió la pérdida de humedad por el mismo método oficial y se llevaron a cabo los ensayos de viscosidad y la medida de color. Los resultados de la pérdida de humedad en cada tratamiento se muestran en la Figura 3.

##### 4. 2. 1. Pérdida de humedad de la harina.

Los datos medios de humedad de las harinas tratadas (con 20% y 30% de humedad inicial) durante diferentes tiempos de radiación MW se representan gráficamente en la Figura 1. La velocidad de pérdida de humedad de las dos harinas fue más rápida en los primeros 6 minutos de tratamiento para disminuir netamente posteriormente, llegando a 6-8% de humedad final con el tratamiento más largo. La harina ajustada al 30% perdió la humedad de forma más rápida, al disponer inicialmente de más agua libre que se evaporó con más facilidad. Esto coincide con los resultados descritos en la

literatura, que describen pérdidas del 5 al 13% de humedad, para tratamientos de MW en recipientes no cerrados herméticamente (Perez-Quirce et al., 2016).

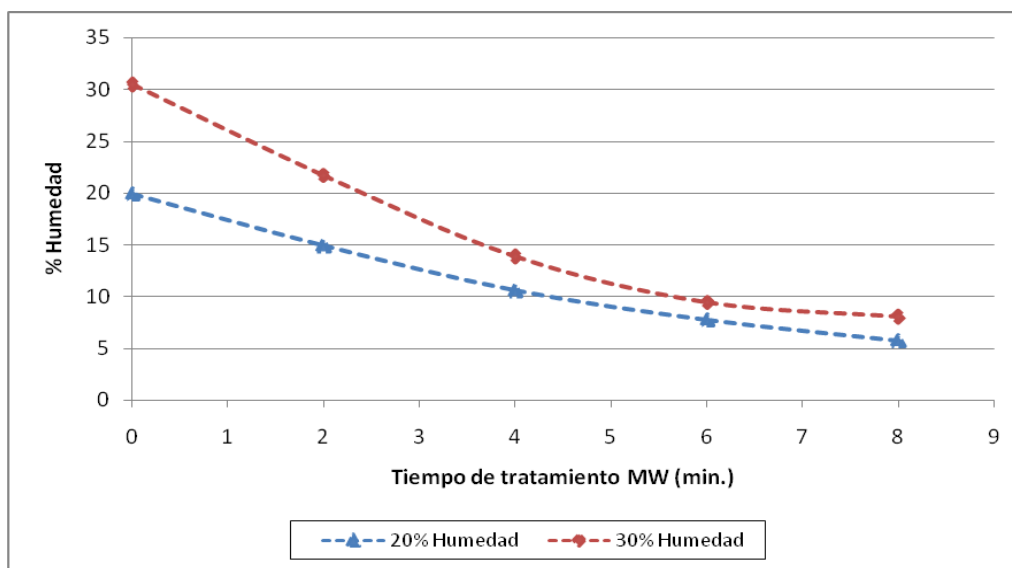


Figura 3. Pérdida de humedad de la harina según el tratamiento microondas.

#### 4. 2. 2. Propiedades de empastado de las harinas tratadas.

Con el fin de evaluar el efecto del tratamiento hidrotérmico con microondas (MW) en la harina de arroz, se analizaron las propiedades de empastado de harinas tratadas, de una humedad inicial (%HI) del 20% y 30% y diferentes tiempos de microondas.

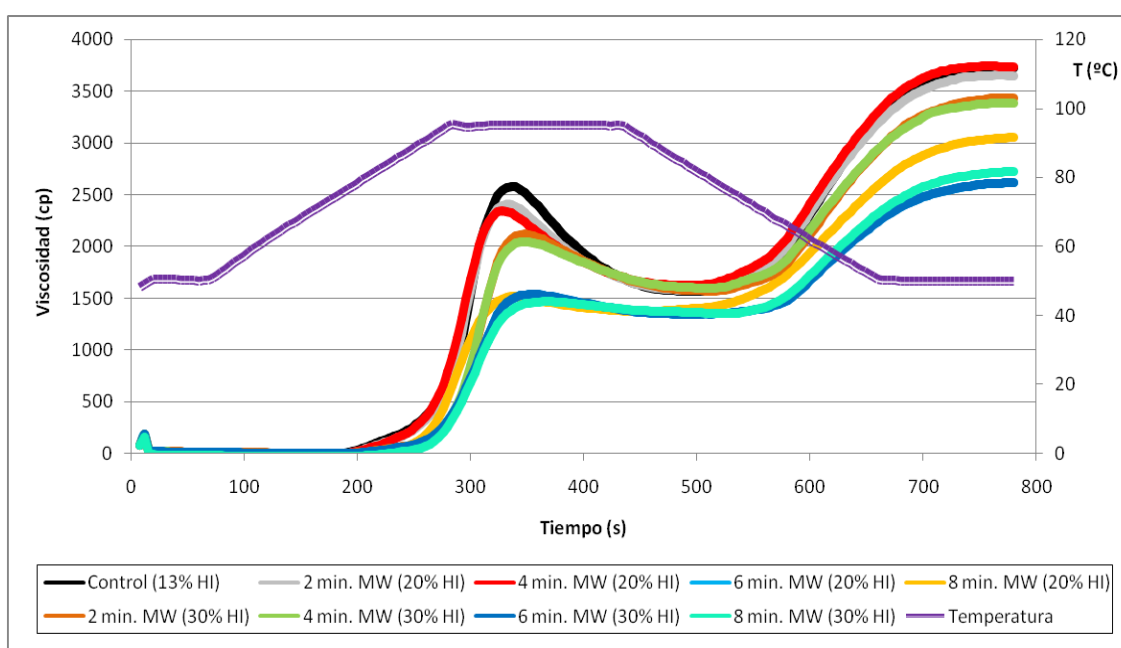
Tabla 4. Valores medios y grupos homogéneos para los parámetros de viscosidad.

