



# **TRATAMIENTO DE MW DE HARINA DE ARROZ Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE BIZCOCHOS SIN GLUTEN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Curso: 2015/16**

**Alumno: Isabel Jiménez Zapata**

**Tutores: Felicidad Ronda Balbás y Pedro A. Caballero Calvo**

**Tutora externa: Sandra Pérez Quirce**

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

## **RESUMEN**

Se ha informado relativamente poco sobre de los cambios en la harina tras la irradiación de microondas y su aplicación en productos horneados. La harina de arroz de la variedad índica (con 30% de humedad) se modificó mediante tratamientos hidrotérmicos con radiación de microondas (MW) de 2450 MHz de frecuencia y una potencia de 250 W. Se aplicaron diferentes tiempos de tratamiento MW (2, 4, 8, 12, 16, y 24 min) a 25 g de harina en ciclos de 60 s de tratamiento combinados con 60 s de parada. Se estudiaron los efectos de los tratamientos MW sobre las propiedades físicas de almidón y se analizó el impacto de las harinas tratadas hidrotérmicamente sobre las propiedades físicas de bizcochos sin gluten.

Se observó que los tratamientos MW indujeron un aumento en la temperatura de empastado y una disminución del resto de los parámetros característicos de la curva de empastado en las harinas tratadas, según aumentaron los tiempos de tratamiento, es decir, las viscosidades de pico y de caída, la retrogradación y viscosidad final. Esto refleja una disminución significativa en la hinchazón granular y en la lixiviación de la amilosa y un aumento de la estabilidad al cizallamiento de la harina tratada térmicamente por MW. La reducción observada en la viscosidad final y en la retrogradación muestra el efecto del tratamiento térmico sobre las cadenas de amilosa, llegando a perder la capacidad de retrogradación durante el enfriamiento. En términos de calidad del bizcocho, las muestras elaboradas con harinas tratadas por MW mostraron un aumento del volumen específico y la reducción de la dureza y masticabilidad del bizcocho; sin embargo, parámetros como el color de la corteza y la miga no mostraron diferencias significativas en comparación con el bizcocho control.

Palabras clave: tratamiento hidrotérmico, microondas, harina de arroz, amilosa

## **ABSTRACT**

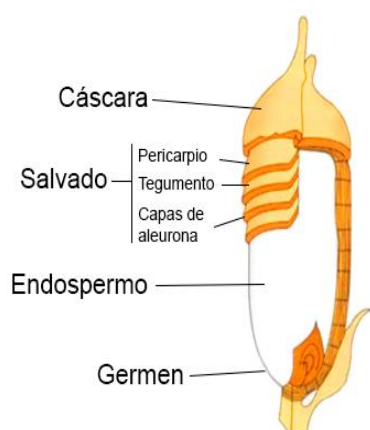
Relatively little work has been reported about flour changes during microwave irradiation and its application in baked products. Rice flour from Indica variety (with 30% moisture content) was modified by means of heat–moisture treatments with microwave radiation (MW) of 2450 MHz frequency and a power of 250 W. Different MW-treatment times (2, 4, 8, 12, 16, and 24 min) were applied to 25 g of flour in cycles of 60s intervals combined with downtimes of 60s. The effects of microwave treatments on starch physical properties were explored and the impact of heat-treated flours on gluten-free sponge cake physical properties was analyzed.

It was observed that MW treatments induced an increase in the pasting temperature and a decrease in the pasting curve. Hence, lower peak, trough, setback and final viscosities were obtained in the treated flours, changes being more marked for higher treatment times. This reflects a significant decrease in the granular swelling and amylose leaching and an increase in the shear stability of MW-heat-treated flour. The reduction observed in the final viscosity and setback displays the extension of the effect on the amylose chains, which might lose the ability to retrograde during cooling. In terms of cake quality, MW-treated flours increased the specific volume and decreased cake hardness and chewiness, meanwhile crust and crumb color parameters did not show significant differences compared with the control layer cake.

Keywords: heat-moisture treatment, microwave, rice flour, amylose

## 1. INTRODUCCIÓN

El arroz, es un cereal de primordial importancia en la alimentación humana, siendo básico para más de la mitad de la población mundial; el 95% de la producción es destinado a consumo humano directo, siendo el segundo cereal más consumido después del trigo. La producción mundial de arroz en 2016 fue de 738,2 millones de tn, lo que se traduce en 490,3 millones de arroz elaborado (FAO), siendo China el mayor productor (146,5 millones de toneladas). En Europa la producción de arroz supone 3 millones de tn de arroz cáscara (1,72 millones de tn de arroz blanco), de la cifra total, 334.000 tn se corresponden con la variedad japónica (grano corto), y 102.000 tn con la índica (grano largo); siendo España el segundo productor de arroz de la Unión Europea (UE) (30 % de la producción). El comercio mundial del arroz se caracteriza por un bajo nivel de intercambio con respecto al nivel de producción (<9%), La UE es importadora neta de arroz, fundamentalmente de tipo índica, y exportadora de la variedad japónica. (MAGRAMA, 2016).



El arroz (*Oryza sativa*), es una planta herbácea monocotiledónea de ciclo vegetativo anual, en la que destacan los tallos (cilíndricos y huecos, con nudos y entrenudos), las hojas de lámina plana y angosta, unidas al tallo mediante vainas, y la inflorescencia en panícula. El grano de arroz, descascarillado, es una cariósida y constituye el aprovechamiento principal de la planta. En la

Figura 1. Estructura del grano de arroz

estructura de este cereal vestido (20% cáscara, 80% arroz integral), destaca el endospermo como componente principal del grano (93% aprox.), y junto a encontramos el germen (4%). La zona entre el endospermo y la cáscara está compuesta por una serie de capas (aleurona, epidermis nuclear o capa hialina, testa y pericarpio) que forman el salvado (ver figura 1).

El procesado de arroz tiene como objetivo la eliminación de la cáscara y el salvado con la mínima rotura del endospermo. Supone el secado del mismo (12-13% de humedad), y posterior descascarillado. Seguidamente mediante fricción, se elimina el germen y el salvado (pulido y perlado); fases del procesado donde se pueden producir granos partidos si la calidad de los granos de arroz es inadecuada. Este subproducto es aprovechado para la elaboración de harina de arroz blanca comercial mediante su posterior molienda y tamizado. Es importante, para que la harina tenga una larga vida útil, que la separación del salvado y del germen del endospermo sea óptima, debido a que el alto contenido en materia grasa del salvado, unido a que la mayoría de las enzimas endógenas (lipasas, amilasas, catalasas, lipoxigenasas, polifenol oxidasas, betaglucanas...) se encuentran en el salvado y el germen, hacen que esta fracción sea fácilmente oxidable y se enrancie con facilidad.

Aunque son muchas las variedades de arroz, son dos las subespecies más importantes: la variedad indica o de grano largo (mayor contenido en amilosa) y la variedad japónica o de grano corto. Existen otras variedades cerasas o waxy, llamadas también glutinosas, caracterizadas por un alto contenido en amilopectina.

El almidón es el principal componente del endospermo (90%) (Hettiarachchy y col., 2000) y sirve como reserva de hidratos de carbono en plantas, cereales, raíces... Los gránulos de almidón están compuestos por macromoléculas de amilosa y amilopectina, y su proporción y distribución dentro del gránulo determinan la estructura de este (Zavareze y col., 2011). La amilosa es una molécula lineal de unidades de D-glucosa unidas por enlace  $\alpha$ -1,4- glucosídico, de peso molecular entre  $10^5 - 10^6$  g/mol, y estructura helicoidal, en la que los H se sitúan en el centro de la hélice, dando carácter hidrofóbico a la estructura, y los grupos -OH, en la parte exterior de la misma. La amilopectina, cuyo peso molecular es  $10^7 - 5 \cdot 10^8$  g/mol, presenta una estructura más ramificada, constituida por cadenas lineales de unidades de D-glucosa con enlace  $\alpha$ -1,4- glucosídico, y cadenas laterales que presentan enlaces  $\alpha$ -1,6- glucosídico; estas cadenas de amilopectina se colocan radialmente en el interior del gránulo, con los extremos no reductores orientados a la superficie del mismo. Es por ello, que los gránulos de almidón presentan zonas cristalinas, formadas por las cadenas de amilopectina ramificadas, alternadas con zonas amorfas, (Liu y col., 2005)

que le confiere la presencia de amilosa, siendo estas regiones menos densas, con mayor facilidad para absorber agua a temperaturas inferiores a la de gelatinización y más susceptibles a los ataques enzimáticos (Zavareze y col., 2011).

El almidón nativo no siempre tiene las propiedades físico-químicas apropiadas para el procesamiento en la industria alimentaria; una de las mayores limitaciones es su insolubilidad en frío, debido a los puentes de hidrógeno presentes entre las cadenas de amilosa y amilopectina; con el aumento de temperatura estos enlaces se relajan, y las moléculas de agua, pueden interactuar con los grupos -OH de las cadenas de amilosa y amilopectina, provocando un aumento de tamaño en el gránulo y la solubilidad parcial del almidón (Hoover, 2001). Es muy generalizado, la modificación físico-química y enzimática del almidón, para promover propiedades funcionales específicas. En los últimos tiempos hay un especial interés en las modificaciones físicas del almidón, mediante tratamientos hidrotérmicos o mediante radiaciones; ya que se considera que el almidón resultante es un producto natural y es considerado como un ingrediente (Blazek y Gilber., 2011) y no como un aditivo, por lo que su presencia y cantidad en los alimentos no está limitada por la legislación.

Los tratamientos hidrotérmicos (HMT), son procesos en los que el almidón se calienta a temperaturas superiores a la de gelatinización (90 -120°C), pero restringiendo el contenido de humedad del mismo (10-30%), de modo que esta sea insuficiente para producir la gelatinización del almidón, consiguiendo alterar las propiedades físico-químicas del almidón, sin destruir su estructura granular (Adebowale y col., 2005; Hormdok y Noomhorm, 2007; Maache-Rezzoug y col., 2008).

