



MODIFICACIÓN DE LA MOLIENDA DE ARROZ: EFECTOS EN LA CALIDAD DE HARINAS Y EN SU ADECUACIÓN A PROCESOS DE PANIFICACIÓN.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2016/17

Alumno: Marco Pecoroni Herguedas
Tutores: Manuel Gómez Pallarés y Laura Román Rivas

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

Resumen

En los últimos años ha habido un aumento en la producción de harinas de arroz debido a la creciente demanda de productos libres de gluten. Se sabe que el acondicionamiento del trigo tiene un efecto importante en la calidad final de las harinas obtenidas, por ello se ha querido extrapolar dicho proceso a la molienda seca de arroz. Además de las condiciones establecidas durante la molienda, la variedad influye en la calidad final. Por ello, el objetivo de este estudio ha sido evaluar el efecto del acondicionamiento previo, analizando dos niveles de humedad en granos de arroz de grano largo (Basmati y Thai), grano corto (Sushi y Bomba) y Glutinoso en la molturación del arroz. A las harinas resultantes se les evaluaron propiedades de hidratación, propiedades de viscosidad a diferentes humedades, contenido de amilosa, almidón dañado y tamaño de partícula. Posteriormente estas harinas se emplearon en la elaboración de pan, al cual se le midió volumen específico, textura y color. La molienda con alta hidratación generó harinas con claras diferencias en tamaño de partícula y almidón dañado, sin embargo, tuvo una influencia menos acusada en las propiedades de hidratación de dichas harinas. En cuanto a las propiedades viscosas, el acondicionamiento originó mínimas diferencias. La incorporación de las harinas previamente acondicionadas no afectó especialmente en la elaboración de los panes, aunque la variedad Thai experimentó mayor gomosidad y dureza con el acondicionamiento. También se observaron diferentes características en los panes en cuanto a variedades.

Abstract

The production of rice flour has experienced a remarkable increase in the last years due to the growing demand for gluten-free products. It is known that the tempering of wheat has a significant effect on the final quality of the flours obtained, therefore this process wanted to be extrapolated to dry rice milling. In addition to the conditions established during grinding, the variety employed influence the final quality. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the tempering, analyzing two levels of moisture in long rice grains (Basmati and Thai), short grain (Sushi and Bomb) and Glutinous in rice milling. The resulting flours were evaluated for hydration properties, viscosity properties, amylase content, damaged starch and particle size at two different moistures. Subsequently these flours were used in the production of bread and the specific volume, texture and color of the breads were analyzed. Milling with higher hydration led to flours with clear differences in particle size and damaged starch; however, it had a less pronounced influence on the hydration properties of these flours. As for the viscous properties of these flours, the tempering caused minimal differences. The incorporation of the previously conditioned flours did not affect especially the properties of the breads, although the Thai variety experienced an increase of gumminess and hardness with tempering. Different results were also observed in breads in terms of varieties.

1. Introducción

En los últimos años la demanda de productos libres de gluten se ha visto incrementada a nivel mundial. El aumento en el consumo de este tipo de productos se debe a la incidencia cada vez mayor de alergias e intolerancias hacia el gluten, o simplemente por la creencia de que una dieta sin gluten es más sana. En respuesta a esta gran demanda la industria alimentaria se ha visto obligada no solo a desarrollar nuevos productos libres de gluten sino a mejorar los ya existentes.

Estudios epidemiológicos recientes confirman que 1 de cada 100 personas en el mundo padece celiacía. Esta tasa tan elevada la convierte en una de las intolerancias alimentarias más difundidas (Gujral et al. 2012). Se trata de una enfermedad autoinmune, provocada por la intolerancia al gluten, el cual está compuesto por proteínas presentes en algunos cereales, tales como gliadinas y gluteninas en el trigo, hordeínas en cebada y secalinas en centeno. Cuando las personas celíacas ingieren estas proteínas, su sistema inmune reacciona causando una inflamación de las vellosidades que recubren el intestino delgado, lo que interfiere con la absorción de nutrientes. Así, hasta ahora, el único tratamiento eficaz es una dieta estricta libre de gluten (Catassi y Fasano., 2008).

Respecto a las harinas sin gluten, el arroz se posiciona como la materia prima más utilizada en la elaboración de productos libres de gluten a base de cereales tanto para fines científicos como industriales (Demirkesen et al. 2010; Park et al. 2012). Lo cual se debe a que el arroz posee ventajas sensoriales (sabor suave y neutro) y nutricionales, tales como bajos niveles de sodio y alta digestibilidad del almidón (Torbica et al. 2010 ; Marco y Rossell, 2008).

El proceso para llevar a cabo la transformación del grano de arroz en harina se denomina molienda, la cual puede ser de tres tipos en función de la cantidad de agua utilizada; molienda seca, húmeda y semiseca (Chiang y Yeh, 2002). En la molienda húmeda, se emplean grandes cantidades de agua con el fin de realizar un remojo del grano de arroz previo a la molturación. Con este tipo de molienda se logra obtener una harina con bajo contenido en almidón dañado. Sin embargo, el rendimiento para la obtención de harina por este método es bajo y el tratamiento de las aguas residuales y las grandes cantidades de agua empleadas hacen que sus costes sean elevados (Yeh

et al. 2004). Por el contrario, la molienda seca es un proceso respetuoso con el medio ambiente ya que no utiliza agua, consume menos energía y no genera aguas residuales (Ngamnikom y Songsermpong, 2011). Por último, la molienda semiseca tiene unas características intermedias a las dos anteriores. A su vez, el tipo de molino para llevar a cabo la molienda puede ser de varios tipos: molinos de martillo, con rodillo de desgaste, de piedra, de bolas y de alfiler (Asmeda et al. 2016). En este estudio se utilizó un molino de martillo.

El principal componente presente en el grano de los cereales, y por ende en el arroz, es el almidón. Este sufre una serie de cambios en su estructura durante la molienda que alteran sus propiedades. En estudios llevados a cabo por Nowakowski et al. (1986) y Tran, et al. (2011) se determinó que el contenido en almidón dañado y el tamaño de partícula de las harinas dependen directamente tanto de la fuerza mecánica aplicada como del tiempo de molturación de los granos. Hasjim et al. (2012) estudiaron el efecto que tiene el método de molienda sobre el daño causado en el almidón y sus consecuencias en la solubilidad y el hinchamiento de los gránulos de almidón. De este modo vieron que la molturación seca con molino de martillos generaba harinas con un alto porcentaje de almidón dañado, lo cual se vio traducido en una mayor solubilidad del almidón en agua fría y caliente, estando también relacionado débilmente con el tamaño de partícula. Anteriormente, Berton et al. (2002) ya habían observado que el contenido de almidón dañado presente en la harina es el factor principal del aumento de la capacidad de absorción de agua de esta. Si bien es cierto, que otro factor importante de calidad y que a su vez está determinado por la molturación, es el tamaño de partícula de las harinas resultantes. Así, Nishita y Bean, (1982) determinaron que las harinas más finas eran las que mayor capacidad de absorción de agua poseían, ya que presentaban un mayor área de superficie por unidad de volumen en contacto con el agua. Sin embargo, cabe señalar que un exceso de degradación de las moléculas de almidón incrementa la solubilidad en agua y por lo tanto la capacidad de atrapar agua de las moléculas se ve reducida (Song et al. 2014).

Además del molino empleado (Ngamnikom y Songsermpong, 2011; Tran et al. 2011), y del tipo de molturación (Chiang y Yeh, 2002), existen otros factores que condicionan las características tecnológicas presentes en la harina de arroz. De este modo, la variedad del arroz de partida (Zhu et al. 2010; Yu et al. 2012) o tratamientos previos a

la molturación (Lin et al., 2011) tienen influencia directa en las propiedades fisicoquímicas de la harina.

El acondicionado o “tempering”, es un proceso que consiste en la adición de agua al grano, especialmente utilizado en el trigo o maíz, previamente a su molturación con el fin de endurecer el salvado, suavizar el endospermo del grano, mejorando de este modo la eficiencia del proceso de extracción de la harina (Kalkan et al. 2014). Sin embargo, este proceso no es común en el molturado de arroz (Stenvert y Kingswood, 1976; Song et al. 1998; Kang y Delwiche, 2000). Son muchas las investigaciones que se han llevado a cabo para estudiar distintos parámetros relacionados con el acondicionado de trigo ya que este tiene una influencia clara en las propiedades tecnológicas de las harinas obtenidas (Fang y Campbell, 2003; Ghodke et al. 2009; Kweon et al. 2009a; Warechowska et al. 2016). Kweon et al. (2009a) evaluaron el efecto de la humedad inicial del grano y de las condiciones de humedad, temperatura y tiempo de acondicionado en la obtención de harina de trigo. En este estudio encontraron que las muestras con un mayor porcentaje de humedad ofrecían un mayor rendimiento en la obtención de harina y daban lugar a harinas de mejor calidad, ya que estas presentaban un bajo porcentaje de cenizas y una baja actividad de polifenol oxidasa. Además, también observaron que el incremento en el contenido en humedad se veía reflejado en la reducción de la cantidad de almidón dañado presente en la harina. Por su parte, Warechowska et al. (2016) estudiaron el efecto de la humedad de acondicionado en el tamaño de partícula de las harinas. En dicho estudio se vio que efectivamente que a mayor humedad en los granos, mayor era el tamaño de partícula de las harinas. Sin embargo, a pesar de haberse demostrado que el acondicionado influye directamente en las propiedades tecnológicas de las harinas de trigo, no se han llevado a cabo estudios del efecto que tiene el acondicionado en la molienda seca del arroz.