%HI	Tiempo tto MW (min)	PV (cp)	VC (cp)	BD (cp)	VF (cp)	SB (cp)	VT (min)	PT (°C)
30	0	2580,00 f	1565,33 c	1014,67 h	3728,67 d	2163,33 c	5,60 b	79,08 a
	2	2119,50 d	1569,75 c	549,75 e	3431,25 c	1861,50 b	5,78 c	89,36 d
	4	2050,00 cd	1594,00 cd	456,00 d	3385,50 c	1791,50 b	5,80 c	89,75 d
	6	1961,00 c	1593,00 cd	368,00 c	3405,67 c	1812,67 b	5,85 c	89,28 d
	8	1468,00 a	1348,00 a	120,00 a	2721,50 a	1373,50 a	6,10 d	89,98 d
20	2	2409,50 e	1578,75 cd	830,75 g	3651,00 d	2072,25 c	5,55 ab	83,61 b
	4	2342,00 e	1622,00 cd	720,00 f	3732,50 d	2110,50 c	5,47 a	83,20 b
	6	2096,25 d	1625,50 d	470,75 d	3723,25 d	2097,75 c	5,49 a	84,50 b
	8	1611,50 b	1423,00 b	188,50 b	3214,25 b	1791,25 b	5,58 b	86,89 c
Humedad		**	*	***	**	***	***	***
Tiempo tto MW		***	***	***	***	***	NS	***
Humedad*Tiempo		***	***	***	***	***	***	***

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que los valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). NS: No existen diferencias estadísticamente significativas; \*  $p$ -valor  $< 0,05$ ; \*\*  $p$ -valor  $< 0,01$ ; \*\*\*  $p$ -valor  $< 0,001$ .

%HI: Porcentaje Humedad Inicial de la muestra; tto MW: Tratamiento microondas; PV: viscosidad de pico; VC: viscosidad de caída; BD: breakdown; VF: viscosidad final; SB: setback; VT: tiempo al que se alcanza la viscosidad máxima; PT: temperatura de pasting; C: Harina control.

Se realizó el análisis RVA como mínimo por duplicado para cada uno de los tratamientos. En la Figura 4, se muestran los perfiles de viscosidad promedio de las muestras analizadas. Se observaron curvas muy similares según si el tratamiento aplicado era corto (2 y 4 min.) o largo (6 y 8 min.). Los valores medios de los parámetros de empastado para cada tratamiento hidrotérmico y los grupos homogéneos se reflejan en la Tabla 4. Todas las muestras analizadas mostraron una disminución en el pico de viscosidad, el *breakdown*, la viscosidad final y el *setback*, en comparación con la harina control, así como un aumento en la temperatura de *pasting*, que fue de ~89 °C para los tratamientos de la harina con 30% de humedad y 84-86°C para las del 20% de humedad. Estas diferencias son más pronunciadas según aumenta el tiempo y la humedad de la harina durante el tratamiento hidrotérmico.



**Figura 4.** Perfiles de viscosidad promedio de harinas tratadas con 20% y 30% de humedad y diferentes tiempos de tratamiento microondas: 2, 4, 6 y 8 minutos.

El mayor descenso en el pico de viscosidad se obtuvo con el tratamiento MW de 8 minutos y 30% de humedad, en el cual el pico de viscosidad se redujo en torno a un 43,1%, en comparación con la harina control. El descenso de la viscosidad final para este tratamiento fue del 27%, también el mayor de todos los tratamientos. Además, se observó que el tiempo de tratamiento no ejerció un efecto estadísticamente significativo en el tiempo del pico de viscosidad máxima. En cambio, si se observaron diferencias significativas dependiendo de la humedad inicial de la harina mostrándose el pico máximo de viscosidad antes en la harina tratada con 20% que en la del 30%.

La disminución en los parámetros de viscosidad también fue observada por Román et al., (2015), para tiempos de tratamiento de 2-4 minutos. Sharh et al., (2016) y Trancoso-Reyes et al., (2016) demostraron que esta disminución de la viscosidad se debe a que el tratamiento MW disminuye el agua absorbido por el gránulo de almidón, y en consecuencia su hinchamiento; asimismo, se ha observado que la organización del almidón también se encuentra alterada, mostrando una menor cristalinidad en el patrón de Rayos X según aumentan los tiempos de tratamiento (Trancoso-Reyes et al., 2016) y el nivel de humedad (Khunae et al., 2007). Hormdok y Noom horm, (2007) reportaron que el gel obtenido con almidón tratado con HMT con una humedad del 15-20% tenía mayor dureza que el obtenido con 25% de humedad; atribuyendo esto a una posible gelatinización parcial, por colapso de la estructura del gránulo. Algunos autores indican que puede deberse a que el HMT desnaturaliza las proteínas de la harina de arroz, permitiendo su adherencia a la superficie del gránulo de almidón, aumentando su hidrofobicidad e impidiendo así el hinchamiento de éste (Puncharnon y Uttapap., 2013). Otros en cambio, relacionaron la bajada de viscosidad con el aumento de los enlaces intra- e intermoleculares de hidrogeno por el reordenamiento de las cadenas de amilosa-amilopectina durante el tratamiento (Luo et al., 2006). También, se ha observado que los gránulos de almidón con alto contenido de amilosa tratados con HMT se muestran más agregados y con una superficie más irregular (Luo et al., 2006; Zavareze et al., 2010).

Al igual que se observa en un estudio realizado por Román et al, (2015), a tiempos de tratamiento más largos, la viscosidad mínima registrada es cada vez menor; llegando a superar, en este caso, la viscosidad mínima de la harina control para los tratamientos más largos (8 min.). Estos valores junto con los de viscosidad final, hacen que el *breakdown* sea menor, lo que demuestra que los almidones son más estables durante el tratamiento HMT (Hormdok y Noom horm., 2007; Román et al., 2015).

La temperatura de *empastado* aumentó progresivamente a medida que los tratamientos eran más largos, indicando que los gránulos de almidón quizás tengan dificultad para absorber agua y comenzar a hincharse debido a su alta cristalinidad (Román et al., 2015). Este aumento de temperatura se ha relacionado con la formación de complejos amilosa-lípido y como consecuencia, con el aumento de la cristalinidad y el retraso en el comienzo de la gelatinización.