Muchas son las investigaciones de HMT en almidones de arroz, (Klein y col., 2013), ya que estos tratamientos permiten el control de la movilidad molecular a altas temperaturas mediante la limitación de la cantidad de agua (Chung y col., 2009; Maache-Rezzoug y col., 2008). El HMT promueve un cambio en la disposición estructural de las cadenas de almidón dentro de las áreas amorfas y cristalinas de los gránulos, lo que promueve aumentos en la temperatura de empastado o *pasting*, y mejoras en la estabilidad térmica y al cizallamiento, además de disminuir la hinchazón granular y el contenido de amilosa lixiviado (Hoover, 2010; Zavareze y col., 2011); Cham y Suwannaporn (2010), trabajaron sobre la elaboración de fideos de arroz a partir de harina tratada térmicamente, e informaron positivamente sobre la disminución de la lixiviación de amilosa en el cocinado de los mismos.

No son tantos los trabajos realizados para determinar los efectos del HTM en harinas, Cham y Suwannapon (2010), Lorlowhakam y Naivikul (2006), Punched-arnon y Uttapap (2013), han evidenciado que el efecto del HTM en harinas es similar al que ocurre en

los almidones. Se comprueba que las propiedades de empastado de las harinas de arroz tratadas térmicamente tienen perfiles similares de RVA a los almidones resultantes de las mismas, observándose aumentos en la temperatura de *pasting* y descensos en la viscosidad que se manifiestan progresivos a medida que aumenta la humedad inicial de la muestra (Puncha-arnon y Uttapap, 2013). Las diferencias más notables observadas entre ambos se basan en temperaturas de *pasting* en harina superiores a las de almidones y un *breakdown*, diferencia entre la viscosidad máxima y mínima, inferior en la harina que en el almidón, lo que indica que la harina podría desarrollar la viscosidad más rápidamente que el almidón cuando se enfría. Varios autores han demostrado que las proteínas del arroz, son las principales responsables de las diferencias en las propiedades de empastado entre las harinas y los almidones (Limm y col., 1999; Xie y col., 2008; Zhu y col., 2010). El efecto del HMT es más pronunciado en las harinas, debido a que las proteínas, segundo componente principal de la harina, se pueden desnaturalizar tras un HMT, lo que podría dar lugar a interacciones entre ellas mismas y con los gránulos de almidón. Los cuerpos de proteínas desnaturalizada se deforman y se extienden sobre los grumos de los gránulos de almidón (Varatharajan y col., 2010), adhiriéndose sobre su superficie, siendo esta la principal causa de las diferencias de empastado entre las harinas y almidones de arroz tratados con HMT.

Como alternativa a los tratamientos hidrotérmicos convencionales, también se están estudiando HMT utilizando microondas (MW) como fuente de energía para generar calor, ya que se consiguen calentamientos más rápidos y uniformes (Sun y col., 2014) y con una mínima preparación de la muestra. Las MW son ondas electromagnéticas entre 300-300.000 MHz, rango en el que las moléculas polares e ionizables (agua y sales minerales principalmente) absorben energía y se orientan respecto al campo eléctrico aplicado, y el rápido cambio de su orientación genera calor por fricción molecular (Sumnu, 2001), esto implica un mayor calentamiento de la muestra y un aumento en la velocidad de calentamiento respecto a los tratamientos convencionales. Aunque autores han demostrado que la falta de uniformidad en distribución de la temperatura es uno de los mayores inconvenientes de la aplicación de MW (Irfan y col., 1998). La mayor parte de los tratamientos HMT por MW van encaminados a mejorar los defectos que presenta el almidón nativo: poco soluble, consistencia de la pasta incontrolada, inestabilidad en la congelación-descongelación (Sun y col., 2014). El tratamiento MW a almidones de maíz, tuvo como resultado además de modificaciones en las propiedades de empastado, un aumento de la capacidad de absorción de agua y disminución de la sinéresis, obteniendo un gel más denso y

suave; (Sharh y col., 2016) estudió el efectos de la radiación MW en las propiedades del almidón del castaño de indias, que reveló un aumento en la capacidad de absorción de agua y transmisión de la luz, además de una disminución en el contenido de amilosa y de la sinéresis. Según aumentó el tiempo de tratamiento MW, las propiedades de empastado (*peak viscosity*, *trough viscosity*, *breakdown*, *final viscosity* y *setback viscosity*) y temperatura de *pasting* mostraron valores significativamente menores. Los tratamientos MW también se usaron para mejorar propiedades nutricionales en alimentos. Se observó una mejora significativa en la capacidad antioxidante del almidón del castaño de indias (Sharh y col., 2016), galletas con mayor contenido nutricional elaboradas con salvado de trigo estabilizado con MW (Ertas, 2015). En la elaboración de panes con trigo integral, estabilizado con MW, el contenido en minerales era mayor que los de referencia (Demir y Elgün, 2014).

A pesar de que el valor nutricional de las harinas es más alto que el de los almidones, y que el proceso de elaboración es más económico, se ha informado relativamente poco sobre tratamiento térmico en harinas mediante MW; trabajos realizados por Lewandowit y col. (2000) y Luo y col. (2006), aplicando MW a almidones de trigo y maíz respectivamente, ajustaron el contenido inicial de agua de la muestra a 30% para evitar la posible gelatinización del almidón en el tratamiento HMT llevado a cabo por MW (Zavareze y col., 2011). Se han estudiado irradiación por MW en harina de trigo (Ashraf y col., 2012), y aplicación de tratamiento HMT por MW en harina y almidón de sorgo, mostrando las diferencias entre ellos (Sun y col., 2014). Recientemente se ha informado que el tratamiento térmico por MW en la harina de maiz (Román y col., 2015) ha fomentado cambios en la cristalinidad del almidón y la formación de complejos de amilosa-lípido, que afectan a las propiedades térmicas y de empastado de las harinas. Con el fin de inactivar la actividad de la enzima  $\beta$ -glucanasa en harinas (Pérez-Quirce y col., 2016), se ha aplicado tratamiento HMT con MW a harina de arroz, con distintos tiempos de tratamiento, en condiciones de humedad controlada durante el tratamiento MW mediante el empleo de bolsas termoselladas, manteniendo constante la humedad de la muestra (pérdida de agua <1%), a diferencia de los estudios anteriores que no tenían en cuenta la pérdida de humedad durante el tratamiento. Se ha informado de que el tratamiento con MW es una alternativa útil para la inactivación  $\beta$ -glucanasa endógena en harinas de arroz, cuando se aplica a harina de humedad controlada, aumentando dicha inactivación a medida que aumentaba la humedad de la harina. También se observó que la cristalinidad del almidón no se vió afectada, y los modificaciones en las propiedades de empastado de la harina fueron insignificantes.



Hoy en día, aproximadamente el 1% de la población padece la enfermedad celiaca, intolerancia genética al gluten (Mustalahti y col., 2010). Esta sensibilidad al gluten, es mayor en aquellos países en los que el trigo es el cereal principal de la dieta. El gluten, compuesto de proteínas presentes en algunos cereales, siendo las más comunes las gliadinas y gluteninas en el trigo, desencadenan reacciones inmunológicas en los pacientes celíacos, que origina la inflamación de las vellosidades presentes en el intestino delgado, dificultando la absorción de nutrientes y, provoca alteraciones digestivas a los individuos que la padecen, pudiendo generar retraso en el crecimiento por una mala absorción de nutrientes, y originando la destrucción de las vellosidades si no se trata adecuadamente. El único tratamiento eficaz es la retirada de la dieta de todos los alimentos con gluten, llevando de por vida una dieta libre de gluten, lo que da lugar a la recuperación de las mucosa intestinal; lo que supone un aumento en la demanda de productos libres de gluten, y una mejora en la calidad organoléptica y nutricional de los mismos.

La harina de arroz es un ingrediente muy adecuado para las formulaciones “sin gluten” en panadería y repostería, debido a su sabor suave, color blanco, la digestibilidad y las propiedades hipoalergénicas. También tiene bajo contenido en proteínas y sodio, y contiene hidratos de carbono fácilmente digeribles (Rosell y col., 2014). La harina de arroz, presenta una relación de albúmina-globulina-prolamina-glutelina, muy diferente al resto de los cereales, siendo la concentración de glutelinas alta, y presentando un bajo contenido en prolaminas. Al igual que la mayoría de los cereales, las proteínas de arroz son deficientes en algunos aminoácidos esenciales como la lisina, pero debido a la particular proporción de las fracciones proteicas, el arroz presenta un mayor contenido en lisina (3.5 – 4.1 g de lisina/ 100 g de proteína) que el resto de los cereales (Rosell y col., 2014)

En el mercado, podemos encontrar gran cantidad de productos horneados, elaborados a partir de harina de arroz, aunque normalmente son de mala calidad sensorial y nutricional, y muestran propiedades físico-químicas inferiores que las elaboraciones de panadería tradicionales. Se ha estudiado mucho acerca de la búsqueda de materias primas para mejorar las carencias que presentan los productos sin gluten, coincidiendo en que el empleo de harinas de granulometría fina para elaborar bizcochos y derivados de mayor calidad (De la Hera y col., 2013; Dhen y col., 2016; Kim y Shin, 2014). Kim y Shin (2014), muestra que las elaboraciones con harinas de tamaño de partícula menor de 75 y 95  $\mu\text{m}$ , se consiguen magdalenas con mayor volumen específico, menor dureza y elasticidad, y poros de menor tamaño y más homogeneidad del alveolado; además de presentar mejor textura y calidad en las



pruebas sensoriales. De la Hera y col., (2013), estudiaron como afecta el tamaño de partícula y la variedad de arroz en la calidad de los bizcochos elaborados, e informó como las harinas más finas (tamaño de partícula de 100  $\mu\text{m}$ ) consiguen elaboraciones con volúmenes específicos más bajos pero con una distribución del aire en burbujas más pequeñas y uniformes, además de mayores índices de simetría para las dos elaboraciones probadas (layer cake y sponge cake). Al respecto, Dhen y col. (2016), observaron el volumen más bajo de los bizcochos elaborados con harinas más gruesas.