A día de hoy el reto tecnológico se posiciona en la creación y mejora de productos libres de gluten con unas buenas características organolépticas, ya que el gluten tiene un papel tecnológico fundamental en los productos elaborados a base de cereales (Gallagher et al. 2004). Concretamente en el pan, el gluten (proteína del trigo), es necesario para la obtención de una masa cohesiva, extensible y elástica haciendo

posible la retención del dióxido de carbono producido durante la fermentación. Debido a la ausencia de gluten, la masa de panes sin gluten tienen como característica una baja propiedad elástica y una débil resistencia al estiramiento (Cham y Suwannaporn, 2010), lo que dificulta la formación de una estructura de la masa cohesiva y viscoelástica. Con el fin de imitar la red de gluten y mejorar la reología de la masa sin gluten se ha probado a adicionar hidrocoloides, enzimas, emulsificantes e incluso masa madre a las formulaciones de este tipo de panes (Demirkesen et al. 2014; Rosell et al. 2011), obteniéndose en algunos casos resultados claramente satisfactorios. De modo que se ha visto que la adición de hidrocoloides aumenta la viscosidad de la masa y permiten la retención del gas producido durante la elaboración, además de actuar como aglutinadores y ayudar a prevenir que el producto pierda volumen y alargando su vida útil (Zhou et al. 2002).

Por otro lado, se sabe que las propiedades fisicoquímicas de las harinas empleadas en la elaboración de pan tienen una influencia directa en la calidad final de este. Las harinas más comúnmente utilizadas son las harinas de maíz y arroz. Así, se han relacionado parámetros tales como el almidón dañado, el contenido en amilosa, el tamaño de partícula o las propiedades viscosas de las harinas con las características texturales y de volumen presentes en los panes (de la Hera et al. 2013; Perez y Juliano, 1988). En sus estudios acerca de la influencia del contenido en agua y el tamaño de partícula en la calidad final del pan sin gluten, de la Hera et al. (2014), obtuvieron panes con un mayor volumen específico y una buena textura en la miga empleando fracciones de mayor tamaño de partícula junto con altas hidrataciones en la masa. A su vez, Yano et al. (2017), encontraron una correlación lineal directamente proporcional entre el volumen específico y el almidón dañado. Esta correlación se observó en panes elaborados con harina de arroz, ya que cuando se usó como ingrediente una harina con bajo contenido en almidón dañado (<5 g/100g), el volumen del pan era comparable con un pan de trigo.

Anteriormente, Nishita y Bean, (1982) ya habían observado que las harinas más gruesas, que tenían una cantidad menor de almidón dañado, funcionaban mejor en panes 100 % de harina de arroz, mientras que las harinas finas, con mayor cantidad de almidón dañado, se comportaban mejor en panes que contenían un 30 % de arroz.

Asimismo otras investigaciones, Bean et al. (1983) y Song et al. (2007), obtuvieron una mejora notable en la textura del pan de arroz cuando se reemplazó la harina de arroz molida en seco por aquella molida en húmedo, ya que el contenido en almidón dañado y el tamaño de partícula eran mucho menores para esta última.

Por ello el objetivo de este estudio ha sido evaluar el efecto del preacondicionado de los granos de arroz en el proceso de molienda de granos largos (Glutinoso, Thai y Basmati) y de granos cortos (Bomba y sushi), así como la influencia de estas harinas en la elaboración de panes sin gluten. Para ello, los arroces fueron acondicionados a dos niveles de hidratación, uno al 17 % de humedad en grano y otro al 14,5 %, previamente a la molienda. A las harinas obtenidas se les evaluaron las propiedades de hidratación, las características de viscosidad a diferentes temperaturas, el tamaño de partícula, el contenido en amilosa y el almidón dañado. Con dichas harinas se elaboraron panes sin gluten, a los cuales se les evaluó el volumen específico y la pérdida de peso durante el horneado. Además, se estudiaron la textura de la miga y las propiedades de color de la corteza y de la miga.

2. Materiales y métodos

2.1 MATERIALES

En este estudio se utilizaron 5 variedades de arroz en grano disponibles en el mercado. Se emplearon tres variedades de grano largo (Thai, Basmati y Glutinoso), dos de grano corto (Sushi, Bomba), los cuales también diferían en su contenido en amilosa. Todos los arroces pertenecieron a la marca Atlantic Meals S.A (Coruche, Portugal) a excepción del arroz Glutinoso que pertenece a la marca Tai Mao Foods S.L (Madrid, España).

Para la elaboración de los panes se utilizó levadura European (Dosu Maya Mayacilik A.Ş, Turquía), Sal Refinada 100% (Disal, Unión Salinera de España S.A, Madrid), agua procedente de la red local, azúcar blanco (Azucarera ,Madrid ,España), aceite de girasol refinado (Abrilsol (Ourense , España) e hidroxipropilmetilcelulosa Methocel K4M VIVAPUR (Rosenberg , Alemania).

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Acondicionado y molturación de arroces

Para llevar a cabo el acondicionamiento de los granos de arroz se establecieron dos niveles de humedad en el grano (baja y alta). El nivel de humedad baja se estableció en 14,5%, ya que las humedades de partida de los granos eran muy heterogéneas, y la humedad alta en un 17%, con el fin de que las harinas finales obtenidas no sobrepasaran el límite legal de 15% establecido para la harina. El acondicionamiento de los arroces se llevó a cabo mezclando la cantidad de agua correspondiente en cada caso con 500 g de arroz durante 1 hora, para ello se empleó un homogeneizador (Chopin, Francia), posteriormente las muestras se guardaron en bolsas de polietileno herméticas y se mantuvieron a 25°C durante 24 horas para asegurar que la distribución de la humedad en los granos fuese homogénea.

Posteriormente se llevó a cabo la molienda de los arroces. Para ello se empleó un molino de martillos (Pertin Instruments, Estocolmo, Suecia). Las harinas obtenidas se depositaron en recipientes de plástico herméticamente cerrados con el fin de evitar el cambio de humedad en las muestras. Durante todo el estudio se llevó a cabo el control de la humedad de las harinas empleando el método oficial (ISO 712:1998).

2.2.3 Caracterización de las harinas

- **Evaluación del tamaño de partícula**

La granulometría de las harinas se analizó con el equipo Mastersizer 3000 provisto del accesorio Hydro EV (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Reino Unido). Los resultados obtenidos fueron diámetros de esferas equivalentes expresados en volumen. Posteriormente el criterio seleccionado para trabajar con los resultados fue el d (4:3) expresado en micras (μm). El análisis se realizó por duplicado en cada una de las harinas.

- **Contenido de almidón dañado**

El contenido en almidón dañado se determinó siguiendo el método AACC 76-31.01 (AACC, 2012). Para ello se empleó el kit K-SDAM 10/15 *Megazyme* para almidón

dañado (Megazyme International Ireland Ltd., Co., Wicklow, Irlanda). Los resultados de almidón dañado se calcularon como porcentaje de harina pesado en base seca. Se realizaron dos replicas por cada muestra de harina.

- **Evaluación del contenido de amilosa-amilopectina**

Para la evaluación del almidón en las muestras de harina se empleó el kit K-amy1 09/14 *Megazyme* para amilosa-amilopectina (Megazyme International Ireland Ltd., Co., Wicklow, Irlanda). La absorbancia se leyó a 510 nm con un espectrofotómetro modelo Spectronic 20 Genesys™ (Spectronic Instruments, Reino Unido). La evaluación se determinó como porcentaje en base seca del peso de harina. Se realizaron 2 réplicas para cada muestra de harina.

- **Comportamiento viscoso de las harinas**

Para llevar a cabo este análisis se llevó a cabo un ciclo de calentamiento-enfriamiento de acuerdo con el método 61.02.01 (AACC, 2012) y empleando para ello un analizador de viscosidad rápida (RVA) (Newport Scientific, Warriewood, Australia). Este método consiste en someter a una mezcla de 3,5 gr de harina en 25 gr de agua destilada a un calentamiento desde 50°C hasta 95°C, a esta temperatura se mantiene un cierto tiempo para enfriar posteriormente hasta los 50°C. Los resultados de viscosidad de la mezcla fueron registrados al finalizar el ensayo para cada una de las harinas. Todas las medidas se realizaron por duplicado.

- **Propiedades de hidratación**

Las propiedades de hidratación incluyen, la capacidad de retención de agua sin estrés mecánico (WHC, *water holding capacity*), el poder de hinchamiento (SV, *swelling volume*) y la capacidad de retención de agua bajo estrés mecánico (WBC, *water binding capacity*).

El WHC es definido como la cantidad de agua retenida por una muestra sin ser sometida a estrés mecánico (Nelson, 2001). Se llevó a cabo mezclando harina ($5 \pm 0,1$ g) con 100 ml de agua destilada y tras la hidratación de la muestra durante 16 horas a temperatura ambiente, el sobrenadante se decantó cuidadosamente. WHC y SV se calcularon empleando las siguientes ecuaciones:

$$\text{WHC} = \frac{\text{peso sedimento sin supernadante} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}}$$

$$\text{SV (ml/g)} = \frac{\text{volumen despues de la hidratación}}{\text{peso de la muestra seca}}$$

El WBC se define como la cantidad de agua retenida por una muestra bajo una lenta velocidad de centrifugación. Se determinó siguiendo el método 56.30 (AACC, 2012). Para su determinación las muestras de harina ($5 \pm 0,1$ g) se dispersaron en agua destilada (25 ml) y se centrifugaron a 2000 rpm durante 10 minutos. Su cálculo se realizó del siguiente modo:

$$\text{WBC (g/g)} = \frac{\text{peso muestra despues de centrifugación} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso de la muestra seca}}$$

En todos los casos se realizaron 2 réplicas para cada harina.