Estos cambios producidos por el tratamiento con calor y humedad, hacen que las harinas tratadas sean más estables térmicamente y aptas para la elaboración de alimentos enlatados y congelados, Zavareze et al. (2011).

#### 4. 2. 3. Propiedades de color de las muestras de harina tratadas.

Para evaluar el efecto del tratamiento microondas en el color de la harina y su posible repercusión sobre el color de los productos elaborados a partir de ésta, se calculó, el tono, la saturación y la diferencia de color de las harinas tratadas con respecto a la harina de arroz sin tratamiento.

Como puede observarse en la Tabla 5, el tono y la saturación de la harina depende del tiempo de tratamiento y el nivel de humedad. La saturación aumenta con tiempos de tratamiento más largos y mayor nivel de humedad, al igual que el tono; resultados que concuerdan con los obtenidos por Shah et al. (2016) y Trancoso-Reyes et al. (2016) para los parámetros a\* y b\* en almidón y harina de tubérculos. En cambio, la luminosidad disminuye al aumentar el tiempo de tratamiento, independientemente del nivel de humedad, como demostraron Trancoso-Reyes et al. (2016). Las harinas tratadas durante más tiempo con MW presentan menos claridad al percibir las visualmente que la harina control. En cuanto al tono y la saturación, todas las harinas presentan un tono amarillo, el control más anaranjado y las tratadas más verdoso, pero con mayor viveza a mayor tiempo de MW y nivel de humedad.

**Tabla 5.** Valores medios y grupos homogéneos para el color de las harinas tratadas.

%HI	Tiempo tto MW (min)	L*		h		C*		ΔE		
13,5	0	87,06	c	89,54	a	6,22	a	-	-	
	20	2	87,00	bc	94,16	c	7,43	b	4,66	ab
		4	85,08	abc	94,21	c	7,98	c	3,67	a
		6	85,10	abc	93,73	bc	8,45	d	3,79	a
		8	83,61	ab	92,87	b	9,35	e	4,10	ab
30	2	84,84	abc	93,50	bc	8,35	cd	3,35	a	
	4	84,73	abc	92,87	b	9,21	e	3,11	a	
	6	84,89	abc	93,00	b	10,96	f	4,04	ab	
	8	82,39	a	88,49	a	14,26	g	6,26	b	
Humedad		NS		**		**		NS		
Tiempo tto MW		*		***		**		NS		
Humedad x Tiempo		NS		***		***		NS		

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que los valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). NS: No existen diferencias estadísticamente significativas; \*  $p$ -valor  $< 0,05$ ; \*\*  $p$ -valor  $< 0,01$ ; \*\*\*  $p$ -valor  $< 0,001$ .

%HI: Porcentaje Humedad Inicial de la muestra; tto MW: Tratamiento microondas; ΔE: Diferencia de color con respecto al control.

A pesar de estas diferencias en la luminosidad, tono y saturación; para el color no hay diferencias estadísticamente significativas en las harinas tratadas con respecto al control, mostrando valores aleatorios en las medias de cada tratamiento. Por tanto,

estos resultados hacen a las harinas sensorialmente aptas para su uso en productos de panificación, ya que no nos aportan un color diferente al de la harina sin tratamiento.

#### 4. 3. Propiedades físicas de los panes elaborados.

##### 4. 3. 1. Propiedades de color, volumen y pérdida de peso.

Se elaboraron panes con harina de arroz hidratada al 20 y 30% de humedad y tratada con microondas durante un tiempo largo (8 min), a diferentes dosis (30% y 50% de la harina de arroz total), con el fin de observar las propiedades físicas que pueden aportar al pan sin gluten. Los resultados de color, volumen y pérdida de peso, con respecto a la elaboración control se muestran en las Tablas 6 y 7; y las diferencias físicas de color y volumen pueden observarse en las Figuras 5 y 6.

**Tabla 6.** Valores medios y grupos homogéneos para el color de los panes elaborados.

Elaboración	Corteza				Miga											
	L*	h	C*	ΔE	L*	h	C*	ΔE								
0% S (control)	53,24	a	60,52	a	25,84	a	-	-	66,36	b	95,25	b	6,14	b	-	-
30% S, 20% HI	56,03	ab	69,74	c	25,02	a	9,72	a	62,93	a	95,72	b	6,14	b	3,48	a
30% S, 30%HI	58,72	bc	67,50	b	29,11	b	9,46	a	63,59	a	92,59	a	6,49	b	3,88	a
50% S, 20% HI	55,13	a	70,92	c	24,42	a	10,85	a	61,17	a	96,82	b	5,26	a	5,63	a
50% S, 30% HI	60,53	c	69,80	c	30,48	b	12,69	a	67,89	b	92,67	a	8,38	c	4,04	a
Humedad	***		***		***		NS		***		***		***		NS	
Dosis	**		***		NS		*		NS		NS		NS		NS	
Humedad x Dosis	***		***		***		NS		***		***		***		NS	

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que los valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). NS: No existen diferencias estadísticamente significativas; \*  $p$ -valor  $< 0,05$ ; \*\*  $p$ -valor  $< 0,01$ ; \*\*\*  $p$ -valor  $< 0,001$ .

%HI: Porcentaje Humedad Inicial de la harina tratada hidrotérmicamente; % S: Porcentaje de harina tratada hidrotérmicamente añadida a la masa; ΔE: Diferencia de color con respecto al control.

La luminosidad de la corteza del pan aumenta con la humedad inicial de la harina, mostrando mayor luminosidad en la corteza, los panes elaborados con harina tratada al 30% de humedad, que los elaborados con harina tratada al 20%. En cuanto a la porcentaje de sustitución, los panes elaborados con 30% de harina tratada muestran menos luminosidad que los elaborados con 50% de harina tratada al 30% de humedad, pero mayor que el elaborado con 50% de harina tratada al 20% de humedad. El tono de la corteza aumenta a mayor porcentaje de sustitución y humedad de la harina tratada, siendo más amarillos los que más porcentaje de harina tratada tienen y más rojizos los de menor porcentaje. En cuanto a la saturación, sólo se muestran diferencias significativas entre los panes elaborados con harina tratada con diferente humedad, teniendo los panes elaborados con harina ajustada al 30% de

humedad mayor viveza. La mayoría de estos valores alternos, aunque mostraron diferencias estadísticamente significativas, se presentaron dentro de un mismo grupo homogéneo, lo que nos indica que estos valores no dependen tanto de la humedad y el porcentaje de sustitución. Purlis, (2010) describe que los cambios en la luminosidad, pueden deberse a alteraciones en la superficie, ya que una superficie regular refleja más luz que una irregular.. El color de la corteza es el mismo para todos los panes elaborados, y se debe a la reacción de Maillard y la caramelización de azúcares durante el horneado (Purlis, 2010).