Aunque la oferta de productos elaborados con harina de arroz es amplia, y los tratamientos HMT están muy extendidos a escala industrial, no es posible encontrar en el mercado elaboraciones en base harina de arroz tratada hidrotérmicamente. En lo que sabemos, no se han realizado trabajos en los que se utilice harina tratada hidrotérmicamente por microondas para la elaboración de productos horneados de panadería y bollería. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo es estudiar el efecto del tratamiento microondas sobre las harinas de arroz de tamaño de partícula pequeño, bajo condiciones de humedad constante (30%) en función del tiempo de tratamiento, y el efecto del empleo de las mismas en la elaboración de bizcochos. El efecto del tratamiento microondas en las propiedades de empastado de la harina tratada también se ha analizado.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 MATERIALES**

#### **2.1.1 Materiales para el tratamiento de la harina**

Para la realización del presente trabajo se utilizó harina de arroz de variedad Índica carente de tratamientos de conservación contra plagas Herba Fine 90, desprovista de cubiertas exteriores y del germen (15% de humedad, <0.9 cenizas; >6.5% proteínas; <1.0 % grasa; <10 ppm de gluten), y granulometría: 150 $\mu\text{m}$  (<1%), 150 - 90 $\mu\text{m}$  (5-15%), <90 $\mu\text{m}$  (>84%), suministrada por Herba Ricemills, S.L.U.; Las bolsas utilizadas para la conservación y posterior tratamiento de microondas de las harinas fueron de poliamida-polipropileno (20 x 24 cm), (NOP101 CRYOVAC).

#### **2.1.2 Materiales para la elaboración de bizcochos**

El huevo líquido pasteurizado empleado en este estudio fue de marca Ovopack. El impulsor (conocido comúnmente como levadura química) de marca Royal. El azúcar,

aceite de girasol y la leche entera se adquirieron en el mercado local. La harina empleada fue del tipo microcer acondicionada al 30% de humedad para la elaboración de los bizcochos control, además de las harinas tratadas en microondas para tiempos de tratamiento: 4, 12 y 24 minutos.

## **2.2 MÉTODOS**

### **2.2.1 Acondicionamiento y conservación de las muestras de harina**

Previo a los tratamientos de microondas de la harina, se determinó la humedad real de la misma (Método Oficial AACC 49.19), por desecación en estufa de ventilación forzada (serie FED 115, marca WTB Binder, Tuttlingen, Alemania) siguiendo el método AACC 49.19, y se calculó el agua necesario para ajustar el contenido de humedad hasta  $30\pm 0.3\%$ . La humedad deseada se consiguió por pulverización directa del agua sobre la harina mientras se agitaba en la batidora a velocidad 2 (Kitchen Aid, Modelo 5KPM5, Michigan, USA). La harina resultante se envasó en bolsas de poliamida-polipropileno termoselladas (termoselladora Magneta 300, marca Audio Elektro, Holanda) y se dejó reposar durante 24 horas a  $4^{\circ}\text{C}$  con el fin de estabilizar la humedad de la misma. La harina acondicionada en muestras de 25g. se conservó en bolsas de poliamida-polipropileno termoselladas tanto en la parte superior como en las esquinas para su posterior empleo en el microondas y a una temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$ , para evitar el crecimiento microbiano de la misma, hasta su uso posterior.

### **2.2.2 Tratamiento microondas**

Para realizar el tratamiento térmico de la harina de arroz, se utilizó un microondas doméstico (modelo GD566 inverter, marca Panasonic, China), de 900 W que emplea una frecuencia de radiación de 2450 MHz, que tenía practicado un orificio superior con un eje acoplado a un taladro, modificación que permitió el volteo y agitación de la muestra durante el tratamiento. Además, en la parte interior, el eje tenía un disco con 4 enganches a los cuales se sujetaba la bolsa termosellada en las esquinas mediante bridas para tal fin, las bolsas se sellaron en las esquinas, y se taladraron, para poder prenderlas a los enganches destinados a tal fin (ver figura 2).



Figura 2: Montaje mecanismo microondas (izquierda) y dispositivo de acoplamiento de la bolsa (derecha)

### 2.2.2.1 Ensayos previos

Con el fin de ajustar las condiciones de tratamiento, se realizaron un total de 20 ensayos previos, a diferentes potencias de tratamiento (250, 400 y 900W), masa de harina tratada (25, 30 y 50 g), tiempo de tratamiento (4-16 minutos) y tiempo de parada (0-48 minutos), y agitación mecánica o manual de la muestra. Se comprobó la temperatura alcanzada en la muestra tras cada ciclo de tratamiento, midiendo la temperatura superficial en la bolsa, sin sacarla del microondas, con un termómetro de infrarrojos (modelo testo 826-T2, Lenzkirch, Alemania) (ver tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los tratamientos previos aplicados en este estudio

Harina (tipo y humedad)	Masa g	Pot. W	Agitación	Tratamiento*	Tiempo tto. MW	Tiempo reposo	Tiempo total	T <sup>º</sup> max °C	Explosión
Microcer 30%	30	900	NO	(20''-1')x12	4'	12'	20'		No
Microcer 30%	30	900	Manual	(20''-1')x12	4'	12'	20'	76	No
Microcer 30%	50	900	Manual	(20''-1')x12	4'	12'	20'	85,1	No
Microcer 30%	50	900	Manual	(20''-1')x24	8'	24'	32'	89,2	No
Microcer 30%	50	900	Manual	(20''-1')x48	16'	48'	64'	90,1	No
Microcer 30%	50	900	Manual	(20''/30'')x12	4'	6'	10'	92,1	Si
Microcer 30%	50	250	Mecánica	(2'-1'-1'-1'-50'')	3'50''	2'	5'50''		Si
Microcer 30%	50	250	Mecánica	(3'30''-1')+(1'30''-1')x8	15'30''	9'	24'30''	98,6	No
Microcer 30%	25	250	Mecánica	(2'-1')x4	7'55''	3'	10'55''	97,8	No
Microcer 30%	25	250	Mecánica	(1'-1')x8	8'	8'	16'	80	No
Microcer 30%	25	250	Mecánica	(1'-1')x4	4'	4'	8'	94,9	Casi
Microcer 30%	50	440	Mecánica	(1'-1')x4	1'46''	1'	2'46''		Si
Microcer 30%	50	250	Mecánica	(2'-3')x7	3'42''	3'	6'42''	91,8	Si
Microcer 30%	50	250	Mecánica	(90''-135'')x9	5'49''	6'45''	12'34''	94,1	Si
Microcer 30%	25	250	Mecánica	en continuo	5'30''	0	5'30''		No
Microcer 30%	25	250	Mecánica	(3'30''-1'30'')+(1'30''-1'30'')	5'46'	3'	8'46''	93,8	Si
Microcer 30%	25	250	Mecánica	(1'-1')xn,(n=4, 8, 12, 14)	4, 8, 12, 14	4, 8, 12, 14	8, 16, 24, 28	90.9	No

\*Tratamiento: (min de tto MW-min reposo)\*nº de ciclos

Se midieron las propiedades de empastado de cada muestra tratada por MW en los ensayos previos, con el fin de establecer un procedimiento de ensayo reproducibles, que mostrase cambios en los perfiles de viscosidad de las harinas. Las curvas RVA de los ensayos preliminares están recogidas en el Anexo I.

### **2.2.2.2 Tratamiento microondas con agitación mecánica**

A partir de los ensayos preliminares realizados, se fijaron algunas de las variables analizadas. Los tratamientos térmicos con microondas (MW) se aplicaron sobre muestras de 25 g de harina a una temperatura inicial de 25°C tras 30 min de descongelación y atemperación. La potencia de microondas aplicada fue de 250 W, con agitación/volteo mecánico de la muestra, en ciclos de 1 minuto de tratamiento-1 minuto de parada, hasta llegar a tiempos de tratamiento de 2, 4, 8, 12, 16, y 24 minutos. No se abrió la puerta del microondas entre ciclos y se midió la temperatura inicial y final de la muestra. Los ciclos de microondas aplicados y la masa de harina seleccionada se optimizaron para conseguir el mayor grado tratamiento posible compatible con el mantenimiento de una humedad constante en la muestra. Masas de harina mayores o tiempos de aplicación de MW más dilatados provocaban la ruptura de las bolsas herméticas por la presión generada en su interior como consecuencia del vapor de agua generado procedente de la muestra. Además se alternaron tiempos de tratamiento con tiempos de reposo, para conseguir tratamientos más largos, y se utilizó una potencia de trabajo baja, 250 W, para no provocar sobrecalentamientos rápidos de la muestra. Una vez finalizado el tratamiento, las bolsas se dejaron reposar durante 60min a 25°C antes de ser congeladas a -40°C.