- **Propiedades de hidratación del gel**

El índice de absorción de agua (WAI, *wáter absorption index*), el índice de solubilidad de agua (WSI, *wáter solubility index*) y el poder de hinchamiento o *Swelling Power* (SP) de harinas de arroz fue determinado modificando ligeramente el método de inicial de Toyokawa et al. (1989). En primer lugar se dispersó la harina ($1,25 \pm 0,01$ g) en agua destilada ($25 \pm 0,5$ g) en un tubo Falcon, se vorteoó y se calentó a 90°C en un baño durante 10 minutos. Posteriormente se enfrió en un baño con hielo durante 10 minutos y después se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos. A continuación el sobrenadante se decantó en un plato de evaporación, y el sedimento restante se pesó. El peso de sólidos secos se recuperó por evaporación del sobrenadante durante toda una noche a 105°C . WAI, WSI y SP fueron calculados mediante las siguientes ecuaciones.

$$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{peso del sedimento}}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{WSI (g/100g)} = \frac{\text{peso del solidos disueltos en sobrenadante}}{\text{peso de la muestra}}$$

$$SP \text{ (g/g)} = \frac{\text{peso residuo}}{\text{peso de la muestra} - \text{peso del sólidos disueltos en sobrenadante}}$$

2.2.4 Elaboración de los panes

Los ingredientes utilizados para la preparación de la masa fueron los siguientes: (medidos en g/100g en base harina): sal (1.8 g), aceite refinado de girasol (6 g), HPMC (2 g), azúcar (5 g), levadura (3 g) y agua (90 g a una temperatura de 20 a 22°C). La cantidad de agua a añadir en cada muestra, se corrigió en función de los valores de humedad obtenidos en cada uno de los tipos de harinas. Se pesaron y mezclaron los ingredientes sólidos en el contenedor de la mezcladora, excepto la levadura que se disolvió aparte con el agua. Para la preparación de las masas se utilizó una mezcladora Kitchen-Aid Heavy Duty (KitchenAid, St. Joseph, Michigan, EE.UU) con un gancho de la pasta (K45DH). Primero se mezclaron los ingredientes, excepto la levadura y el agua, a velocidad 1 durante 1 minuto, luego se hidrató la levadura con el agua y se mezclaron con el resto de ingredientes a velocidad 2 durante 8 minutos. La masa de pan se dividió en 5 porciones de 150 g y se colocaron en moldes de aluminio de 159 mm de largo, 119 mm de ancho y 35 de altura. La fermentación de las masas se realizó a 30°C y 90% de HR en una cámara fermentadora FC-K (Salva, Lezo, España), durante 90 minutos. Tras la fermentación los panes se hornearon en un horno eléctrico modular (Salva, Lezo, España) durante 30 minutos a 190°C. Las piezas se desmoldaron tras un reposo de 15 minutos, se dejaron enfriar durante 60 minutos y posteriormente se envasaron en bolsas de polietileno selladas para prevenir la deshidratación. Los panes se almacenaron durante 24 horas en una cámara a temperatura de 20 °C, para su posterior análisis. Todas las elaboraciones se realizaron por duplicado. Las medidas morfogeométricas, el TPA, las medidas de color y el análisis de imagen de la rebanada se realizaron a las 24 horas.

2.2.4 Evaluación de los panes

- **Propiedades morfogeométricas**

Los panes se pesaron 24 horas después de la elaboración en la misma balanza en la que se pesaron inicialmente. La pérdida de peso se calculó con la siguiente fórmula:

Pérdida de peso = peso de masa en molde – peso pan 24 h después de horneado

El volumen del pan fue determinado utilizando el analizador de volumen, Volscan Profiler 300 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), los datos se obtuvieron con un programa informático. La medida del volumen y el peso se realizaron por duplicado.

- **Propiedades texturales**

La textura de la miga fue analizada con el equipo Texture Analyser TA-XT2 modelo Plus-Upgrade (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) provisto del software *Exponent Lite*. Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro y área de contacto de 490,87 mm² en un ensayo de doble compresión, TPA (Texture Profile Analysis) para penetrar 3 mm, con un retardo de 30 s entre la primera y segunda compresión. A partir del gráfico TPA se calcularon los parámetros de dureza, cohesividad, gomosidad, elasticidad y resiliencia. Los análisis se realizaron en la parte central de la rebanada de 30 mm de espesor. Se evaluaron aproximadamente 6 rebanadas procedentes de cada elaboración.

- **Parámetros cromáticos**

Para la determinación del color de la corteza y de la miga de los panes se empleó un espectrofotómetro Minolta CM-508i (Minolta, Co. LTD, Japón). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y el observador estándar 2°, y se expresaron en el espacio color CIE L*a*b. Cada medida en todos los casos estaba integrada por una conjunción de 5 datos proporcionados por el equipo. El color de la corteza fue medido en 2 puntos diferentes de 2 panes de cada elaboración (2x2). En el análisis del color de la miga, se realizaron dos mediciones en la parte central cada rebanada, tomando dos rebanadas de cada tipo de pan (2x2). Todos los ensayos se realizaron por duplicado.

- **Aspecto visual**

Para la recogida de imágenes de los panes, se empleó una cámara fotográfica digital modelo SX410IS powershot (Cannon, China) sobre una superficie con un fondo negro que contiene una escala milimetrada en la parte inferior y en un lateral permitiendo conocer las medidas de las muestras a estudiar. Las imágenes se realizaron a la parte

superior de las muestras y su parte lateral. También se tomaron imágenes de una de las rebanadas centrales de forma frontal.

2.2.5 Análisis estadístico

Todos los datos fueron presentados como valores medios y analizados por un análisis de la varianza paramétrico unidireccional (ANOVA) utilizando el test LSD de Fisher ($p < 0,05$). Antes de realizar el ANOVA de los datos se verificó la normalidad de los mismos mediante el test de bondad de ajuste específico de la normalidad Shapiro-Wilks. Además, se han realizado correlaciones de Pearson entre todas las variables estudiadas a través de un análisis multivariado para observar la existencia de posibles relaciones lineales entre ellas. Para ello se utilizó Statgraphics Centurion XVII (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA).

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de las harinas

En la tabla 1, se muestran los resultados de amilosa, tamaño de partícula y almidón dañado de las harinas. El acondicionado afectó de forma heterogénea a los distintos tipos de arroz en cuanto al contenido en amilosa. En Basmati y Sushi, el acondicionado generó un incremento en amilosa, se redujo en Bomba, mientras que en Glutinoso y Thai no se apreciaron diferencias significativas. En general, los arroces cortos presentaron un contenido mayor en amilosa que los largos, destacando en estos últimos el bajo contenido para la variedad Thai.

En general, el acondicionado generó harinas con un menor tamaño de partícula, con excepción del arroz Glutinoso donde no se vieron diferencias significativas. Entre los diferentes tipos de arroz, las harinas más finas se obtuvieron con Thai y las gruesas con Sushi y Basmati. Estos resultados pueden justificarse por el cambio que se origina en la dureza del grano durante el acondicionado. Tal y como referencian varios autores, un mayor contenido en humedad de los granos se refleja en una reducción de la dureza del grano facilitando la molienda (Kweon et al. 2009a). Estudios acerca del efecto que tiene el acondicionado en la molturación de trigo de grano entero reflejaron un mayor tamaño de partícula al incrementar la humedad contenida en el grano. Lo cual puede ser atribuido a que la presencia del salvado incrementa la granulometría de

estas harinas ya que por debajo de las 600 μm el tamaño de partícula disminuyó al aumentar la humedad de acondicionado (Doblado-Maldonado et al., 2013).

En cuanto al almidón dañado, el acondicionado redujo los niveles de este a excepción de las variedades Thai y Glutinoso en las que se vieron incrementados. Cabe destacar el arroz Basmati por su bajo nivel de almidón dañado. Estos resultados se corresponden con los obtenidos previamente por Kweon et al. (2009); en este caso, el acondicionado de trigo con humedades del 12% mostraron una mayor fractura de los gránulos de almidón. Por lo tanto, se puede relacionar la presencia de agua como un efecto protector hacia los gránulos de almidón minimizando sus daños durante el molturado (Kumar et al. 2008) ya que las moléculas de agua actuarían como plastificante aumentando la elasticidad de los gránulos de almidón y minimizando el daño a la estructura (Singh et al. 1997). Por su parte, Tong et al. (2016) en su estudio sobre la molienda semiseca de arroz Glutinoso, obtuvieron que en general un incremento de la humedad en el acondicionado generó harinas con menor porcentaje de almidón dañado, sin embargo, cabe destacar que con humedades entre el 15% y 20% la tendencia cambió resultando en un incremento del contenido de almidón dañado.