En el caso de la miga, los parámetros de luminosidad, tono y saturación, sólo mostraron diferencias estadísticamente significativas con la humedad. Independientemente del porcentaje de harina tratada, la miga de los panes elaborados con harina ajustada al 30% de humedad era más amarilla y mostraba mayor luminosidad y viveza. Al igual que con la corteza, el color no era diferente que el del control. En este caso, los valores también se encontraban de forma aleatoria dentro de los mismos grupos homogéneos, lo que nos apunta a que estas diferencias pueden deberse a errores de precisión en la medida de la cantidad de azúcar u otros ingredientes añadidos a la masa (Purlis, 2010).

**Tabla 7.** Valores medios y grupos homogéneos para el volumen específico y la pérdida de peso de los panes elaborados.

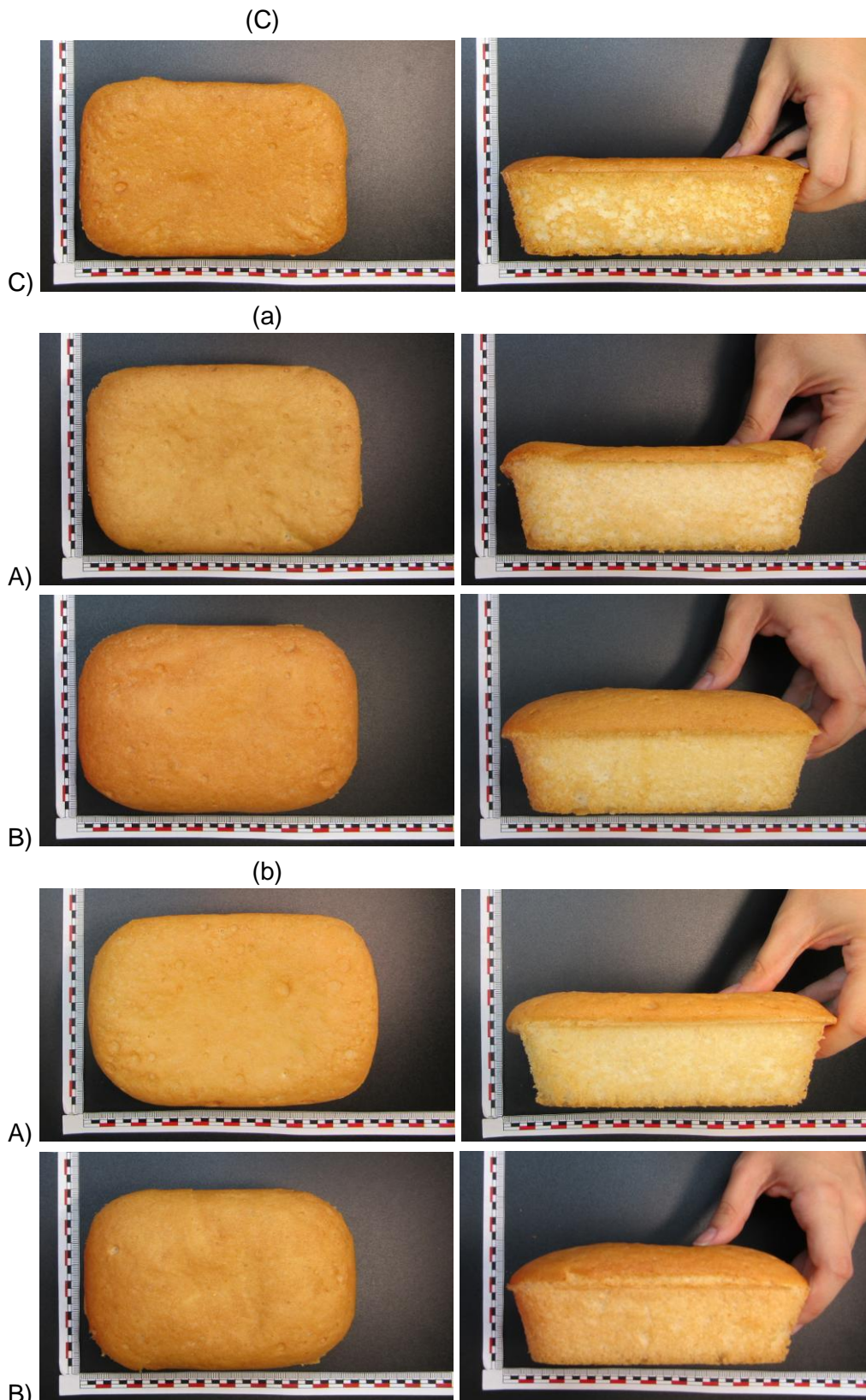
Elaboración	Pérdida de peso en el horneado (%)		Volumen específico (mL/g)		Pérdida de peso envejecimiento (%)
0% S (control)	19,13	a	3,31	a	0,55
30% S, 20% HI	21,19	b	3,70	b	1,69
30% S, 30% HI	21,74	b	4,58	d	0,64
50% S, 20% HI	22,44	c	4,61	d	0,36
50% S, 30% HI	21,54	b	4,28	c	0,56
Humedad	***		***		
Dosis	***		***		
Humedad x Dosis	***		***		

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que los valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). NS: No existen diferencias estadísticamente significativas; \*  $p$ -valor  $< 0,05$ ; \*\*  $p$ -valor  $< 0,01$ ; \*\*\*  $p$ -valor  $< 0,001$ .