**Figura 3. Muestra durante tratamiento MW**

### 2.2.2.3 Estudio de las propiedades de empastado de las harinas

Las mediciones de las propiedades de empastado de las harinas tratadas se realizaron según el método AACC 76.21.01, usado el equipo RVA- (Rapid Visco Analyzer) de Newport Scientific (Warriewood, Australia), con el software Thermocline v 2.2 de la misma casa comercial. El programa de temperatura-tiempo, que se utilizó con las harinas fue el siguiente: acondicionamiento previo de 1 min-50°C, seguido de un calentamiento de 50 a 95°C, a una velocidad de 12.16°C/min; mantenimiento a 95°C durante 3.30 min. A continuación se llevó a cabo un enfriamiento de 95 a 50°C, a una velocidad de 11.8°C/min, y se mantuvo esta temperatura durante 2 min. De cada muestra tratada se realizaron dos perfiles de viscosidad vs tiempo, a partir de suspensiones de 3 g de materia seca de harina y 25 ml de agua; a partir de los cuales se obtuvieron los siguientes parámetros: Temperatura de *Pasting*, (PT) temperatura a la que los gránulos de almidón comienzan a hincharse y gelatinizar debido a la absorción de agua; *Peak viscosity*, (PV) viscosidad máxima alcanzada por la pasta; *Peak time*, (VT) tiempo en el que se alcanza la máxima viscosidad; *Trough viscosity*, (VC) viscosidad mínima registrada al final de la etapa de T:95°C; *Breakdown*, (BD) diferencia entre la viscosidad máxima y la mínima; Viscosidad final a 50°C ( VF); *Setback*, (SB) diferencia entre la viscosidad mínima y la final (retrogradación).

Previo al ensayo de empastado, es necesario medir el contenido de humedad de la muestra, ya que según esta, el equipo realiza las correcciones necesarias (g. de muestra sólida-g. de agua), ajustando estas cantidades a 3 g de muestra de materia seca. Estas mediciones de humedad, tras los tratamientos térmicos en microondas, se realizaron haciendo uso de una termobalanza (Sartorius MA 150Q, Alemania).

## 2.2.2 ELABORACIÓN DE BIZCOCHOS

### 2.2.2.1 Tratamiento de harinas para elaboración de bizcochos

Tras analizar los parámetros registrados en los perfiles de RVA de las distintas muestras de harinas tratadas térmicamente, se seleccionaron tres harinas tratadas a tres tiempos diferentes, las cuales dan cuenta de diferencias significativas en los parámetros de RVA, para analizar el efecto de dichos tratamientos en productos horneados. Para tal fin se realizaron 6 repeticiones de los tratamientos: 25g-250W- (1'-1') x n, siendo n: 4, 12, y 24 de cara a obtener la cantidad necesaria para realizar el batido de bizcocho. Se realizaron medidas de la humedad de la harina tras el tratamiento en microondas y ensayos de perfiles de RVA cada dos tratamientos, para

comprobar la adecuada repetibilidad del tratamiento microondas, además de otro perfil de viscosidad y humedad de la mezcla final de la harina tratada para cada condición de tratamiento.

### 2.2.2.2 Elaboración de los bizcochos

Tras ensayos preliminares de elaboración y optimización del sistema y tiempo de batido y temperatura y tiempo de horneado, se optó por realizar una elaboración tipo *layer cake*, cuya receta de partida fue: Harina: 30%, huevo pasteurizado: 15%, azúcar: 27%, leche: 18%, aceite de girasol: 9% e impulsor químico: 0.9%. Se realizaron dos controles con harina microcer sin tratamiento térmico, con humedades de 13 y 30%, y 3 elaboraciones con harinas tratadas térmicamente en microondas. Se ajustó la fórmula de todas ellas, para conseguir el mismo contenido en materia seca de harina que en la elaboración realizada con harina al 13% de humedad. Se pesaron las cantidades recogidas en la Tabla 2 obtenidas a partir de la humedad resultante en cada harina tratada.

**Tabla 2. Formulaciones empleadas para la elaboración de las muestras de bizcochos.**

	Elaboración 1 Microcer 13%	Elaboración 2 Microcer 30%	Elaboración 3 Microcer 4 min tto.	Elaboración 4 Microcer 12 min tto.	Elaboración 5 Microcer 24 min tto.
<b>Harina (g)</b>	120	148	144	142	140
<b>Huevo Pasteurizado (g)</b>	60	60	60	60	60
<b>Azúcar (g)</b>	108	108	108	108	108
<b>Leche entera (g)</b>	72	44	48	50	52
<b>Aceite de girasol (g)</b>	36	36	36	36	36
<b>Impulsor químico (g)</b>	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6

El amasado se realizó en amasadora Kitchen Aid, incorporando todos los ingredientes a la vez al bol de amasado, siguiendo esta relación de tiempo/velocidades de amasado: 1 minuto a velocidad 2, 4 minutos a velocidad 4 y 3 minutos a velocidad 6. A continuación se pusieron 180.0 g de masa en dos moldes de dimensiones (125\*75\*40 mm) y se hornearon 18 min a 180°C, en horno Sveba Dahlin, con convección de aire y giro en continuo de la bandeja de horneado.

### 2.2.2.3 Caracterización de los bizcochos

Sobre los bizcochos frescos, en el mismo día de su elaboración, se determinaron los siguientes parámetros:

- Pérdida de peso por horneado: Diferencia entre el peso de la mezcla en molde antes de la cocción y el peso del bizcocho tras el horneado.
- Fotografías de cada bizcocho y rebanadas: para registrar las formas de todas las muestras, tanto la vista superior como lateral y del alveolado de la rebanada (cámara digital Canon Power Shot SW410 IS)
- Determinación del volumen específico; empleando un medidor láser de volumen BVM-L370 Volume Analyser (Texvol Instruments, Viken, Sweden) acoplado al software Volscan profiler.
- Textura: las propiedades texturales de dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia, se midieron con texturómetro TA-XT2 texture analyser (Stable Microsystems, Surrey, UK) controlado por el software Texture Expert. Se usó una sonda cilíndrica de aluminio de diámetro 20 mm (P/20), en el análisis del perfil de textura (TPA) de doble prueba de compresión, con velocidad de la prueba 1mm/s, con 30s de retardo entre la primera y segunda compresión, a un nivel de deformación del 50% . Las mediciones se realizaron en las dos rebanadas centrales (grosor 20 mm); para evaluar el envejecimiento de la muestra de cada bizcocho elaborado, se determinó el incremento de dureza, tras 8 días de almacenamiento a 4°C.
- Propiedades de color de corteza y miga se midieron usando un espectrofotómetro Minolta CN-508 i (Minolta Co, Ltd, Osaka, Japan), con Iluminante D65, observador 2° para determinar las coordenadas L\* a\* b\*. De cada muestra, el color se midió cinco veces en cada cuadrante de la corteza, y en dos rebanadas de cada bizcocho.
- Simetría: usando plantilla milimetrada se midió la altura de la rebanada del bizcocho en los cinco puntos indicados en el método. Las mediciones se realizaron en la rebanada central de un bizcocho por elaboración.
- Análisis sensorial: se utilizó la metodología de grupos de enfoque, herramienta de investigación en el desarrollo de nuevos productos, con el fin de obtener información y opinión libre acerca de las elaboraciones realizadas mediante una entrevista organizada con un número reducido de participantes (4).

### 2.2.3 Análisis Estadístico

Los datos experimentales se analizaron mediante el análisis simple de la varianza, y los medios fueron comparados para una significación  $p < 0,05$  mediante la prueba de



la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statgraphics Centurion XVII (Bitstream, Cambridge, MN, USA).

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Tratamiento microondas (MW)**

Se elaboraron dos lotes de harina acondicionada, con humedades calculadas por método oficial AACCC 49.19, obteniéndose unas humedades de: L1:29.9975% y L2: 29.8945%, a partir de harina microcer de partida (12.95%). Se realizaron idénticos tratamientos con alícuotas de cada uno de los lotes. A partir de ellos, se llevaron a cabo los ensayos con el RVA, realizando, duplicado de cada bolsa. Los resultados de los perfiles de viscosidad se muestran en la tabla 3.

Los ciclos de tratamiento consistieron en la alternancia de periodos de 1 minuto de aplicación seguidos de 1 minuto de reposo, repitiendo esta secuencia n veces, siendo n: 2, 4, 8, 12, 16 y 24, para conseguir tratamientos de con tiempos efectivos de aplicación de MW de 2, 4, 8, 12, 16 y 24 minutos. Después de cada tratamiento y atemperado de las muestra durante 60 minutos a 25°C, se determinó la humedad de la harina en termobalanza (Pérez-Quirce y col. 2016) para verificar la hermeticidad de las bolsas, midió la humedad de la harina después de cada tratamiento, siendo la perdida de humedad máxima tras el tratamiento más prolongado <1%. En consonancia con las condiciones de trabajo establecidas en el presente estudio, Sharh y col. (2016) y Trancoso-Reyes y col.(2016) y Román y col. (2015), también realizaron tratamientos MW en harinas y almidones a tiempo variable, mientras (Pérez-Quirce y col. 2016), realizó estudios para distintos tiempos de tratamiento y humedades iniciales de la harina.

##### **3.1.1 Propiedades de empastado de las harinas tratadas por microondas**

Se midieron las propiedades de empastado de las harinas de cada muestra tratada en MW por duplicado, y de la harina control al 13 y 30%, bajo las mismas condiciones de conservación con el fin de evaluar el efecto del tiempo de tratamiento microondas en las harinas. La temperaturas finales de la harina tras los tratamientos MW alcanzaron en todos los casos valores aproximados a 90°C.

En la figura 4, se muestra la evolución de la viscosidad de la muestras durante el ciclo de calentamiento-enfriamiento programado en el equipo RVA. Se mostraron similares perfiles para todos los tratamientos, observándose perfectamente los procesos de gelatinización y retrogradación.