Tabla 1: Contenido en amilosa, tamaño de partícula y almidón dañado de las harinas obtenidas con dos niveles de hidratación

Muestra	AM (g/100g)	Tamaño de partícula (μm)	almidón dañado (g/100g)
Sushi Baja	9,70 \pm 0,14c	214,00 \pm 1,41f	7,99 \pm 0,00f
Sushi Alta	11,35 \pm 0,07e	185,50 \pm 10,60cd	6,08 \pm 0,01bc
Bomba Baja	12,5 \pm 0,14g	196,50 \pm 10,61de	7,15 \pm 0,06e
Bomba Alta	12,05 \pm 0,21f	164,50 \pm 7,78b	6,07 \pm 0,00bc
Glutinoso Baja	2,60 \pm 0,14a	182,50 \pm 6,36cd	6,61 \pm 0,00d
Glutinoso Alta	2,25 \pm 0,07a	196,50 \pm 2,12de	7,92 \pm 0,43f
Thai Baja	5,80 \pm 0,14b	178,50 \pm 9,19bc	6,37 \pm 0,09cd
Thai Alta	5,55 \pm 0,21b	147,00 \pm 7,07a	7,98 \pm 0,08f
Basmati Baja	9,40 \pm 0,28c	204,50 \pm 7,78ef	5,83 \pm 0,16b
Basmati Alta	10,25 \pm 0,21d	185,00 \pm 1,41cd	5,08 \pm 0,06a

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05). -AM= contenido en amilosa

3.2 Parámetros de hidratación

En cuanto a las propiedades de hidratación (Tabla 2), el acondicionado no afectó significativamente, a excepción de la variedad Thai; donde se vio un incremento en todas ellas. Estas diferencias pueden estar causadas por el menor tamaño de partícula y por el menor nivel de almidón dañado ya que estos dos parámetros están relacionados con la capacidad de absorción de agua en las harinas (Berton et al. 2002). Hatcher et al. (2009) atribuyeron al almidón dañado la capacidad de absorber 4 veces más la cantidad de agua que el almidón intacto. A su vez, también destacaron la mayor tendencia a la hidratación de harinas con un tamaño de partícula por debajo de los 180 μm , lo cual coincide con los resultados obtenidos para la variedad Thai en nuestro estudio. Las harinas con menores granulometrías presentan una mayor superficie de exposición al agua, y por lo tanto presentan una mayor capacidad de hidratación (Nishita y Bean, 1982). También hay que destacar que se ha observado una correlación significativa al 95% entre los valores de WBC y los de almidón dañado. En el resto de arroces estos efectos parecen compensarse y por ello no se aprecian diferencias significativas. En general, como se observa en la Tabla 2, los valores de las propiedades de hidratación son bastante similares para los diferentes tipos de arroz.

Tabla 2: Propiedades de hidratación de harinas de arroz con distinto nivel de hidratación

Muestra	WHC (g/g)	SV (ml/g)	WBC (g/g)
Sushi Baja	2,12±0,08e	2,58±0,16abc	2,32±0,13cd
Sushi Alta	1,99±0,01cde	2,68±0,08bc	2,27±0,03abc
Bomba Baja	1,96±0,12bcde	2,40±0,08a	2,28±0,03bcd
Bomba Alta	1,85±0,07abcd	2,4±0,00a	2,31±0,02bcd
Glutinoso Baja	1,71±0,01a	2,46±0,00ab	2,20±0,03ab
Glutinoso Alta	1,85±0,06abcd	2,50±0,01ab	2,28±0,00bcd
Thai Baja	1,75±0,05ab	2,55±0abc	2,26±0,05abc
Thai Alta	2,05±0,04de	2,77±0c	2,39±0,03d
Basmati Baja	1,78±0,25abc	2,60±0,24abc	2,16±0,02a
Basmati Alta	1,96±0,04bcde	2,61±0,16abc	2,25±0,01abc

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05)

3.3 Propiedades de gel

Los resultados obtenidos de propiedades de hidratación de gel se encuentran recogidos en la Tabla 3. Tal y como se puede ver en dicha tabla los resultados para estas propiedades son muy similares en todas las variedades a excepción del glutinoso para el que se obtuvieron los menores valores tanto para el WAI como para el SP. El acondicionado reduce el WAI en la variedad Thai y la incrementa en Bomba, en el resto de variedades no se aprecian diferencias significativas. En el caso del SP, el valor se vio incrementado para las variedades Bomba y Basmati y reducido en el Thai. En Li et al. (2014) se observó que el poder de hinchamiento depende del almidón insoluble o de partículas que retienen moléculas de agua, como la amilopectina, mientras que un alto contenido en amilosa puede derivar en un complejo amilosa-lípidos, inhibiendo el proceso de hinchamiento. Este fenómeno fue observado en la variedad Thai, donde aparecieron ligados unos valores altos de SP con un bajo contenido en amilosa.

Tabla 3: Propiedades de hidratación de gel

Muestra	WAI (g/g)	WSI (g/100g)	SP (g/g)
Sushi Baja	8,18±0,04bc	2,37±0,31bc	8,38±0,06bc
Sushi Alta	8,26±0,06bc	2,86±0,09de	8,48±0,05c
Bomba Baja	8,06±0,11b	2,12±0,07ab	8,54±0,08c
Bomba Alta	8,66±0,06d	2,16±0,05ab	8,83±0,04d
Glutinoso Baja	5,60±0,16 ^a	3,19±0,11e	5,79±0,17a
Glutinoso Alta	5,52±0,07 ^a	2,77±0,03d	5,68±0,07a
Thai Baja	9,49±0,04e	1,83±0,25a	9,85±0,20e
Thai Alta	8,83±0,02d	1,91±0,14a	8,93±0,11d
Basmati Baja	8,30±0,10c	2,75±0,13d	8,19±0,09b
Basmati Alta	8,33±0,19c	2,58±0,07cd	8,45±0,08c

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05).

Respecto a los resultados obtenidos para el WSI, los mayores valores se obtuvieron para el Glutinoso, Basmati y Sushi. Sin embargo, el incremento en humedad no los modificó de manera importante, teniendo un efecto diferente en función de la variedad. En el caso de variedad Sushi, una mayor humedad en el acondicionado dio lugar a mayores valores de WSI y a su vez una reducción en el tamaño de partícula, lo cual puede justificarse ya que una reducción de tamaño de partícula hace que esta sea más soluble (Li et al. 2014)

3.4 PROPIEDADES DE VISCOSIDAD

En las figuras 1 y 2 se pueden ver las propiedades de viscosidad de las diferentes harinas. Cabe destacar que las harinas de variedades de grano largo presentan mayores viscosidades que las de grano corto. Como era de esperar el arroz Glutinoso debido a su bajo contenido en amilosa, presentó un pico de viscosidad más temprano y menor retrogradación que el resto de variedades. Realizando una comparativa entre humedades se puede afirmar que, el acondicionado incrementó las curvas de viscosidad en todas las variedades a excepción de las harinas de Glutinoso donde las redujo y en la variedad Thai donde apenas se apreciaron diferencias significativas. A

su vez también se debe destacar que las mayores diferencias entre humedades se aprecian para las variedades Sushi y Basmati.

Variedades de Grano Largo

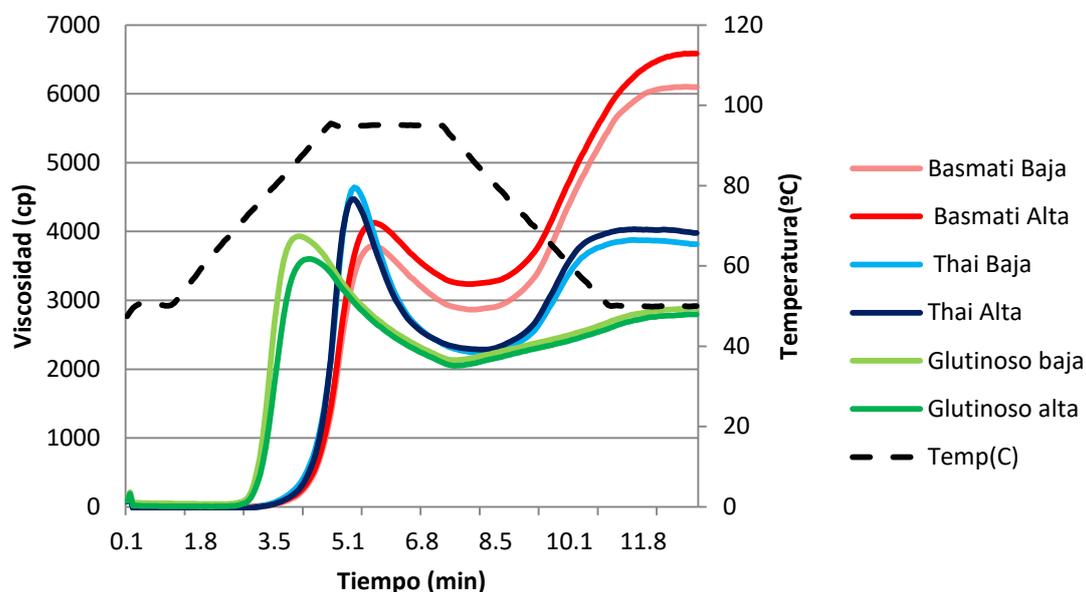


Figura 1: Gráfica obtenida de variedades de harina de arroz largo por el equipo RVA en el ensayo de calentamiento-enfriamiento.

Respecto a las variedades de grano largo cabe destacar el elevado *breakdown* (medido como la diferencia entre el pico de viscosidad y la viscosidad mínima, y que indica una menor estabilidad) y pico de viscosidad que junto con la mayor retrogradación fueron experimentados por la variedad Thai y la mayor viscosidad final junto con el menor *breakdown* para la variedad Basmati.