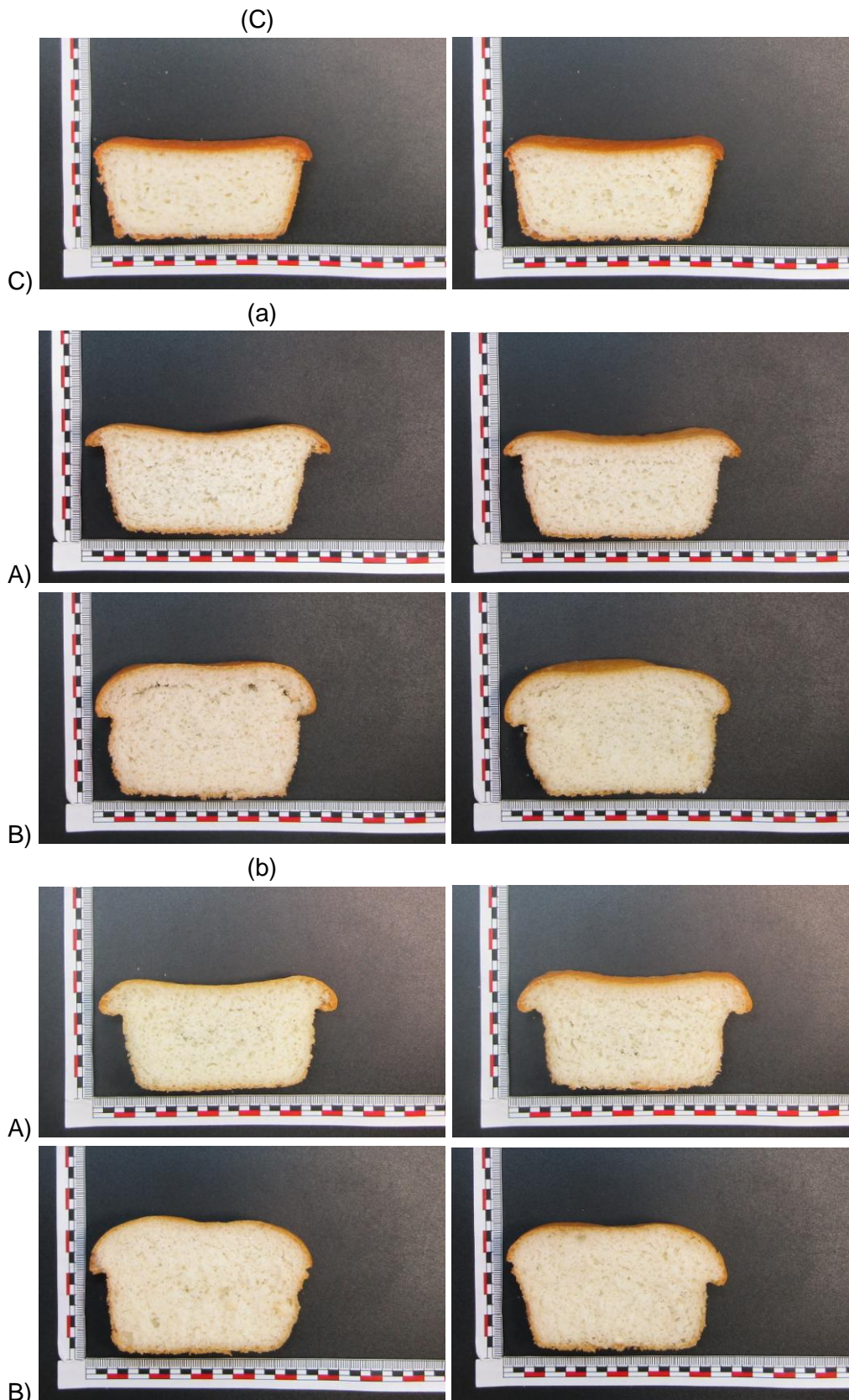
%HI: Porcentaje Humedad Inicial de la harina tratada hidrotérmicamente; % S: Porcentaje de harina tratada hidrotérmicamente añadida a la masa;  $\Delta E$ : Diferencia de color con respecto al control.

El volumen y la pérdida de peso de los panes durante el horneado, dependen del porcentaje de sustitución de la harina tratada y de la humedad inicial de la harina, presentando mayor volumen los panes con 20% de humedad y alto porcentaje de sustitución, y 30% de humedad y bajo porcentaje de sustitución.





**Figura 5.** Vistas lateral y superior del pan. Pan elaborado con harina de arroz sin tratamiento (C), con 20% de humedad (A) y 30% de humedad (B). Adiciones de harina tratada del 30% (a) y 50% (b).



**Figura 6.** Sección transversal central de la rebanada de pan. Pan elaborado con harina de arroz sin tratamiento (C), con 20% de humedad (A) y 30% de humedad (B). Adiciones de harina tratada del 30% (a) y 50% (b).

El volumen máximo lo alcanzó la elaboración de 20% de humedad y 50% de porcentaje de sustitución, con un aumento de 39,27% en comparación con el control. Este incremento en el volumen específico de los panes elaborados con harina tratada en comparación con el control, también fue observado por Marston et al., (2016) y Miyazaki y Morita., (2005) en panes elaborados con harina de sorgo tratada con microondas en seco y panes elaborados con almidón de maíz mediante HMT, respectivamente. Los porcentajes de pérdida de peso también dependieron del porcentaje de sustitución de la harina tratada y de la humedad inicial. Se observaron pérdidas de peso durante el horneado mayores en los panes elaborados con las harinas tratadas que en el pan control. Estas pérdidas aumentaban según el volumen específico, presentando los panes de mayor volumen, mayores pérdidas. Las pérdidas de peso tras siete días de almacenamiento también fueron mayores para los panes elaborados con harina tratada; y a menor porcentaje de sustitución.