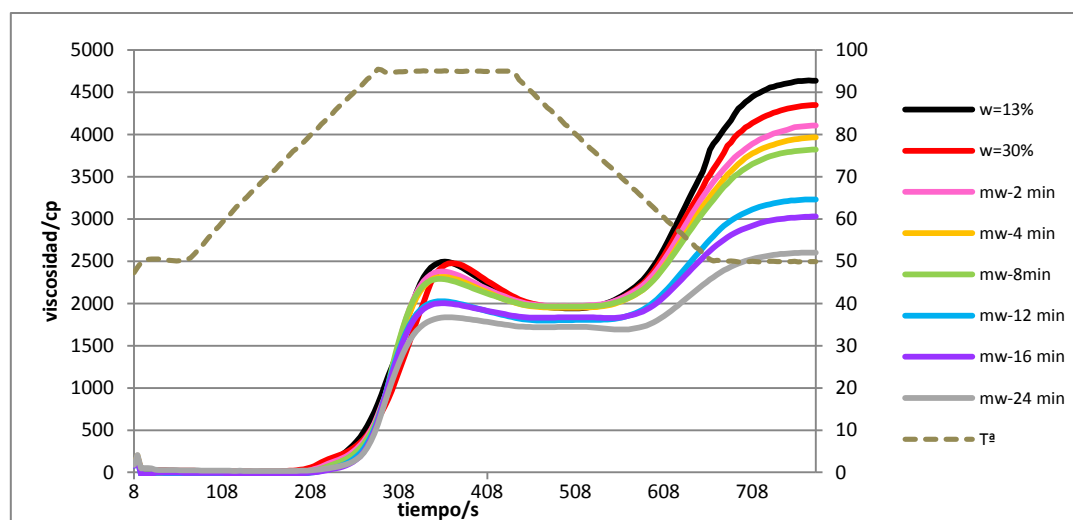


Figura 4. Perfiles de viscosidad promedio de las harinas control al 13% y 30% de humedad, y harinas al 30% de humedad con tratamiento MW a tiempos:2, 4, 8, 12, 16, y 24 minutos.

Tabla 3. Valores medios y grupos homogéneos para los parámetros de viscosidad

Tiempo tto. MW (min)	PV (cp)	VC (cp)	BD (cp)	VF (cp)	SB (cp)	VT (Min)	PT (°C)
0	2478 f	1952 c	526 e	4351 e	2399 e	6,13 d	79,93 a
2	2383 ef	1969 c	414 d	4107 d	2138 d	5,94 abc	82,00 b
4	2315 de	1949 c	366 c	3965 d	2016 d	5,95 bc	84,46 c
8	2224 cd	1911 bc	314 b	3694 c	1783 c	5,87 ab	84,90 cd
12	2128 c	1833 b	295 b	3496 c	1663 c	5,80 a	86,50 d
16	2004 b	1827 b	177 a	3029 b	1202 b	5,93 abc	88,09 e
24	1898 a	1742 a	156 a	2730 a	987 a	6,02 cd	88,42 e
<b>Error estándar</b>	38	32	17	84	68	0,05	0,53
<b>p-valor</b>	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0126	0,0000

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

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*.

En la tabla 3 se recogen los valores medios de los parámetros de empastado para cada tiempo de tratamiento así como los grupos homogéneos, que da cuenta de las diferencias estadísticamente significativas entre la media de cada parámetro para un tiempo de tratamiento con respecto a otro, para un nivel de confianza del 95%.

Las muestras tratadas en MW mostraron un descenso en la PV y VF durante el ciclo de calentamiento-enfriamiento para todos los tiempos de tratamiento aplicados; este descenso en los valores de viscosidad es más acusado a medida que aumenta el tiempo de tratamiento MW. El mayor descenso en los citados parámetros se obtuvo para el tratamiento a 24 minutos, en el cual el pico de viscosidad se redujo en torno a un 23% mientras que para el mismo tiempo, el descenso en la viscosidad final

alcanzó el 37% en comparación con los valores de harina sin tratamiento térmico empleados como referencia. PV y VF se redujeron a medida que se prolongó el tiempo de tratamiento en consonancia con las observaciones previas realizadas por Román y col, (2015) y Pérez-Quirce y col, (2016) quienes que observaron descensos en los parámetros de viscosidad de las harinas tratadas para tiempos de tratamiento largos. Efectos similares a los descritos se han observado en (Sharh y col., 2016) y (Trancoso-Reyes y col., 2016), en el estudio de las propiedades de empastado de almidón de castaño de indias y harina de batata respectivamente. Se ha puesto de manifiesto que con el aumento del tratamiento MW disminuye el agua absorbido por el gránulo de almidón, y por tanto su hinchamiento, lo que hace que las viscosidades alcanzadas sean menores; los patrones de Rayos X (RX) de las harinas tratadas, mostraron una menor cristalinidad conforme aumentaron los tiempos de tratamiento (Trancoso-Reyes y col., 2016) debida a que la desorganización de la estructura del almidón es mayor según se aumentaban los tiempos de tratamiento y el calor aplicado a la muestra. Con el microscopio de barrido electrónico (SEM) (Sharh y col., 2016) se comprobó que para mayores tiempos de tratamiento MW, el tamaño de los gránulos de almidón incrementaba, debido a que la aplicación de radiación gamma del MW genera radicales que se pueden unir a fragmentos de almidón o a otros gránulos de almidón formando moléculas de mayor tamaño. Explicación similar muestra Punchedarnon y Uttapap (2013), que informa que durante el tratamiento HMT se pueden desnaturalizar las proteínas de la harina de arroz, glutelinas principalmente, e interaccionar con los gránulos de almidón, adhiriéndose a su superficie lo que provoca el retraso del hinchamiento de los gránulos de almidón al aumentar la hidrofobicidad de estos. Luo y col. (2006), informó al respecto que los cambios en la disminución de la solubilidad e hinchamiento tras el tratamiento MW, son similares a los originados por un HMT convencional, y vienen inducidos por cambios en el reordenamiento de las cadenas de amilosa-amilopectina, siendo más acusado en las regiones donde predomina la amilosa. También se ha observado que al aumentar el contenido en amilosa, la morfología de los gránulos de almidón tras el tratamiento HMT, se ve ligeramente afectada, mostrando la superficie más irregular y mayor grado de aglomeración (Luo y col., 2006; Zavareze y col., 2010).

La viscosidad mínima registrada también disminuyó a medida que aumentaba el tiempo de tratamiento mostrando una caída máxima del 11% para el tiempo de tratamiento más prolongado. Consecuentemente los valores de BD y SB también mostraron una bajada en sus valores, siendo esta disminución progresiva al aumentar los ciclos aplicados. Se obtuvo un descenso máximo, para tiempos de tratamiento de

24 minutos, concretamente del 70% y 59% en los valores de BD y SB respectivamente. A pesar de que se evidenciaron diferencias significativas en los resultados de VT, y se observó que las variaciones existentes no dependieron del tiempo de tratamiento, ya que los resultados mostraron variaciones aleatorias para los diferentes tiempos de tratamiento.

La temperatura de empastado aumentó paulatinamente según los tiempos de tratamientos se vieron incrementados, presentando un aumento máximo de 11% en el caso del tratamiento a 24 minutos. Como consecuencia de los cambios en la cristalinidad y las reorganizaciones de las cadenas de amilosa-amilopectina, a medida que aumenta la energía aplicada a la muestra, se observa que la temperatura a la cual comienza la gelatinización va aumentando, debido a los cambios en la cristalinidad sufridos en la harina tratada, como consecuencia de la formación de complejos amilosa-lípidos (Román y col., 2015). Estos efectos que el tratamiento MW origina en la harina hacen que se modifiquen sus propiedades funcionales además de los parámetros de empastado. Se observa como la retrogradación es menor, así como la cantidad de amilosa lixiviada, y como consecuencia se consiguen harinas más estables térmicamente, aptas para la elaboración de alimentos congelados y congelados, Zavareze y col. (2011).

En la figura 5 se representan la tendencia de las propiedades de viscosidad en función del tiempo de tratamiento aplicado, con el error correspondiente. Los parámetros RVA se ajustaron a una ecuación exponencial:  $\mu = \mu_0 \cdot \exp(-K \cdot t)$ ; donde  $\mu$  (cp) es la propiedad relacionada con la viscosidad en cada caso,  $\mu_0$  (cp) es la viscosidad inicial,  $K$  ( $\text{min}^{-1}$ ) es la constante cinética, y  $t$  (min) es el tiempo de tratamiento MW. La tabla 4 muestra los resultados de los cálculos de los valores de  $\mu_0$  y  $K$ , mediante el ajuste a una regresión no lineal de tipo exponencial. Las constantes cinéticas obtenidas reflejan el descenso en los parámetros de empastado con respecto al tiempo, por lo que se pone de manifiesto que los parámetros que descienden con mayor velocidad son el BD y SB, aunque en el gráfico de tendencia no se pueda observar con claridad.

**Tabla 4. Ecuaciones cinéticas de las variaciones de los parámetros de empastado en función del tiempo de tratamiento.**

	PV	VC	BD	VF	SB
$\mu_0$ (cp)	2.442 ± 18	1.976 ± 11	489 ± 24	4.312 ± 47	2.363 ± 59
$K$ ( $\text{min}^{-1}$ )	11,3*10 <sup>-3</sup> ±0,7*10 <sup>-3</sup>	5,2*10 <sup>-3</sup> ±0,5*10 <sup>-3</sup>	53,6*10 <sup>-3</sup> ±6,9*10 <sup>-3</sup>	19,7*10 <sup>-3</sup> ±1,1*10 <sup>-3</sup>	36,5*10 <sup>-3</sup> ±3,0*10 <sup>-3</sup>
$R^2$	0,9804	0,9494	0,9330	0,9840	0,9701

$\mu_0$ : viscosidad inicial ±error estándar;  $k$ : cte. Cinética ±error estándar.