Variedades de Grano Corto

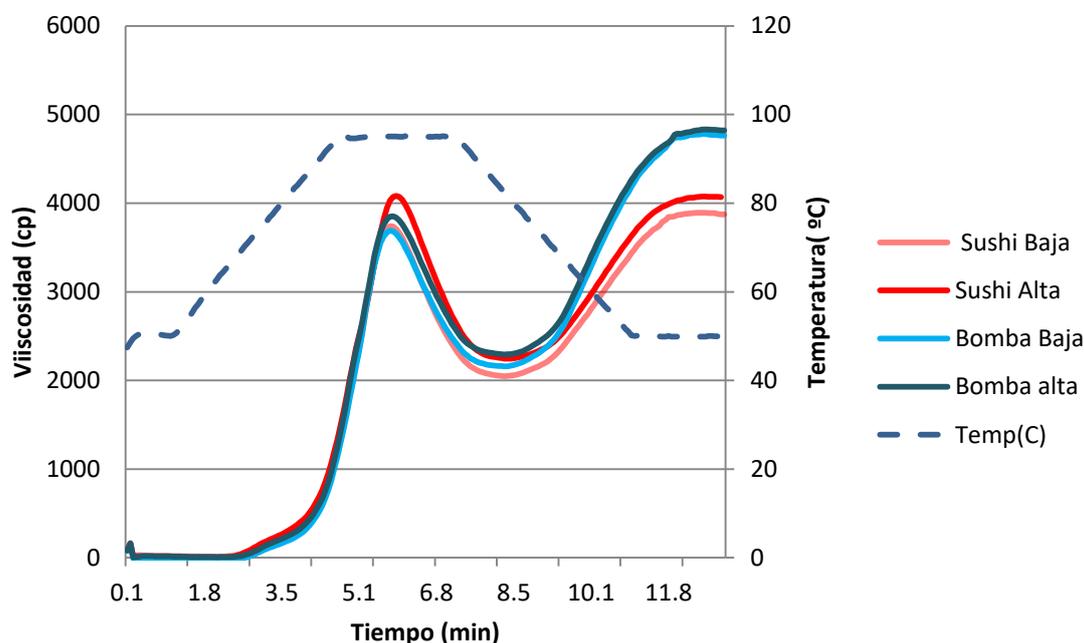


Figura 2: Grafica obtenida de la harina de arroz corto por el equipo RVA en el ensayo de calentamiento-enfriamiento.

La viscosidad que presenta una pasta de harina en agua, está relacionada directamente con la capacidad de hinchamiento que tienen los gránulos de almidón presentes, y a su vez esta capacidad de hinchamiento está asociada con el contenido en amilopectina presente en el almidón (Hasjim et al. 2013, Li et al. 2014). Por otra parte, el pico de viscosidad y la temperatura de gelatinización muestran la capacidad de captación de agua por la muestra. En Basmati y Bomba el acondicionamiento supone un incremento del pico de viscosidad y a su vez también en el SP y WAI, hecho apoyado con una correlación positiva del 99% en ambos casos. Previamente Heo et al. (2013) vieron que la molturación húmeda de arroz generaba harinas con mayores valores de viscosidad debido al mayor poder de hinchamiento.

La viscosidad final se debe a la retrogradación de las moléculas de amilosa, que se produce durante el enfriamiento, formando una red que aumenta la viscosidad de la pasta de almidón (Morrison et al. 1993). Basmati y Bomba con alto contenido en humedad experimentaron altos valores de viscosidad junto lo que puede estar asociado con los valores altos de amilosa mientras que en el Glutinoso se observó

todo lo contrario; bajos valores de viscosidad debido a su prácticamente nulo contenido en amilosa. Al igual que anteriormente han obtenido otros autores (Tester et al. 1990; Vandeputte et al. 2003) este hecho está apoyado por la correlación significativa al 99% del contenido de amilosa con la retrogradación y la viscosidad final alcanzada en este estudio.

3.5 Estudio de los panes

3.5.1 Volumen y pérdida de peso

Tal y como se puede apreciar en la Tabla 4 donde quedan recogidos los datos de volumen, no se obtuvieron diferencias entre humedades para una misma variedad pero sí entre variedades. En los panes, se observaron los mayores volúmenes para las variedades de grano corto, hecho que coincide con lo obtenido previamente por otro estudio (de la Hera. Martínez et al. 2013), y los menores para los elaborados con harinas de Glutinoso. En general, los volúmenes específicos obtenidos en este estudio sobrepasan los valores habituales obtenidos en panes sin gluten, que suelen estar en torno a 2 ± 0.5 ml/g como se observó en los siguientes estudios (de la Hera. Martinez et al. 2013; Matos y Rosell, 2012).

Se ha obtenido una correlación significativa al 99.9% entre el volumen específico de los panes y SP ($r=0.85$).Cornejo y Rosell, (2015) además de obtener la correlación anterior observaron una correlación negativa con las propiedades de la pasta, obteniendo así panes con altos volúmenes específicos elaborados con harinas de arroz que presentaban altos valores de SP y bajos valores de breakdown.

Mohamed y Hamid, (1998) advirtieron que un mayor contenido de amilosa induce volúmenes superiores al producirse una disminución de la viscosidad durante la cocción y retrasar el tiempo de fraguado de la masa. Este hecho puede ser extrapolado a nuestro estudio ya que en el caso del glutinoso los mínimos valores de amilosa se corresponden con los mínimos valores de volumen obtenidos. Anteriormente se ha relacionado el contenido en almidón dañado con el volumen obtenido en el pan sin gluten. Yano et al. (2017) relacionó valores inferiores a 5g/100g de almidón dañado con la obtención de panes con volúmenes específicos cercanos a 4 ml/g, comparable con valores del pan de trigo. Sin embargo, en nuestro estudio los valores de almidón dañado son mayores.

Tabla 4: Estudio del volumen y pérdida de peso de los panes

Muestra	Volumen específico (ml/g)	Pérdida de peso (g)/100
Sushi Baja	4,84±0,01d	25,53±0,28g
Sushi Alta	4,38±0,06bcd	21,63±0,80ef
Bomba Baja	4,85±0,03d	22,40±0,19f
Bomba Alta	4,87±0,40d	24,10±1,18g
Glutinoso Baja	1,83±0,16a	19,00±0,09a
Glutinoso Alta	1,90±0,00a	19,47±0,00ab
Thai Baja	4,11±0,11bc	20,00±0,38abc
Thai Alta	3,89±0,01b	20,20±0,09bcd
Basmati Baja	4,19±0,04bc	20,90±0,14cde
Basmati Alta	4,41±0,56cd	21,17±0,14de

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05).

Respecto a la pérdida de peso se apreciaron diferencias significativas entre humedades en las variedades de grano corto, siendo a su vez las que mayores pérdidas presentaban. La influencia del acondicionado fue diferente para ambas variedades, en el caso de la Sushi se vio disminuida y en la Bomba aumentada. Esta mayor pérdida de peso puede ser debida a que mayores volúmenes específicos y por ende mayor superficie para evaporación de agua se ve reflejado en una mayor pérdida de peso (de la Hera. Martínez et al. 2013).

3.5.2 Color de la corteza y de la miga

En la Tabla 5 se encuentran recogidos los resultados del color medidos en la corteza. Como se puede observar las variedades que presentaron mayor luminosidad en la corteza son Glutinoso y Bomba, siendo en ambos casos la humedad baja la que mayores valores de luminosidad presento para el glutinoso y en el caso del Bomba no se obtuvieron diferencias significativas entre humedades.

Tabla 5 : Parámetros de color de corteza

COLOR CORTEZA			
Muestra	L*	a *	b*
Sushi Baja	66,18±1,82b	6,17±0,25cd	17,98±1,98ab
Sushi Alta	64,88±0,04a	6,38±3,14cd	22,23±7,34b
Bomba Baja	71,29±1,87bc	4,88±0,78cd	22,49±1,29b
Bomba Alta	67,37±0,74b	3,88±1,21bc	20,31±0,50ab
Glutinoso Baja	77,07±0,96c	-0,93±0,56a	13,16±1,77a
Glutinoso Alta	65,01±6,48a	1,29±0,21ab	16,31±2,13ab
Thai Baja	69,84±0,13b	6,35±0,37cd	22,1±1,99b
Thai Alta	70,67±3,91ab	8,06±0,01d	24,72±4,04b
Basmati Baja	66,32±0,21b	4,55±2,60bc	19,90±7,09ab
Basmati Alta	66,92±2,93b	8,17±1,69d	24,16±3,70b

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05).

En cuanto al parámetro a* (valores negativos indican valores más verdosos mientras que valores positivos indican tonalidades más rojizas) solo se encontraron diferencias significativas para la variedad Basmati, en la que el acondicionado aumentaba el valor del parámetro cromático a*. Respecto al parámetro cromático b* (valores negativos indican valores más azulados y valores positivos indican colores amarillentos), no se encontraron diferencias significativas ni entre variedades ni por el acondicionado.

En la tabla 6 se encuentran recogidos los resultados del color medidos en la miga. Como se puede observar la variedad que presentó mayor luminosidad en la miga fue la Thai. Solo se obtuvieron diferencias significativas entre humedades para Thai, Glutinoso y Bomba. De modo que la humedad alta de Thai experimento mayores valores de luminosidad, mientras que en las variedades Bomba y Glutinoso esta se redujo con el acondicionado. Los valores de luminosidad de la miga se asemejan a los obtenidos previamente por Marco y Rosell, (2008) en panes elaborados con harina obtenida de arroz de grano corto.