#### 4.3.2. Características de textura.

La dureza de la miga también dependió del porcentaje de sustitución de harina tratada y de la humedad inicial. Todos los panes elaborados con harina tratada presentaron una miga más suave, con menor dureza, resultados similares a los que obtuvieron Miyazaki y Morita., (2005) en panes con almidón de maíz tratado con HMT. Los valores más bajos de dureza se obtuvieron en los panes con harina tratada de 30% de humedad y bajo porcentaje de sustitución, y 20% de humedad y alto porcentaje de sustitución. Los resultados de los parámetros de textura se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Valores medios y grupos homogéneos para los parámetros de textura de los panes elaborados.

Elaboración	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
0% S (control)	0,71 c	0,918 c	0,448 a	0,341 c	0,290 c	0,230 b
30% S, 20% HI	0,44 b	0,776 b	0,441 a	0,194 b	0,151 b	0,209 a
30% S, 30% HI	0,28 a	0,659 a	0,448 a	0,126 a	0,081 a	0,204 a
50% S, 20% HI	0,35 ab	0,626 a	0,447 a	0,154 ab	0,100 a	0,218 ab
50% S, 30% HI	0,40 ab	0,596 a	0,479 a	0,188 b	0,107 ab	0,210 ab
Humedad	***	***	NS	***	***	*
Dosis	***	***	NS	***	***	*
Humedad x Dosis	***	***	NS	***	***	*

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que los valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). NS: No existen diferencias estadísticamente significativas; \*  $p$ -valor  $< 0,05$ ; \*\*  $p$ -valor  $< 0,01$ ; \*\*\*  $p$ -valor  $< 0,001$ .

%HI: Porcentaje Humedad Inicial de la harina tratada hidrotérmicamente; % S: Porcentaje de harina tratada hidrotérmicamente añadida a la masa.

En cuanto a la elasticidad de la miga, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los panes dependientes del porcentaje de sustitución de harina tratada y la humedad inicial, pero no se puede afirmar que estas diferencias se deban a éstos parámetros, ya que para la mayoría de los panes, exceptuando el de 30% de sustitución y 20% de humedad, no se presentan valores de elasticidad significativamente diferentes. Con respecto al control, los panes elaborados con harina tratada si muestran una miga menos elástica.

Los valores de cohesividad de los panes elaborados con harina tratada no muestran diferencias estadísticamente significativas con respecto a los panes control, por lo que se puede afirmar que los panes presentan la misma resistencia de la estructura interna a la deformación que los panes control, para un nivel de significación del 0,1%.

Los panes elaborados con harina tratada muestran menores valores de gomosidad que el pan control, por lo que se desintegran más fácilmente, dependiendo del porcentaje de sustitución y el porcentaje de humedad. Sin embargo, esta dependencia no es progresiva, es decir, no se desintegran más fácilmente a mayor humedad y porcentaje de sustitución. El pan que se desintegra con mayor facilidad es el de 30% de humedad y 30% de sustitución, y el que menos el de 20% de humedad y 30% de sustitución.

**Tabla 9.** Valores medios y grupos homogéneos de la textura tras el almacenamiento.

Elaboración	Dureza-7		ΔFirmeza-7	
0% S (control)	3,708	c	2,995	c
30% S, 20% HI	2,618	b	2,179	bc
30% S, 30% HI	1,688	ab	1,407	ab
50% S, 20% HI	1,642	a	1,297	ab
50% S, 30% HI	1,507	a	0,912	a
Humedad	**		*	
Dosis	**		**	
Humedad x Dosis	**		*	

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que los valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). NS: No existen diferencias estadísticamente significativas; \*  $p$ -valor  $< 0,05$ ; \*\*  $p$ -valor  $< 0,01$ ; \*\*\*  $p$ -valor  $< 0,001$ .

%HI: Porcentaje Humedad Inicial de la harina tratada hidrotérmicamente; % S: Porcentaje de harina tratada hidrotérmicamente añadida a la masa; Dureza-7: Dureza tras el almacenamiento durante 7 días; ΔFirmeza-7: Incremento de firmeza tras el almacenamiento de 7 días.

Al igual que para la dureza, los panes elaborados con harina tratada muestran valores menores de masticabilidad en comparación con el control. Esto nos indica que la miga de estos panes es más blanda y se mastica con mayor facilidad que la de los panes control. La que mayor masticabilidad presenta es la del 30% de humedad y 30% de sustitución. La capacidad de recuperación instantánea o resiliencia es similar en todos los panes elaborados con harina tratada y menor que el pan control, mostrando

pequeñas diferencias entre ellos dependiendo de la humedad y el porcentaje de sustitución.

Tal y como se esperaba, la dureza de los panes tras una semana de almacenamiento fue mayor, siendo dependiente del porcentaje de humedad y sustitución (ver Tabla 9). Los panes con 50% de harina tratada mostraron un menor aumento de dureza durante el almacenamiento.

#### 4. 3. 3. Densidad alveolar.

Se escanearon las rebanadas centrales de los panes elaborados, con el propósito de observar mejor las diferencias en la densidad alveolar y el tamaño de los alveolos de la miga según el tratamiento hidrotémico y de sustitución aplicado. Asimismo, también se escanearon las rebanadas centrales de los panes almacenados durante una semana a 4°C. La miga de los panes elaborados con harina tratada presentaba mayor densidad alveolar y menor tamaño de los alveolos, resultados similares a los que obtuvo Sánchez et al., (2002) con la adición de harina de soja en panes. Con la harina del 20% de humedad, se obtuvo una miga con mayor tamaño de alveolos, y a mayor porcentaje de sustitución de la harina tratada mayor densidad alveolar y menor tamaño de los alveolos.

### **5. CONCLUSIONES.**

Se ha observado que las harinas absorben y/o reflejan más energía microondas cuanto mayor humedad tengan, independientemente de su agua libre; y se ha comprobado que la medida de la atenuación de la radiación de microondas al atravesar la harina, puede constituir un método más rápido y sencillo que los convencionales para medir la humedad.

