



ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS HARINAS ELABORADAS CON PANES ENDURECIDOS.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2019/2020

**Alumno: Juan Fernández Peláez
Tutor: Manuel Gómez Pallarés**

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

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen | 1 |
| Abstract | 1 |
| 1. Introducción | 2 |
| 2. Objetivos y plan de trabajo | 6 |
| 3. Materiales y métodos | 6 |
| 3.1. Materiales | 6 |
| 3.2. Métodos | 7 |
| 4. Resultados y discusión | 10 |
| 4.1. Tamaño de partícula, microestructura y color de las harinas | 10 |
| 4.2. Propiedades de hidratación | 13 |
| 4.3. Análisis RVA | 16 |
| 4.4. Propiedades de gel | 19 |
| 5. Conclusiones | 21 |
| 6. Agradecimientos | 22 |
| 7. Bibliografía | 22 |
| ANEXO I: Imágenes de la microestructura de las harinas | 31 |
| ANEXO II: Resultado de los análisis RVA | 33 |

Resumen

El desperdicio de alimentos supone uno de los mayores retos a los que se enfrenta la sociedad en estos días. Actualmente, se busca establecer alternativas novedosas que permitan implementar esquemas de desarrollo sostenible en la industria alimentaria. Esto es especialmente interesante en la industria de la panificación, pues el pan es uno de los productos que mayor desperdicio muestra, dado que fenómenos como el del endurecimiento hace que muchos consumidores lo desechen al considerar que ya no es apto para consumo humano. Por ello, en el presente trabajo se propone la reutilización de los panes endurecidos para la elaboración de harinas que permitan volver a integrarlos en la cadena alimentaria. Con este fin, se llevó a cabo la caracterización de diferentes tipos de pan, en los parámetros de tamaño de partícula, microestructura y color de las harinas, propiedades de hidratación, el análisis RVA y las propiedades de los geles formados. Los resultados obtenidos apuntan a que, con la excepción de los panes que poseen grasas y salvado en su composición, los panes presentan unas características similares que permiten realizar la mezcla de las diferentes piezas para obtener harinas con unas propiedades uniformes, lo cual abre la puerta a su empleo a una escala industrial.

Palabras clave: Desperdicio de pan, sostenibilidad, caracterización, propiedades físicas.

Abstract

Food waste is one of the greatest challenges faced by society nowadays. Currently, new alternatives are being sought to implement sustainable development schemes in the food industry. This is especially interesting in the bakery industry, given that bread is one of the products that shows more wastage, since phenomena such as staling makes many consumers discard it for considering that it is no longer suitable for human consumption. For this reason, this work proposes the reuse of stale breads for the production of flours that will allow bread to be re-integrated into the food chain. To this end, the characterization of different types of bread was performed, in the parameters of particle size, microstructure and colour of the flours, hydration properties, pasting properties and the properties of the gels formed. The results obtained indicate that, with the exception of breads containing fat and bran, the different breads have similar characteristics that allow the mixing of the various pieces to obtain flours with uniform properties, which raises the possibility of their use on an industrial scale.

Keywords: Bread wastage, sustainability, characterization, physical properties.

1. Introducción

Se estima que un tercio de los alimentos producidos globalmente se pierden en algún punto de la cadena de suministro de alimentos, lo que supone 1,3 billones de toneladas por año, con el impacto social, medioambiental y económico que ello implica (Vilariño, Franco, y Quarrington, 2017). Reducir la pérdida de alimentos, tanto en la producción como durante la distribución, es uno de los objetivos que fija las Naciones Unidas en sus objetivos y metas de desarrollo sostenible (Philippidis, Sartori, Ferrari, y M'Barek, 2019).

El desperdicio de alimentos, en ocasiones aún aptos para consumo, supone una amenaza a la sostenibilidad y a la seguridad alimentaria, y contribuye al cambio climático y a la escasez de agua (Bagherzadeh, Inamura, y Jeong, 2014). Estas pérdidas evitables ocurren a todos los niveles de la cadena de suministro de alimentos, por lo que se hace esencial implicar a todos los actores involucrados para tratar de reducirlo, estimulando las actuaciones responsables (Göbel, Langen, Blumenthal, Teitscheid, y Ritter, 2015). En Europa, el desperdicio de alimentos se corresponde con 88 millones de toneladas, o lo que es lo mismo, casi 175 kg por persona y año, lo que está valorado en unos 143 billones de euros (Stenmarck et al., 2016).

La venta al consumidor constituye el eslabón con mayor potencial para reducir el desperdicio, al permitirse en este nivel equilibrar la oferta y la demanda, y controlar la distribución de alimentos, incluido el sector de la panadería (Dreyer, Dukovska-Popovska, Yu, y Hedenstierna, 2019). Un estudio realizado en Suecia apunta a que un correcto manejo de los residuos de frutas y verduras, cárnicos y pan, podría reducir el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (Eriksson, Strid, y Hansson, 2015), siendo estos alimentos los que mayor huella medioambiental presentan (Brancoli, Rousta, y Bolton, 2017).