Tabla 6: Propiedades de color en la miga

Muestra	COLOR MIGA		
	L*	a*	b*
Sushi Baja	69,80±2,48cd	-0,59±0,79c	4,61±1,711a
Sushi Alta	67,04±2,05bc	-0,44±0,41bc	6,25±0,481ab
Bomba Baja	69,11±4,70cd	-0,675±0,23abc	4,135±0,771a
Bomba Alta	59,67±4,36a	-0,32±0,50bc	3,48±0,01a
Glutinoso Baja	71,58±0,32cd	-1,5±0,09a	10,74±0,06c
Glutinoso Alta	62,01±4,34ab	-1,51±0a	9,01±1,89bc
Thai Baja	66,16±0,16bc	-0,07±0,191abc	9,99±1,80a
Thai Alta	75,39±1,34de	-1,1±0,28ab	6,09±0,68ab
Basmati Baja	65,60±3,39abc	-0,55±0,64bc	5,44±2,73a
Basmati Alta	66,39±0,30bc	-0,59±0,79bc	4,445±2,16a

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05).

En cuanto a los parámetros cromáticos no se observaron diferencias significativas entre humedades para ninguno de los dos y tampoco entre variedades. Cabe destacar que todos los panes obtuvieron valores negativos para el parámetro a*, adquiriendo tonos más verdosos a excepción de la humedad baja de Sushi.

Respecto al parámetro b*, las variedades que experimentaron unos valores más elevados fueron la variedad Glutinoso seguido de Thai y Sushi de alta humedad, indicando coloraciones más amarillentas en los panes.

3.5.3 Textura

En las tablas 7 y 8 se encuentran recogidos los resultados del ensayo de textura llevado a cabo en los panes. Tal y como se puede apreciar dicho ensayo no pudo ser realizado en los panes elaborados a partir de harinas de la variedad Glutinoso ya que las dimensiones del pan no permitían obtener una rebanada adecuada con suficiente altura para llevar a cabo dicho ensayo.

Tabla 7: Propiedades de textura.

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad
Sushi baja	0,76±0,02ab	0,69±0,01c	0,86±0,03ab
Sushi alta	0,74±0,04ab	0,67±0,02bc	0,87±0,07ab
Bomba baja	0,88±0,004b	0,67±0,01bc	0,98±0,03b
Bomba alta	0,80±0,03ab	0,65±0,04abc	0,94±0,04ab
Thai baja	0,70±0,01a	0,63±0,03ab	0,87±0,06ab
Thai alta	1,04±0,01c	0,61±0,04a	0,80±0,13a
Basmati alta	1,11±0,12c	0,64±0,00abc	0,93±0,00ab
Basmati alta	1,11±0,13c	0,64±0,01abc	0,95±0,03b

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05).

Tabla 8: Propiedades de textura.

Muestra	Resiliencia	Gomosidad	Masticabilidad
Sushi baja	0,31±0,02abc	0,52±0,00ab	0,45±0,01ab
Sushi alta	0,28±0,01ab	0,50±0,02ab	0,43±0,01a
Bomba baja	0,32±0,01bc	0,59±0,01bc	0,58±0,02bc
Bomba alta	0,29±0,00abc	0,51±0,01ab	0,48±0,03ab
Thai baja	0,26±0,00a	0,44±0,02a	0,38±0,04a
Thai alta	0,25±0,00a	0,64±0,05cd	0,52±0,13ab
Basmati alta	0,29±0,06abc	0,72±0,09d	0,67±0,08c
Basmati alta	0,34±0,01c	0,72±0,09d	0,68±0,06c

Los valores seguidos de diferente letra para el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05).

En general, no se aprecian diferencias entre humedades para los parámetros texturales evaluados a excepción de la variedad Thai, en la que el acondicionamiento aumentó la dureza de los panes elaborados con dicha harina. A su vez para esta variedad también se obtuvieron mayores valores de gomosis cuando poseía un mayor contenido en humedad. Si realizamos una comparativa entre variedades, destaca la mayor dureza presentada por los panes elaborados con harina de arroz Basmati. Los valores de dureza obtenidos son más bajos que los obtenidos por

Cornejo y Rosell, (2015) los cuales estaban acotados entre 3.5 N y 10.8 N sin embargo, son muy parecidos a los que obtuvieron Marco y Rosell, (2008) para panes de arroz corto (1.96 ± 0.19 N). Los altos valores de elasticidad se relacionan con la frescura y la elasticidad final del pan. A su vez, la resiliencia es un indicativo de la habilidad que presenta un material de volver a la forma original después de haber sido sometido a un estrés mecánico (Onyango et al. 2011). Para todas las muestras se obtuvieron altos valores de cohesividad, lo cual no es deseable ya que está asociado con la formación de bolos difíciles de desintegrar durante la masticación (Onyango et al. 2011).

4. Conclusiones

Podemos afirmar que el acondicionado generó harinas con claras diferencias en tamaño de partícula y almidón dañado, sin embargo, tuvo una influencia menos acusada en las propiedades de hidratación de dichas harinas. En cuanto a las propiedades viscosas, el acondicionado originó mínimas diferencias, siendo las más acusadas en las variedades Bomba y Basmati. Respecto a la elaboración de los panes, no se obtuvieron diferencias significativas exceptuando la variedad Thai, la cual desarrolló una mayor dureza y gomosidad con el acondicionado. Como se puede observar en el anexo, hubo diferencias en el volumen que se obtuvo en los panes, especialmente en la variedad glutinoso, de la cual no se pudieron realizar pruebas de textura debido a su reducido volumen.

5. Bibliografía

AACC, (2012). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, methods 4630.01 (protein), 61-02.01 (RVA), 88-04 (WHC), 56-11 (SRC) (11th ed.). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Ashida, K. (2014). Properties of floury rice mutant and its utilization for rice flour. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 48(1), 51-56.

Asmeda, R., Noorlaila, A., & Norziah, M. H. (2016). Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled MR263 rice flour. *Food chemistry*, 191, 45-51.

Bean, M. M., EA, E. H., & Nishita, K. D. (1983). c [with water just before use]. *Cereal Chemistry*.

Beckles, D. M., & Thitisaksakul, M. (2014). How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. *Starch & Stärke*, 66(1-2), 58-71.

Berton, B., Scher, J., Villieras, F., & Hardy, J. (2002). Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology*, 128(2), 326-331.

Binks, B. P., & Murakami, R. (2006). Phase inversion of particle-stabilized materials from foams to dry water. *Nature materials*, 5(11), 865-869.

Blazek, J., & Copeland, L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 380-387.

Catassi, C., & Fasano, A. (2008). Celiac disease. *Current opinion in gastroenterology*, 24(6), 687-691.

Cham, S., & Suwannaporn, P. (2010). Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 284-291.

Chiang, P. Y., & Yeh, A. I. (2002). Effect of soaking on wet milling of rice. *Journal of Cereal Science*, 35(1), 85-94.

Cornejo, F., & Rosell, C. M. (2015). Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), 1203-1210.

de la Hera, E., Gomez, M., & Rosell, C. M. (2013). Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 421-427.

de la Hera, E., Rosell, C. M., & Gomez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, 151, 526-531.

de la Hera, E., Martinez, M., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 199-206.

Demirkesen, I., Campanella, O. H., Sumnu, G., Sahin, S., & Hamaker, B. R. (2014). A study on staling characteristics of gluten-free breads prepared with chestnut and rice flours. *Food and bioprocess technology*, 7(3), 806-820.

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 295-303.

Dickinson, E. (2013). Stabilizing emulsion and based colloidal structures with mixed food ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(4), 710-721.

Dickinson, E. (2016). Exploring the frontiers of colloidal behavior where polymers and particles meet. *Food Hydrocolloids*, 52, 497-509.

Doblado-Maldonado, A. F., Flores, R. A., & Rose, D. J. (2013). Low moisture milling of wheat for quality testing of wholegrain flour. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 420-423.

Fang, C., & Campbell, G. M. (2003). On predicting roller milling performance V: Effect of moisture content on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Journal of Cereal Science*, 37(1), 31-41.

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3), 143-152.

Ghodke, S. K., Ananthanarayan, L., & Rodrigues, L. (2009). Use of response surface methodology to investigate the effects of milling conditions on damaged starch, dough stickiness and chapatti quality. *Food Chemistry*, 112(4), 1010-1015.

Green, P. H., & Cellier, C. (2007). Celiac disease. *New England Journal of Medicine*, 357(17), 1731-1743.

Guha, M., & Ali, S. Z. (2011). Changes in rheological properties of rice flour during extrusion cooking. *Journal of Texture Studies*, 42(6), 451-458.

Gujral, N., Freeman, H. J., & Thomson, A. B. (2012). Celiac disease: prevalence, diagnosis, pathogenesis and treatment. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, 18(42), 6036.

Han, H. M., Cho, J. H., Kang, H. W., & Koh, B. K. (2012). Rice varieties in relation to rice bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(7), 1462-1467.

Han, X. Z., Campanella, O. H., Mix, N. C., & Hamaker, B. R. (2002). Consequences of starch damage on rheological properties of maize starch pastes. *Cereal chemistry*, 79(6), 897.

Hasjim, J., Li, E., & Dhital, S. (2012). Milling of rice grains: The roles of starch structures in the solubility and swelling properties of rice flour. *Starch & Stärke*, 64(8), 631-645.

Hasjim, J., Srichuwong, S., Scott, M. P., & Jane, J. L. (2009). Kernel composition, starch structure, and enzyme digestibility of opaque-2 maize and quality protein maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 2049-2055.

Hatcher, D. W., Bellido, G. G., & Anderson, M. J. (2009). Flour particle size, starch damage, and alkali reagent: impact on uniaxial stress relaxation parameters of yellow alkaline noodles. *Cereal Chem*, 86(3), 361-368.

Heo, S., Lee, S. M., Shim, J. H., Yoo, S. H., & Lee, S. (2013). Effect of dry-and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 213-217.