En cuanto al tratamiento microondas, se ha demostrado que supone un método más rápido y sencillo que los convencionales para tratar mediante calor y humedad la harina de arroz y conseguir las modificaciones físicas deseadas. Además de esto, también resulta una técnica más barata en cuanto a energía consumida. Se ha observado que este tratamiento no produce grandes cambios a nivel de color de la harina, lo que facilita su uso posterior en productos elaborados a partir de ésta. Asimismo, sí que es capaz de cambiar las propiedades de empastado de la harina de arroz hidratada; disminuyendo el pico de viscosidad, el *breakdown*, la viscosidad final y el *setback*, en comparación con la harina control y aumentando la temperatura de *pasting*; diferencias que son más pronunciadas según aumenta el tiempo de microondas y la humedad inicial de la harina. También, produce una disminución de la viscosidad de caída registrada a mayor tratamiento microondas.

Los panes elaborados con harina tratada hidrotérmicamente mediante microondas mostraron mayor volumen específico, y presentaron el mismo color de miga y corteza en las distintas elaboraciones. La miga resultó menos dura y con menor masticabilidad, teniendo la misma cohesividad y resiliencia que el pan control; y con un alveolado más fino y uniforme de menor tamaño.

La utilización de esta harina tratada mediante microondas en panes sin gluten supone un beneficio para el colectivo de personas intolerantes al gluten, ya que mejora la calidad sensorial de los mismos. No obstante, queda pendiente la realización de estudios que investiguen de una forma sistemática el efecto de la humedad de la harina y el tiempo de tratamiento de MW sobre la cristalinidad del almidón, las propiedades térmicas, y reológicas de las harinas y las masas que nos ayuden a explicar los efectos observados sobre los panes elaborados con ellas.

## **6. AGRADECIMIENTOS.**

En primer lugar quiero agradecer a la tutora de este trabajo: Felicidad Ronda, por su orientación y aportes para la elaboración de esta memoria. De la misma manera, quiero agradecer al profesor José María Muñoz, por sus aportaciones en el terreno de la física.

También quiero dar gracias tanto a Marina Villanueva, por su ayuda y dedicación, como a Sandra Pérez.

A si mismo agradecer a mis compañeros del Máster, a Caleb S. Calix, y muy especialmente a Isabel Jiménez, quién me ha apoyado, ayudado y dado energía para la realización del mismo.

Por último, agradecer a mi familia su apoyo en todo momento, ya que sin su ayuda hubiese sido imposible la realización del máster.

Este trabajo 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).

## **7. BIBLIOGRAFÍA.**

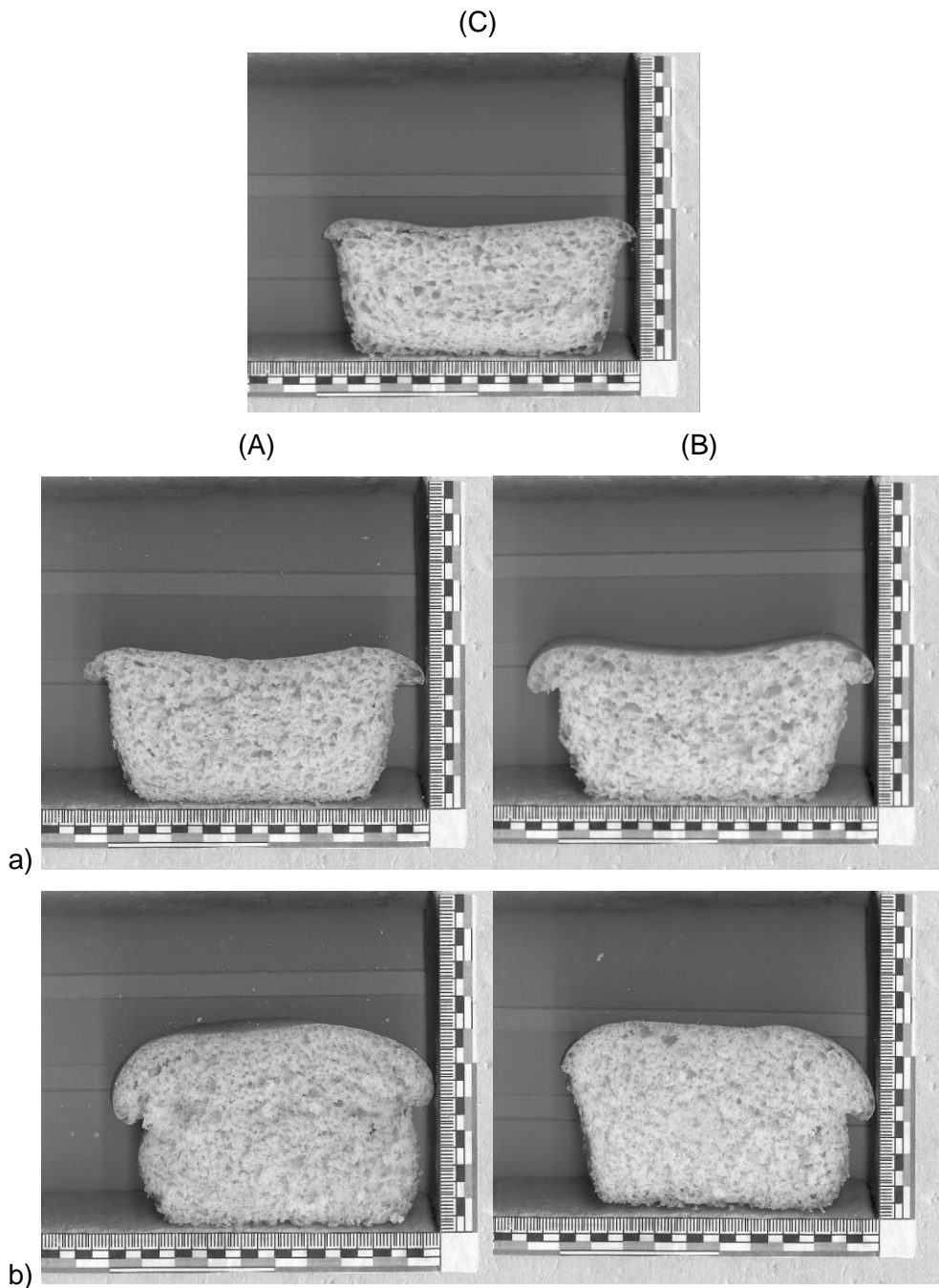
- American Association of Cereal Chemists. (1995). Approved methods (9th ed.). Minneapolis, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Arranz, E., Garrote, J.A. (2010). Inmunología de la enfermedad celíaca. Gastroenterología y Hepatología, 33 (33), 643–651.
- Ashraf, S., Saeed, S.M.G., Sayeed, S.A., Ali, R. (2012). Impact of microwave treatment on the functionality of cereals and legumes. International Journal of Agriculture & Biology.,14, 356-370.
- Arranz, E., Garrote, J.A. (2010). Inmunología de la enfermedad celíaca. Gastroenterología y Hepatología, 33 (33), 643–651.