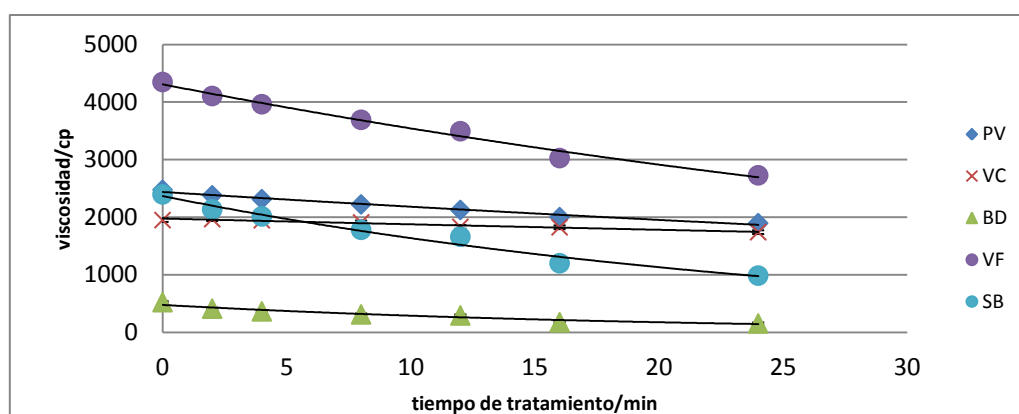


Figura 5. Efecto del tiempo de tratamiento en las propiedades de empastado.

### 3.1.2 Propiedades de color de las harinas tratadas por MW

Tabla 5. Parámetros de color de las harinas tratadas por MW.

Tiempo tto. MW (min)	L*	a*	b*	$\Delta E$
0	94,04 d	-0,25 c	5,67 a	--
2	93,72 cd	-0,31 b	6,15 b	0,58
4	93,59 bc	-0,29 bc	6,33 bc	0,80
8	93,28 ab	-0,38 a	6,47 c	1,11
12	93,34 b	-0,38 a	6,89 d	1,42
16	92,97 a	-0,42 a	7,08 d	1,78
24	92,98 a	-0,40 a	7,35 e	2,00
<b>Error estándar</b>	0,16	0,02	0,11	
<b>p-valor</b>	0,0001	0,0000	0,0000	

En la tabla 5 se muestran los valores de los parámetros de color de las harinas control y tratadas térmicamente mediante MW. Se aprecia una ligera disminución en la luminosidad y en el valor de  $a^*$  conforme aumenta el tiempo de tratamiento MW, es decir, las harinas se oscurecieron ligeramente, tendiendo a colores más verdosos. La variación más notable en los parámetros de color se ve reflejada en el aumento del valor de  $b^*$ , sufriendo un incremento progresivo al aumentar el tiempo de tratamiento, alcanzando un aumento máximo del un 30% para el tratamiento de 24 minutos, dando lugar a harinas más amarillentas. Aunque los valores de los parámetros de color mostraron diferencias significativas, la diferencia de color ( $\Delta E < 5$ ) calculada no es apreciada por el ojo humano (García-Viguera y Zafrilla 2001). Shah y col. (2016) informaron sobre un resultado similar en el tratamiento de MW a almidón, se observó un aumento en el valor del parámetro  $b^*$  por la reacción de caramelización de los azúcares reductores generados por hidrólisis térmica del almidón; igualmente Trancoso-Reyes y col. (2016) observaron un descenso en los valores de luminosidad,

y un incremento de los parámetros a\* y b\* tras el secado térmico por MW en harina de tubérculos.

### 3.2 Caracterización de los bizcochos elaborados

#### 3.2.1 Medición de las propiedades físicas de los bizcochos

Tabla 6. Características físicas y de color de los bizcochos elaborados

Tiempo tratamiento MW (min)	Pérdida peso (%)	Volumen específico (mL/g)	Color corteza			Color miga		
			L*	h	C*	L*	h	C*
0	12,56 a	1,94 a	55,97 c	61,30 b	31,04 c	79,10 b	93,23 b	14,93 b
4	13,25 b	2,14 c	53,18 a	56,61 a	26,73 a	76,65 a	92,18 a	14,14 a
12	12,72 a	2,08 b	56,22 c	61,88 b	31,17 c	76,50 a	93,70 b	14,40 b
24	12,72 a	2,15 c	54,71 b	62,02 b	28,96 b	77,21 a	92,53 a	15,28 a
<b>Error estándar</b>	0,15	0,01	0,48	0,51	0,38	0,45	0,26	0,17
<b>p-valor</b>	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0012	0,0003

Se realizaron 6 repeticiones de cada uno de los tratamientos a 4, 12, y 24 minutos para obtener la suficiente cantidad de harina tratada por MW para realizar cada elaboración.

Para poner a punto el método de elaboración de bizcochos se realizaron bizcochos control con harina con un 13% de humedad sin haber sido sometida a tratamiento MW. Finalmente se optó por tomar como referencia las elaboraciones con harina al 30% sin tratamiento MW, ya que la manipulación de la harina resultaba similar a las harinas tratadas por MW en cuanto a hidratación inicial de la harina o las posibles aglomeraciones de ésta. La elaboración control se realizó 3 veces para dar cuenta de la repetitividad del método.

Tras la cocción y atemperado de las elaboraciones, se procedió a la caracterización de las propiedades físicas de los bizcochos elaborados. En las tablas 6 y 7, muestra la evolución de las características texturales: color, volumen específico, pérdida de peso, y simetría para cada elaboración realizada.

A nivel morfogeométrico, se observó como el tiempo de tratamiento afecta positivamente al volumen específico, incrementándose aunque de forma no proporcional al tiempo de tratamiento. El aumento máximo del 11.08% del volumen específico, en comparación con la elaboración control, se alcanzó para la elaboración correspondiente a la harina tratada 24 minutos. Sin embargo, en los valores de pérdida de peso no se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos,

aunque si se pudo apreciar una ligera disminución en la pérdida de peso de los bizcochos elaborados con harinas tratadas por MW, aunque dicha reducción no fue proporcional al tiempo de tratamiento aplicado, siendo las muestras realizadas con harina tratada 4 minutos la que presentó una reducción mayor en torno al 5,5%.

Se presentaron diferencias significativas en los parámetros de color de la corteza no relacionadas con los tiempos de tratamiento aplicados a las harinas. Los tres parámetros cromático evaluados, L, h y C\* mostraron la misma tendencia: los valores obtenidos para la elaboración con harina tratada 4 minutos disminuyen con respecto a la elaboración control, los datos de la elaboración a 12 minutos aumentaron respecto a la de 4 minutos, mientras las elaboraciones a 24 minutos presentaron valores ligeramente inferiores que la de 12 minutos.

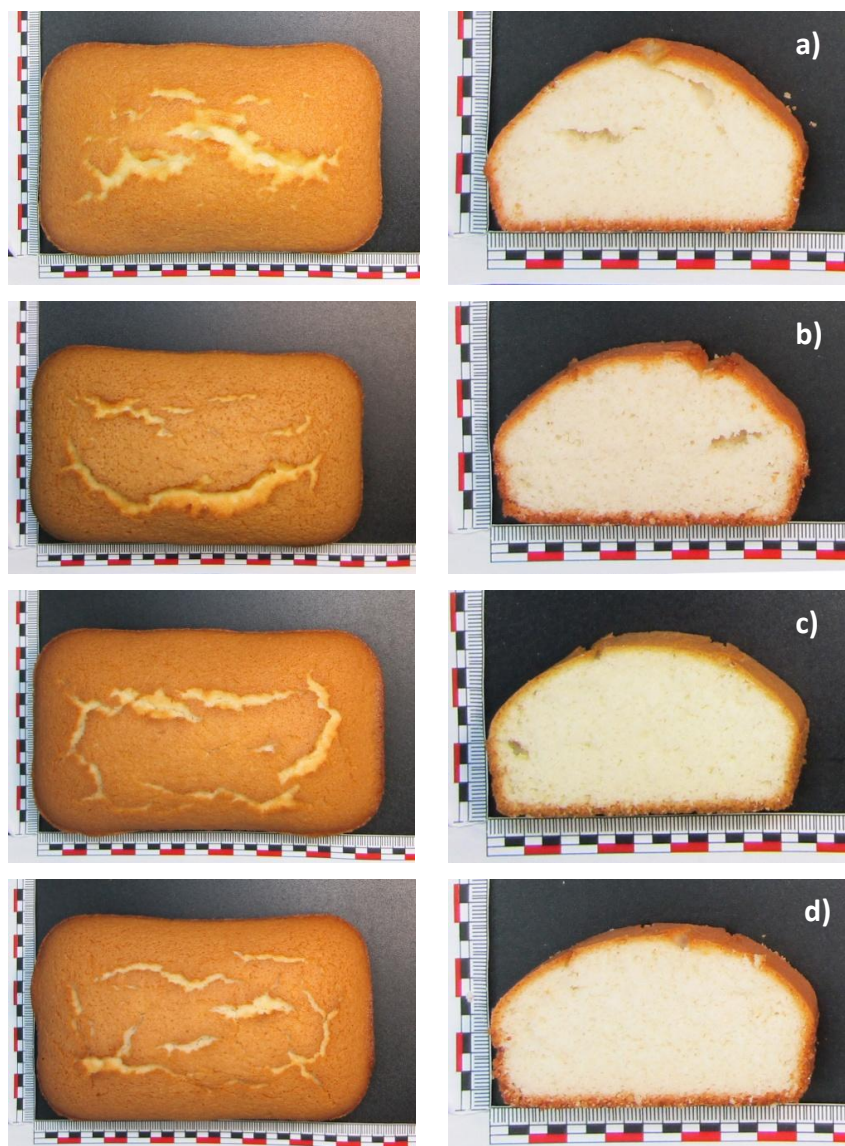
En el caso del color de la miga, se presentaron diferencias en la luminosidad entre la elaboración control y todas las elaboraciones con harinas tratadas con MW. En el caso de los parámetros h y C\*, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las elaboraciones con tratamientos térmicos a 4 y 24 minutos, ni entre el bizcocho control y el realizado con harina tratada 12 minutos en MW. A continuación se presentan imágenes de cada una de las elaboraciones que dan cuenta de estas observaciones (Figura 6).