Jenkins, P. J., Cameron, R. E., & Donald, A. M. (1993). A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. *Starch & Stärke*, 45(12), 417-420.

Kalkan, F., Singh, A., Vanga, S. K. K., Raghavan, V., & Kara, M. (2014). Effects of Tempering Moisture and Roll Differential on Wheat Size Reduction Process during the First Break Rollers. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological*

Engineers), 57(5), 1425-1429.

Kang, S., & Delwiche, S. R. (2000). Moisture diffusion coefficients of single wheat kernels with assumed simplified geometries: analytical approach. *Transactions of the ASAE*, 43(6), 1653. Kim, J. M., Song, J. Y., & Shin, M. (2010). Physicochemical properties of high amylose rice starches purified from Korean cultivars. *Starch & Stärke*, 62(5), 262-268.

Kumar, C. S., Malleshi, N. G., & Bhattacharya, S. (2008). A comparison of selected quality attributes of flours: Effects of dry and wet grinding methods. *International Journal of Food Properties*, 11(4), 845-857.

Kweon, M., Martin, R., & Souza, E. (2009a). Effect of Tempering Conditions on Milling Performance and Flour Functionality. *Cereal Chemistry*, 86(1), 12.

Kweon, M., Slade, L., Levine, H., Martin, R., Andrews, L., & Souza, E. (2009b). Effects of extent of chlorination, extraction rate, and particle size reduction on flour and gluten functionality explored by solvent retention capacity (SRC) and mixograph. *Cereal Chem*, 86(2), 221-224.

Lamacchia, C., Camarca, A., Picascia, S., Di Luccia, A., & Gianfrani, C. (2014). Cereal-based gluten-free food: How to reconcile nutritional and technological properties of wheat proteins with safety for celiac disease patients. *Nutrients*, 6(2), 575-590.

Li, E., Dhital, S., & Hasjim, J. (2014). Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties. *Starch & Stärke*, 66(1-2), 15-27.

LIN, Q. L., XIAO, H. X., FU, X. J., Wei, T. I. A. N., LI, L. H., & YU, F. X. (2011). Physico-chemical properties of flour, starch, and modified starch of two rice varieties. *Agricultural Sciences in China*, 10(6), 960-968.

Mansueto, P., Seidita, A., D'Alcamo, A., & Carroccio, A. (2014). Non-celiac gluten sensitivity: literature review. *Journal of the American College of Nutrition*, 33(1), 39-54.

Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 227(4), 1205-1213.

Matos, M. E., & Rosell, C. M. (2012). Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 235(1), 107-117.

Mohamed, S., & Hamid, N. A. (1998). Effects of ingredients on the characteristics of rice cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(3), 464-468.

Morrison, W. R., Tester, R. F., Snape, C. E., Law, R. O. B. E. R. T., & Gidley, M. J. (1993). Swelling and gelatinization of cereal starches. IV. Some effects of lipid-complexed. *Cereal Chem*, 70(4), 385-391.

Mustalahti, K., Catassi, C., Reunanen, A., Fabiani, E., Heier, M., McMillan, S., Mäki, M. (2010). The prevalence of celiac disease in Europe: results of a centralized, international mass screening project. *Annals of Medicine*, 42(8), 587-595.

Nelson, A. (2001). Properties of High-fibre ingredients. *Cereal Foods Word*, 46, 93-97.

Ngamnikom, P., & Songsermpong, S. (2011). The effects of freeze, dry, and wet grinding processes on rice flour properties and their energy consumption. *Journal of Food Engineering*, 104(4), 632-638.

Nishita, K. D., & Bean, M. M. (1982). Grinding methods: their impact on rice flour properties

[Starch quality]. *Cereal Chemistry*.

Nowakowski, D., Sosulski, F. W., & Hoover, R. (1986). The effect of pin and attrition milling on starch damage in hard wheat flours. *Starch & Stärke*, 38(8), 253-258.

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.

Park, C. E., Kim, Y. S., Park, K. J., & Kim, B. K. (2012). Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 48, 25-29.

Perez, C. M., & Juliano, B. O. (1988). Varietal differences in quality characteristics of rice layer cakes and fermented cakes. *Cereal chemistry (USA)*.

Rosell, C. M., Yokoyama, W., & Shoemaker, C. (2011). Rheology of different hydrocolloids–rice starch blends. Effect of successive heating–cooling cycles. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 373-382.

Singh, S. K., Johnson, L. A., Pollak, L. M., Fox, S. R., & Bailey, T. B. (1997). Comparison of laboratory and pilot-plant corn wet-milling procedures. Identifying and using value-added traits in GEM accessions (Latin American maize) to improve Corn-Belt dent corn, 14.

Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G., & Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*, 124(1), 132-140.

Song, H. P., Delwiche, S. R., & Line, M. J. (1998). Moisture distribution in a mature soft wheat grain by three-dimensional magnetic resonance imaging. *Journal of Cereal Science*, 27(2), 191-197.

Song, J. Y., & Shin, M. (2007). Effects of soaking and particle sizes on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. *Food Science and Biotechnology*, 16(5), 759-764.

Song, S. H., Lee, M. G., Lee, H. J., & Yoon, W. B. (2014). Analysis of grinding kinetics to control the effect of rice flour particle size on the yield of alcohol and glucose during fermentation. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(12), 2703-2710.

Stenvert, N. L., & Kingswood, K. (1976). An autoradiography demonstration of the penetration of water into wheat during tempering [Processing]. *Cereal Chemistry*.

Syahriza, Z. A., Li, E., & Hasjim, J. (2010). Extraction and dissolution of starch from rice and sorghum grains for accurate structural analysis. *Carbohydrate Polymers*, 82(1), 14-20.

Tananuwong, K., & Malila, Y. (2011). Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions. *Food Chemistry*, 125(1), 179-185.

Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem*, 67(6), 551-557.

Tong, L. T., Gao, X., Zhou, X., Zhong, K., Liu, L., Wang, L., & Zhou, S. (2016). Milling of glutinous rice by semidry method to produce sweet dumplings. *Journal of Food Process Engineering*, 39(4), 330-334.

Torbica, A., Hadnađev, M., & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6),

626-632.

Tran, T. T., Shelat, K. J., Tang, D., Li, E., Gilbert, R. G., & Hasjim, J. (2011). Milling of rice grains. The degradation on three structural levels of starch in rice flour can be independently controlled during grinding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3964-3973.

Vandeputte, G. E., Derycke, V., Geeroms, J., & Delcour, J. A. (2003). Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, 38(1), 53-59.

Warechowska, M., Warechowski, J., Skibniewska, K. A., Siemianowska, E., Tyburski, J., & Aljewicz, M. A. (2016). Environmental factors influence milling and physical properties and flour size distribution of organic spelt wheat. *Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, (19 (4)), 387-399.

Williams, P. C., Kilborn, R. H., Voisey, P. W., & Kloek, M. (1987). Measuring wheat hardness by revolutions per minute reduction. *Cereal Chemistry*.

Yano, H., Fukui, A., Kajiwara, K., Kobayashi, I., Yoza, K. I., Satake, A., & Villeneuve, M. (2017). Development of gluten-free rice bread: Pickering stabilization as a possible batter-swelling mechanism. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 632-639.

Yeh, A. I. (2004). Preparation and applications of rice flour. *Rice chemistry and technology*. 3rd ed. St. Paul, Minn. (USA): American Association of Cereal Chemists. p, 495-539.

Yu, S., Ma, Y., Menager, L., & Sun, D. W. (2012). Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 626-637.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2002). Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(8), 849-868.

Zhu, L. J., Liu, Q. Q., Sang, Y., Gu, M. H., & Shi, Y. C. (2010). Underlying reasons for waxy rice flours having different pasting properties. *Food Chemistry*, 120(1), 94-100.