- Borén, M., Glaring, M.A., Ghebremedhin, H., Olsson, H., Blennow, A., Jansson, C. (2008). Molecular and Physicochemical Characterization of the High-Amylose Barley Mutant Amo1. *Journal of Cereal Science*, 47 (1), 79-89.
- Chung, H.J., Liu, Q., Hoover, R. (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*, 75, 436–447.
- De la Hera, E., TALEGÓM, M., Caballero, P., Gomez, M. (2012). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 15, 924–932.
- Demir, M.K., Elgün, A. (2014). Comparasion of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutricional properties of whole wheat bread. *Journal of Scientists and Technologists*, 51, 59-66.
- Gujral, H.S., Rosell, C.M. (2004). Improvement of the Breadmaking Quality of Rice Flour by Glucose Oxidase. *Food Research International*, 37 (1), 75-81.
- Horndok, R., Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1723-1731.
- Ince, A.D., Turner, A. (1965). The determination of moisture in plain cakes by a microwave attenuation technique. *Analyst*, 90, 692-696.
- Khunae, P., Tran, T., Sirivongpaisal, P. (2007). Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. *Starch/Stärke*, 59, 593–599.
- Lewandowicz, G., Fornal, J., Walkowski, A. (1997). Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. *Carbohydrate Polymers*, 34, 213-220.
- Lewandowicz, G., Jankowskib, T., Fornal, J. (2000). Effect of microwave radiation on physicochemical properties and structure of cereal starches. *Carbohydrate Polymers*, 42, 193–199.
- López, A.C.B., Pereira, A.J.G., Junqueira, R.G. (2004). Flour Mixture of Rice Flour, Corn and Cassava Starch in the Production of Gluten-Free White Bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47 (1), 63-70.
- Luo, Z., He, X., Fu, X., Luo, F., Gao, Q. (2006). Effect of microwave radiation on the physicochemical properties of normal corn, waxy corn and amylo maize V starches. *Starch-Starke*, 58, 468-474.
- Maache-Rezzoug, Z., Zarguili, I., Loisel, C., Queveau, D., Buléon, A. (2008). Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC hydrothermal treatment. *Carbohydrate Polymers*, 74, 802–812.
- Mancebo, C.M., Merino, C., Martínez, M.M., Gómez, M. (2015). Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 6323-6333.
- Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 637-644.
- Milde, L.B., Ramallo, L.A., Puppo, M.C. (2012). Gluten-free Bread Based on Tapioca Starch: Texture and Sensory Studies. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 888-896.
- Miyazaki, M., Morita, N. (2004). Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. *Food Research International*, 38, 369-376.
- Okabe, T., Huang, M.T., Okamura, S. (1973) A new method for the measurement of grain moisture content by the use of microwaves. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 18, 59-66.

- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., Lindhauer, M.G. (2011). Modification of Gluten-Free Sorghum Batter and Bread using Maize, Potato, Cassava or Rice Starch. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (3), 681-686.
- Perez-Quirce, S., Ronda F. Melendre, C., Lazaridou, A., Biliaderis, C.G. (2016). Inactivation of endogenous rice flour  $\beta$ -glucanase by microwave radiation and impact on physico-chemical properties of the treated flour. DOI 10.1007/s11947-016-1741-y. *Food Bioprocess Technology*.
- Puncha-arnon S., Uttapap, D. (2013). Rice starch vs. Rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydrate Polymers*, 91, 85-91.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering*, 99; 239–249.
- Roman, L., Martinez, M. M., Rosell, C. M., Gomez, M. (2015). Effect of microwave treatment on physicochemical properties of maize flour. *Food and Bioprocess Technology*, 8 (6),1330-1335.
- Sánchez, H., Osella, C., De La Torre, M., (2002). Optimization of Gluten-Free Bread Prepared from Cornstarch, Rice Flour, and Cassava Starch. *Journal of Food Science*, 67 (1), 416-419.
- Sasaki, T., Matsuki, J. (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry*, 75, 525–529.
- Schamne, C., Dutcosky, S. D., Demiate, I. M. (2010). Obtention and characterization of gluten-free baked products. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, 741-750.
- Shah, U., Gan, iA., Ashwar, B.A., Shah, A., Wani, I.A., Masoodi, F.A. (2016). Effect of infrared and microwave radiations on properties of IndianHorse Chestnut starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 166-173.
- 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., González, 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 Nutricion*, 49, 162-165.
- Trancoso-Reyes, N., Ochoa-Martínez, L.A., Bello-Pérez, L.A., Morales-Castro, J., Estévez-Santiago, R., Olmedilla-Alonso, B. (2016). Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties, and the bioaccessibility of b-carotene in sweet potato flour. *Food Chemistry*, 200, 199-205.
- Van Hees, N.J.M., Van der Does, W., Giltay, E.J. (2013). Celiac disease, diet adherence and depressive symptoms. *Journal of Psychosomatic Research*, 74, 155-160.
- Zavareze, E.R., Storck, C.R., Castro, L.A.S., Schirmer, M.A., Dias, A.R.G. (2010). Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chemistry*, 121, 358–365.
- Zavareze, E.R., Dias, A.R.G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 317–328.



**ANEXO: IMAGENES DEL ESCANEADO DE LAS REBANADAS DE PAN.**



*Rebanadas centrales de pan escaneadas. Pan control (C) y pan elaborado con 30% (A) y 50% (B) de harina de arroz ajustada al 20% (a) y 30% (b) de humedad y tratada con microondas.*