**Tabla 7. Características texturales de bizcochos**

Tiempo tratamiento MW (min)	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (N)	Resiliencia	Simetría (cm)
0	5,53 b	0,81 b	0,43 b	1,92 b	0,172 b	0,82 b
4	3,73 a	0,77 a	0,41 a	1,17 a	0,154 a	0,25 a
12	3,80 a	0,79 ab	0,42 ab	1,25 a	0,164 ab	0,45 ab
24	3,56 a	0,81 b	0,42 ab	1,20 a	0,161 a	0,40 ab
<b>Error estándar</b>	0,19	0,01	0,01	0,07	0,00	0,16
<b>p-valor</b>	0,0000	0,0214	0,0741	0,0000	0,0022	0,0426

En cuanto a la textura de la miga del bizcocho, se evidenció que el tratamiento térmico aplicado a las harinas provocó una disminución en la dureza de los bizcochos elaborados, si bien, este descenso no fue proporcional al tiempo de tratamiento, ya que se observó una disminución en la dureza del 32,6%, 31,4% y 35,6% para tiempos de tratamiento de harina 4, 12 y 24 minutos respectivamente con respecto a la elaboración control. No se observaron diferencias significativas en la dureza de las miga de los bizcochos elaborados con harina tratada térmicamente.





**FIGURA 6.** Imágenes de los bizcochos a) vista superior y de rebanada de bizcocho control b) vista superior y de rebanada de bizcocho con harina mw-4 min; c) vista superior y de rebanada de bizcocho con harina mw-12min; e) vista superior y de rebanada de bizcocho con harina mw-24min.

Aunque estadísticamente se apreciaron diferencias entre los valores de elasticidad de unas elaboraciones con respecto a otras, no se pudo concluir que el tratamiento térmico de las harinas sea la causa de estas diferencias, ya que no se detectaron diferencias entre los valores de elasticidad para las elaboraciones de harinas tratadas

a 0, 12 y 24 minutos; la elaboración a 4 minutos de tratamiento mostró la caída máxima de elasticidad correspondiente a un 5,04% en comparación con los bizcochos control.

La cohesividad presentó un p-valor superior 0.05, no evidenciando diferencias significativas para un nivel de significación del 5% en los valores medios de cohesividad, pero los grupos homogéneos muestran diferencias entre los valores obtenidos entre el bizcocho control y el elaborado con harina tratada en MW durante 4 minutos.

Es coherente pensar que los valores de masticabilidad muestren un comportamiento similar a la dureza ya que este parámetro es dependiente de la misma. Se comprobó que el tratamiento térmico supuso un descenso en los valores de masticabilidad que resultó independiente del tiempo aplicado, mostrando diferencias significativas con respecto a la elaboración de la harina de referencia sin tratar, con un descenso máximo del 39% en el caso de la elaboración de harina tratada con MW 4 minutos con respecto a la elaboración control.

En el análisis de la capacidad de recuperación instantánea o resiliencia que presentan los bizcochos, se observan diferencias significativas entre la elaboración control con respecto a las de tiempos de tratamiento de 4 y 24 minutos. Se comprobó también que el aumento en los tiempos de tratamiento en las harinas no influye en la disminución de la resiliencia, encontrándose una bajada máxima del 10,15% de la resiliencia en la elaboración correspondiente a la harina tratada 4 minutos con respecto al control.

Era de esperar que los valores de cohesividad y resiliencia para las elaboraciones tratadas con harinas a largos tiempos de tratamiento en MW mostrasen valores ligeramente menores, en concordancia con la variación mostrada en los parámetros de empastado de las harinas correspondientes.

Se realizaron medidas de dureza tras 8 días de almacenamiento a 4°C, para evaluar el envejecimiento de las muestras, pero las muestras presentaron mucha disgregabilidad y signos de fracturabilidad en los ensayos TPA. Los valores de dureza obtenidos fueron muy dispares, mostrando descensos para las elaboraciones con harinas tratadas térmicamente y el control, lo que denota un comportamiento completamente opuesto al esperado. Es por esto que los valores obtenidos no han sido incluidos como parte de este estudio

El índice de simetría (S) consiste en un parámetro que muestra las diferencias de altura entre la zona central y las laterales del bizcocho. Un valor elevado de S indica que la parte central es más alta que las laterales, mientras que valores próximos a cero o negativos de S sugieren que la masa no ha subido durante el horneado. Se ha

empleado en este parámetro por ser un indicativo de la calidad de los bizcochos elaborados. De este modo, se mostraron diferencias significativas en los valores de simetría entre el bizcocho control y el elaborado con harina tratada durante 4 minutos, presentando un descenso máximo para este caso de un 69%; sin embargo, no se pudo establecer una relación entre el tiempo de tratamiento con MW y la tendencia de disminución de la simetría. Se comprobó que las elaboraciones con harina tratada térmicamente presentaban valores inferiores de S que el bizcocho de referencia, manifestando una subida más regular por todas las partes del bizcocho. Estos resultados, pusieron de manifiesto que la estructura de los bizcochos obtenidos a partir de la harina tratada prueba tienen la estructura suficientemente estable como para soportar su propio peso tras la cocción, mientras que la elaboración control ha presentado más copete, mostrando más altura central.

### **3.2.2 Caracterización sensorial de los bizcochos elaborados**

Con el fin de completar los resultados instrumentales de las propiedades físicas de las muestras de bizcochos elaboradas, se llevó a cabo un análisis sensorial con un grupo reducido de 4 catadores utilizando la metodología de “grupos de enfoque” (focus group) con dos fines:

a) disponer de criterios necesarios y suficientes para tomar decisiones en los estudios realizados para optimizar los métodos empleados en la elaboración de bizcochos.

En las imágenes anteriormente mostradas de los bizcochos (ver Figura 6) se muestra que los controles previos elaborados con harina acondicionada se apreciaba una mayor porosidad en la corteza y miga, llegando a presentar oquedades repartidas aleatoriamente en el interior del bizcocho. Con el fin de encontrar el origen de la aparición de grandes poros en la miga, se realizaron otras 3 elaboraciones prueba con harina acondicionada con distintos procedimientos de manipulación de la harina, que no se incluyen en el análisis estadístico, solamente se examinaron visualmente. Estas pruebas complementarias consistieron en realizar 3 elaboraciones de bizcochos a partir de harina acondicionada, con los siguientes tratamientos previos: Prueba 1, harina congelada-descongelada-picada; Prueba 2: harina sin congelar, y picada; Prueba 3: harina sin congelar y sin picar. Como resultado se observó que las elaboraciones realizadas a partir de harina sin picar, no mostraron oquedades interna, de lo que se deduce que durante la manipulación de la harina realizando una homogeneización por picado de la misma, se produce un cambio en la distribución

granulometría que da lugar a la formación de grandes poros en el interior de la miga durante el horneado de los bizcochos.

Se ajustaron los ingredientes de las formulaciones realizadas con harina acondicionada para que el contenido en materia seca de la mezcla fuese el mismo que la elaboración previa con harina al 13% de humedad, esto supuso un aumento en la cantidad de harina acondicionada (30% de humedad) utilizada en la receta con respecto a la receta inicial con harina microcer (13%), y una reducción del contenido en leche de la misma. Se intuye que al disminuir la cantidad de leche, la presencia de proteínas y lípidos en la masa batida es menor, lo que habría podido originar una peor dispersión de los ingredientes en la emulsión, quedando las moléculas de agua menos integradas en la misma, y provocando una mayor evaporación superficial en la corteza, zona del bizcocho donde se alcanzan mayores temperaturas durante el proceso de horneado del bizcocho.

b) Analizar el efecto de los tratamientos con MW sobre las propiedades sensoriales de los bizcochos. El objetivo era realizar un estudio cualitativo para establecer la descripción sensorial de los atributos más destacables de los bizcochos, como son sabor y textura de las elaboraciones realizadas.

Se concluyó que los bizcochos elaborados a partir de harinas tratadas térmicamente mostraban mejor sabor, suavizándose la intensidad de sabor del arroz por efecto de la "cocción" de la harina durante el tratamiento térmico por MW; sin embargo la miga de estas elaboraciones se mostró más disgregable y arenosa, mientras que los bizcochos realizados a partir de harina sin tratar térmicamente presentaron migas más compactas y jugosas. También se comprobó que el tratamiento térmico de las harinas acentúa la porosidad de la miga. Todas las elaboraciones realizadas a partir de harina acondicionada mostraron porosidad superficial en la corteza, independientemente si previamente fueron sometidas o no a tratamiento térmico por MW, y del tiempo de tratamiento aplicado en cada caso. En definitiva, los bizcochos elaborados a partir de harinas tratadas hidrotérmicamente en MW, resultan con mejor sabor, ingredientes más integrados en su conjunto, pero peor textura en boca, no influyendo el tiempo de tratamiento en estas diferencias.