6. ANEXO I: IMÁGENES DE LAS ELABORACIONES

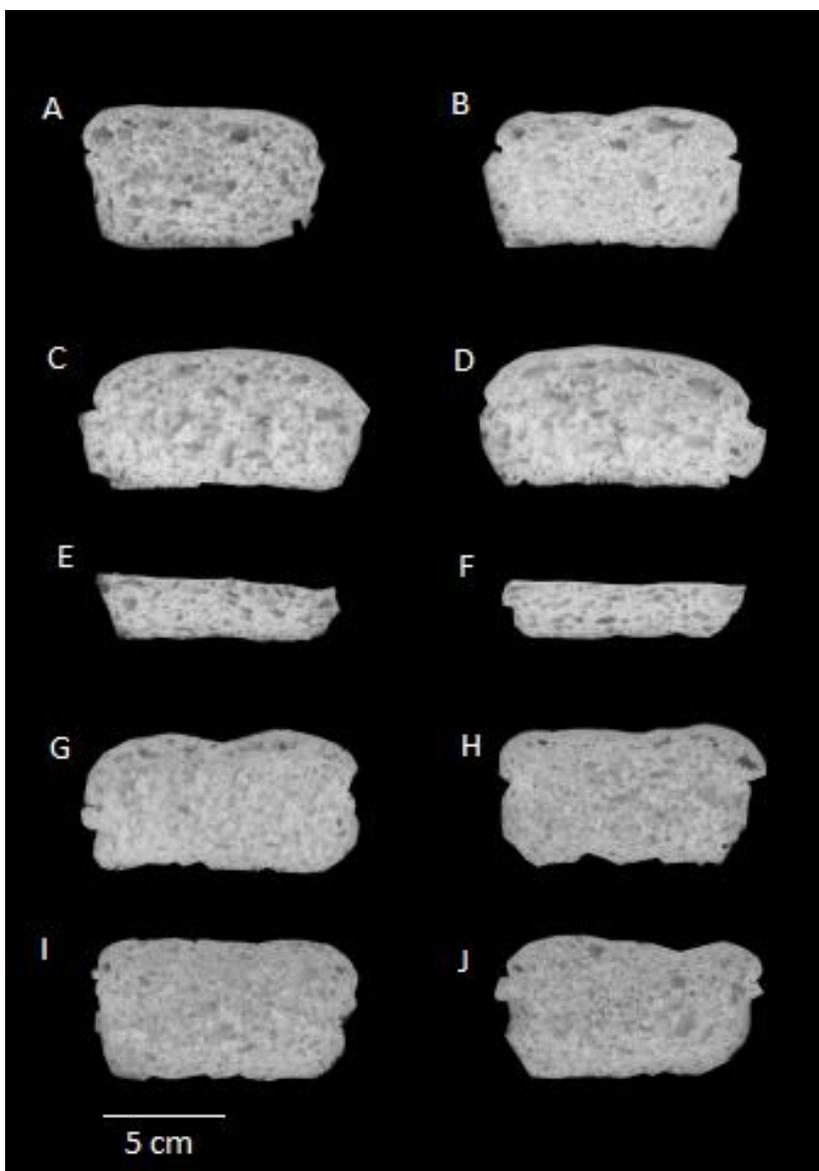


Figura 1: Imágenes a través de scanner de los panes elaborados: *Basmati alta* (imagen A), *Basmati baja* (imagen B), *Bomba alta* (imagen C), *Bomba baja* (imagen D), *Gutinoso alta* (Imagen E), *Glutinoso baja* (imagen F), *Sushi alta* (imagen G), *Sushi baja* (imagen H), *Thai alta* (imagen I), *Thai baja* (imagen J).

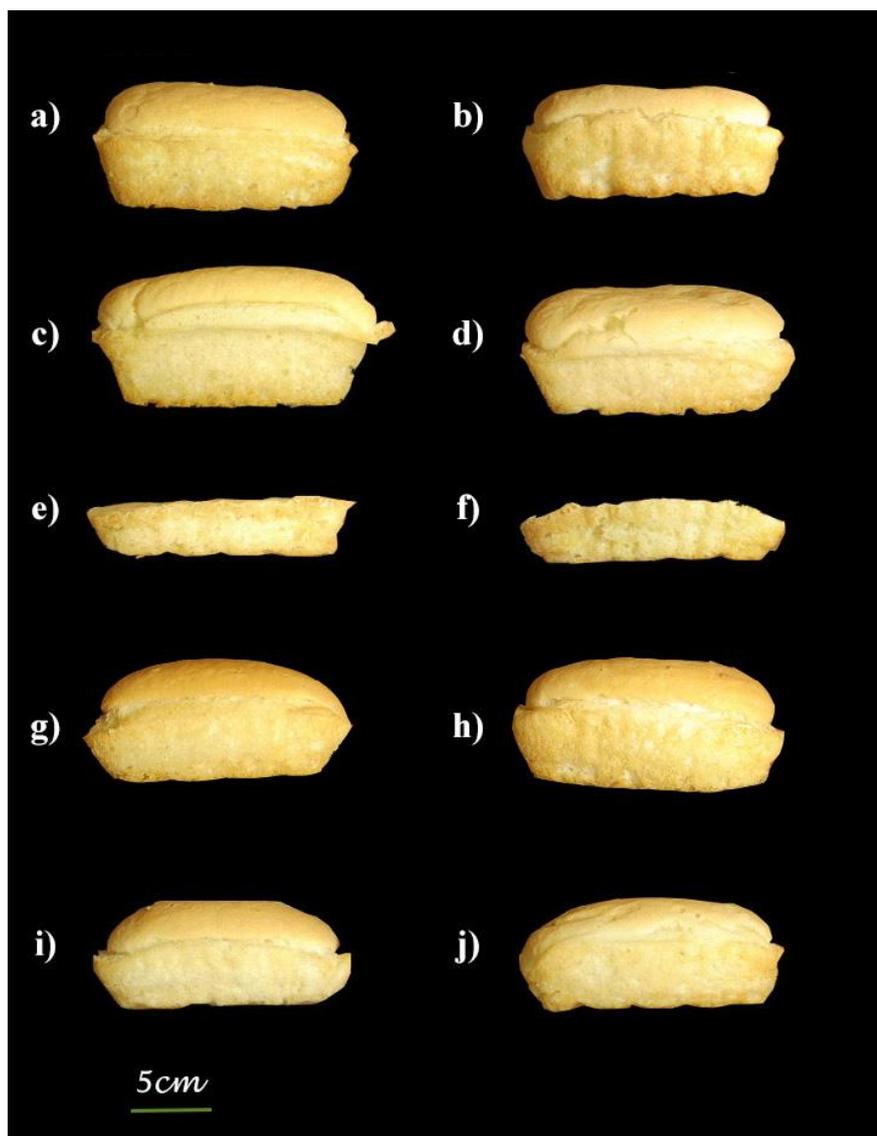


Figura 2: Imágenes de los panes elaborados: Basmati alta (imagen A), Basmati baja (imagen B), Bomba alta (imagen C), Bomba baja (imagen D), Glutinoso alta (Imagen E), Glutinoso baja (imagen F), Sushi alta (imagen G), Sushi baja (imagen H), Thai alta (imagen I), Thai baja (imagen J).

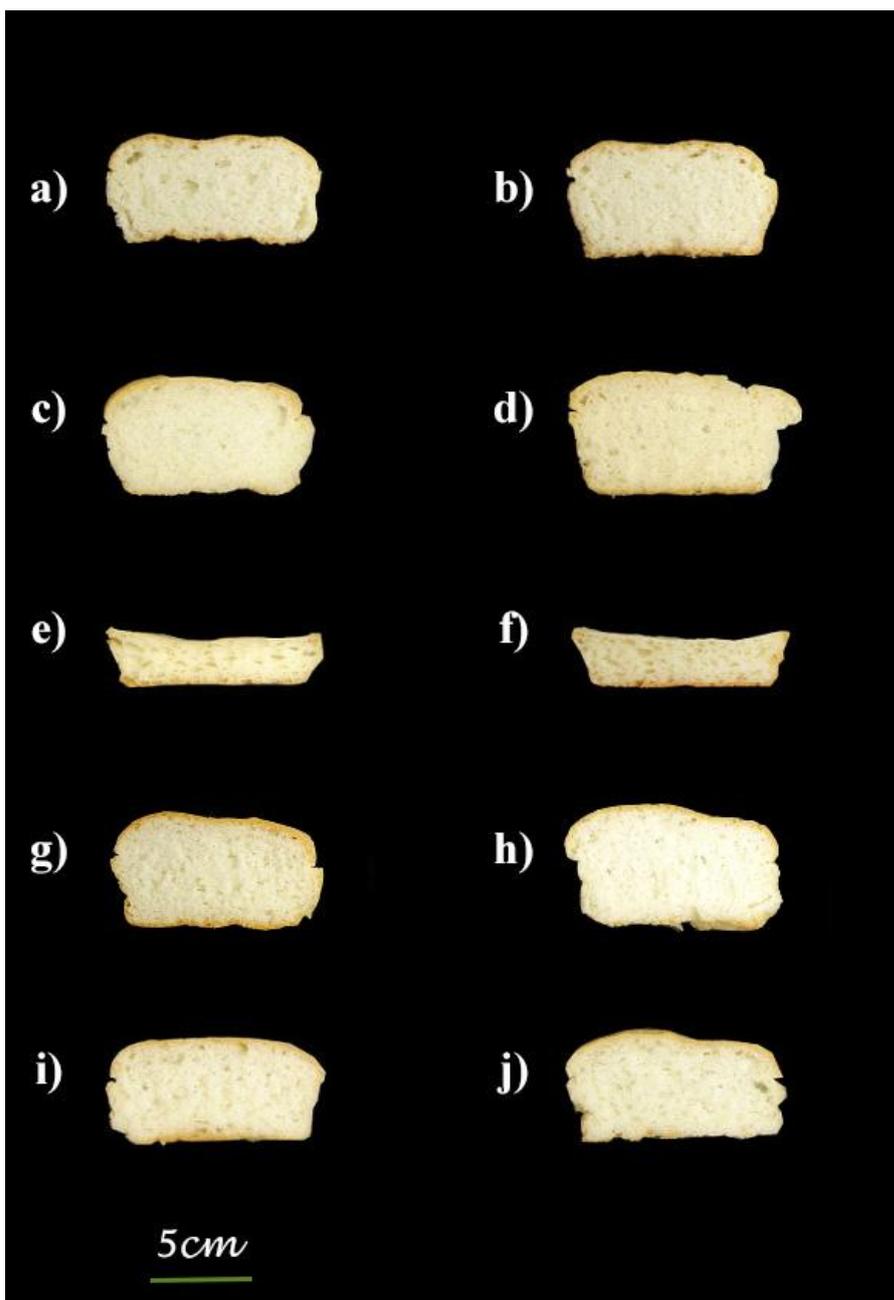


Figura 3. Imágenes de las rebanadas obtenidas: Basmati alta (imagen A), Basmati baja (imagen B), Bomba alta (imagen C), Bomba baja (imagen D), Glutinoso alta (Imagen E), Glutinoso baja (imagen F), Sushi alta (imagen G), Sushi baja (imagen H), Thai alta (imagen I), Thai baja (imagen J).