Aunque los resultados de las medidas instrumentales de las propiedades de textura no mostraron coherencia con la mayor disgregabilidad aparente que presentaban las muestras, ya que se obtuvieron resultados similares tanto para las elaboraciones control como para las realizadas con harinas tratadas térmicamente, se comprobó visual y sensorialmente la disminución de la cohesividad de la miga en las

elaboraciones horneadas a partir de harinas tratadas térmicamente por MW con respecto al control; Un posible justificación de estos efectos es que el tratamiento térmico por MW produce cambios en la estructura interna del almidón, provocando la reestructuración en las cadenas de amilosa y disminuyendo la lixiviación de esta. Al emplear harinas tratadas por MW en la elaboración de bizcochos puede ocurrir que, durante el proceso de horneado, cuando se alcanza la temperatura de gelatinización del almidón, disminuye la cantidad de amilosa disponible en la masa durante el horneado, originando una fusión deficiente entre la amilosa y el resto de ingredientes que componen la masa. En consecuencia, al enfriarse se obtiene un bizcocho de miga más suelta y disgregable.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se ha comprobado que el tratamiento hidrotérmico por microondas como una fuente de energía en tratamientos hidrotérmicos convencionales, es una alternativa más eficiente en cuanto a una reducción del tiempo requerido, lo que supone un ahorro energético, y se consiguen las modificaciones físicas deseadas. El procedimiento empleado usando bolsas de poliamida-polipropileno termoselladas resulta efectivo en el control de la humedad de la muestra durante todo el tratamiento, controlando la posible gelatinización del almidón (humedad de la muestra durante el tratamiento <30%). Se ha observado que los tratamientos térmicos por MW no son agresivos, obteniendo harinas de calidad, sin grandes variaciones en el color final. Las mayores variaciones encontradas se observaron en las propiedades de empastado de las harinas tratadas térmicamente; los parámetros PV, VC, VF así como BD y SB, se redujeron exponencialmente con respecto al tiempo de tratamiento térmico; posiblemente debido a la reestructuración de las cadenas de amilosa durante el tratamiento, lo que conlleva una reducción en la amilosa lixiviada y un aumento en la PT.

Los bizcochos elaborados con harinas tratadas por MW resultaron con mayor volumen específico y mejor sabor que los bizcochos control, sin encontrar diferencias en el color de corteza y miga de las distintas elaboraciones.

En la medición instrumental de las propiedades texturales se observó que las elaboraciones con harinas tratadas térmicamente no presentaban diferencias de cohesividad, resiliencia y elasticidad con respecto a la elaboración control; el tratamiento térmico de las harinas produjo una reducción en la dureza de la miga que

no estaba relacionada con el tiempo de tratamiento, observándose cambios en los bizcochos elaborados solamente con harina tratada durante 4 minutos.

El tratamiento hidrotérmico de las harinas con MW permite modificar las propiedades funcionales de las harinas de tal manera que éstas puedan emplearse en la elaboración de productos para poblaciones con necesidades específicas, como los alimentos sin gluten. Asimismo, esta funcionalidad se podría hacer extensiva a las harinas procedentes de distintos cereales con el objeto de permitir su utilización en distintas aplicaciones industriales. Aparte de abordar los aspectos indicados, los estudios futuros deberán abordar la optimización del método de tratamiento MW para conseguir mayores cantidades de muestra tratada.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

A Felicidad Ronda y Pedro A. Caballero por el apoyo prestado en el desarrollo de este Trabajo fin de Máster y la elaboración de esta memoria; y muy encarecidamente a Sandra Pérez Quirce por su gran ayuda, esfuerzo y dedicación plena en el desarrollo de dicho trabajo.

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). Las bolsas utilizadas fueron suministradas gratuitamente por Cryovac.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- AACC, American Association of Cereal Chemists, (2000). Method 44–19. In: Anonymous approved methods of the AACC, (10th ed.). The Association, St. Paul, MN.
- Adebowale, K. O., Afolabi, T. A., & Olu-Owolabi, B. I. (2005). Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch. *Food Hydrocolloids*, 19, 974–983.
- Ashraf S., Ghufra S. M., Sayeed S.A., Ali R. (2012). Impact of Microwave Treatment on the Functionality of Cereals and Legumes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 365-370.
- Ashwar, B.A., Gani, A., Wani, I.A., Shah, A., Masoodi, F. A., Saxena, D.C. (2016). Production of resistant starch from rice by dual autoclaving retrogradation treatment: In-vitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*, 56, 108-117.
- Blazek, J. & Gilber, E. P. (2011). Application of small-angle X-ray and neutron scattering techniques to the characterisation of starch structure: A review. *Carbohydrate Polymers*, 85, 281-293.
- Cham, S., & Suwannanporn P. (2010). Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. *Journal of Cereal Science*, 51, 284-291.

- Chen, X., Li, X., Mao, X., Huang, H., Miao, J., Gao, W. (2016). Study on the effects of different drying methods on physicochemical properties, structure, and in- vitro digestibility of *Fritillaria thunbergii* Miq. (Zhebeimu) flours. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 266-274.
- 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., Martínez, M., Oliete, B., Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. *Food Bioprocess Technology*, 6, 2280-2288.
- Demir, M.K., & Elgün, A. (2014). Comparasion of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutritional properties of whole wheat bread. *Journal of Scientists and Technologists*, 51, 59-66.
- Dhen, N., Román, L., Reje, I. B., Martínez, M., Garogouri, M., Gómez, M. (2016). Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. *LWT- Food Science and Technology*, 66, 179-185.
- Dransfield, E., Morrot, G., Martin, J.-F., Ngapo, T.M.(2004). The application of a text clustering statistical analysis to aid the interpretation of focus group interviews. *Food Quality and Preference*, 15, 477-488.
- Ertas, N. (2015). Effect of wheat bran stabilization methods on nutritional and physico-mechanical characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, 38, 184-191.
- Garcia-Viguera, C., Zafrilla, P., 2001. Changes in anthocyanins during food processing: influence on colour. In: Ames, J.M., Hofmann, T.F. (Eds.), *Chemistry and Physiology of Selected Food Colourants*. American Chemical Society, New York, pp. 56e65.
- Hettiarachchy, N.S., Ju, A.Y., Siebenmorgen, T., Sharp, R. N. (2000). Rice: production, processing, and utilization. *Handbook of Cereal Science and Technology*. Second Edition.
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrates Polymers*, 45, 253-267.
- Hoover, R. (2010). The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical Reviews in Food Science an Nutricion*, 50, 835-847.
- Horndok, R., & Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT–Food Science and Technology*, 40, 1723–1731.
- Irfan, I., Pawelzik, E., Luecke, W. (1998). Preceeding of the 7<sup>th</sup> International Working Conference on Stored Product Protection.
- Jiang, Q., Xu X., Jin, Z. , Tian, Y. , Hu, X., Bai, Y. (2011). Physico-chemical properties of rice starch gels: Effect of different heat treatments. *Journal of Food Engineering*, 107, 353-357.
- Kim, J-M. & Shin, M. (2014). Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT- Food Science and Technology*, 59, 526-532.



- Klein, B., Pinto, V.Z., Vanier, N. L., Zavareze, E. R., Colussi, R., Evangelho, J.A., Gutkoski, L.C., Guerra A.R. (2013). Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1578-1584.
- Lewandowicz, G., Fornal, J., & Walkowski, A. (1997). Effect of microwave radiation on 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.
- Lim, S. T., Lee, J. H., Shin, D. H., & Lim, H. S. (1999). Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch/Stärke*, 51, 120–125.
- Liu, H., Gou, X., Li, W., Wang, X., Lv, M., Peng, Q., Wang M. (2015). Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat starch by heat-moisture treatment and annealing. *Carbohydrate Polymers*, 132, 237-244.
- Lorlowhakarn, K., & Naivikul, O. (2006). Modification of rice flour by heat moisture-treatment (HMT) to produce rice noodles. *Kasetsart Journal of Natural Sciences*, 40, 135–143.
- 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.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Consultado el 27 de junio de 2016. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/>.
- 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.
- Mustalahti, K., Catassi, C., Reunanen, A., Fabiani, E., Heier, M., McMillan, S., y col. (2010). The prevalence of celiac disease in Europe: results of a centralized international mass screening project. *Annals of Medicine*, 42(8), 587–595.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Consultado el 27 de junio de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>.
- 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.
- Román, L., Martínez, M., Rosell, C., Gómez, M. (2015). Effect of Microwave Treatment on Physico-chemical Properties of Maize Flour. *Food Bioprocess Technology*, 8, 1330-1335.

- Ronda, F., Gómez, M., Caballero, P.A., Oliete, B., Blanco, C.A. (2009). Improvement of quality of gluten-free layer cakes. *Food Science and Technology*, 15, 193-202.
- Ronda, F., Abebe, W., Pérez-Quirce, S., Collar, C. (2015). Suitability of tef varieties in mixed wheat flour bread matrices: A physico-chemical and nutritional approach. *Journal of Cereal Science*, 64, 139-146.
- Ronda, F., Pérez-Quirce, S., Lazaridou, A., Biliaderis, C.G. (2015). Effect of barley and oat  $\beta$ -glucan concentrates on gluten-free rice-based doughs and bread characteristics. *Food Hydrocolloids*, 48, 197-207.
- Rosell, C. M., Barro, F., Sousa, C., & Mena, M. C. (2014). Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. *Journal of Cereal Science*, 59, 354–364.
- 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.
- Sumnu, G. (2001). A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 117–127.
- Sun, Q., Xu, Y., Xiong, L. (2014). Effect if microwave-assisted dry heating with wanthan on normal and waxy corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 68, 86-91.
- 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.
- Varatharajan, V., Hoover, R., Liu, Q., & Seetharaman, K. (2010). The impact of heat–moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of normal and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 81, 466–475.
- Wani I. A., Gani A., Tariq A., Sharma P., Masoodi F.A. (2016). Effect of roasting on physicochemical, functional and antioxidant properties of arrowhead (*Sagittaria sagittifolia L.*) flour. *Food Chemistry*, 197,345-352.
- Xie L., Chen N., Duan B., Zhu Z., Liao X. (2008). Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *Journal of Cereal Science*, 47, 372-379.
- Zavareze, E.R., Guerra, A.R. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 317-328.
- Zhu, L.J., Liu, Q .Q., Sang, Y., Gu, M-H., Shi, Y.-C. (2010). Underlying reason for waxy rice flours having different pasting properties. *Food Chemistry*, 120, 94-100.