Las soluciones ante este desafío van desde destinar alimentos a servicios sociales, optimizar la planificación de la demanda, hasta el empleo de desperdicios en la industria, siendo, lo menos deseable, la incineración y llevada a vertedero de los mismos (Giroto, Alibardi, y Cossu, 2015). Los vertederos son el destino más habitual para los residuos sólidos, implicando estos un impacto económico y medioambiental negativo (Muhammad y Rosentrater, 2020). En los países más desarrollados, se trata de seguir un enfoque de "reducción, reutilización y reciclado", aunque en el sector de la alimentación su implementación es reducida por su dificultad (Redlingshöfer, Barles, y Weisz, 2020).

Los factores a destacar en el desperdicio de pan por parte del consumidor son la frecuencia y el acceso a panaderías, el precio y calidad del pan, las condiciones socioeconómicas de los hogares, edad y miembros del hogar (Shahnoushi, Saghaian, Reed, Firoozzare, y Jalerajabi, 2013). Las diferentes etapas que conlleva su puesta en el mercado, desde el cultivo de trigo hasta su llegada al comercio, provocan emisiones de gases de efecto invernadero, ocupación de terreno, y una huella hídrica y energética (López-Avilés, Veldhuis, Leach, y Yang, 2019) y contribuyendo a procesos como la acidificación y eutrofización de ecosistemas (Andersson y Ohlsson, 1999). El envasado del pan también presenta un impacto medioambiental negativo (Heller, Selke, y Keoleian, 2019).

En España no se ha puesto cifras al desperdicio de pan, si bien se estima que se desperdician 2,9 millones de toneladas de alimentos al año, siendo el pan, tras las frutas y verduras, el producto que más hogares reconocen desechar, un 59%, principalmente por el endurecimiento o deterioro del mismo (AECOC, 2017).

Con respecto a otros países europeos, en los Países Bajos, un 22% del total de desperdicios sólidos alimentarios generados se corresponde al pan (van Dooren, Janmaat, Snoek, y Schrijnen, 2019). En el Reino Unido, un 10% de los residuos son productos de panadería, y se desecha un 32% del pan adquirido para consumo doméstico (WRAP, 2011). Otros ejemplos son Suecia, con pérdidas del 5-10% en los puntos de venta, 10-16% en restaurantes y comedores, y del 13% en los hogares (Brancoli, Lundin, Bolton, y Eriksson, 2019), y Noruega, con sobras estimadas un 59% en los hogares y un 41% para los puntos de venta (Svanes, Oestergaard, y Hanssen, 2018).

Durante el almacenamiento, el pan sufre una serie de cambios. Se afectan su textura, sabor, aroma, aspecto y contenido en almidón soluble, que hacen que el consumidor lo suponga deteriorado, a pesar de continuar siendo un producto sano y nutritivo (Melikoglu y Webb, 2013). A pesar de ello, la culpa por el desaprovechamiento del alimento, sin embargo, no es enteramente atribuible a los consumidores. El pan es un producto de una vida útil muy corta, que ronda el día, por lo que pequeños errores de previsión en la producción pueden causar que el pan no pueda ser vendido por su pérdida de calidad comercial (Mena, Adenso-Díaz, y Yurt, 2011). Además, las prácticas comerciales ejercidas por ciertos agentes poderosos en la cadena de suministro pueden incrementar el volumen de producto que deba ser finalmente desechado (Ghosh y Eriksson, 2019). En último lugar, la reducción en el número de tiendas de proximidad provoca que se incremente el desperdicio alimentario (Belavina, 2020).

A nivel industrial, se pueden llevar a cabo una serie de acciones para aumentar la vida útil del pan y así limitar las pérdidas. Por ejemplo, actuar sobre la formulación, para ralentizar el endurecimiento, o sobre el envasado, para inhibir el enmohecimiento o la oxidación del producto (Pasqualone, 2019). El crecimiento de moho es el fenómeno que provoca las mayores pérdidas en panes envasados industriales (Axel, Zannini, y Arendt, 2017). Aun así, grandes cantidades de pan son desperdiciadas.

La necesidad de reaprovechamiento ya ha sido plasmada en varios estudios, que tratan de buscar usos alternativos a los desperdicios de pan, y estos no se limitan únicamente a la industria alimentaria. Es importante destacar que la Comisión Europea, en el caso de que no se puedan eliminar los desperdicios alimentarios, aconseja como prioridad destinarlos a alimentación humana, bien directamente o tras su conversión en nuevos productos (Comisión Europea, 2008).

Debido a su elevado contenido en hidratos de carbono, se pueden destinar a digestión anaeróbica. Se posicionan como una fuente de azúcares fermentables, precursores para la obtención de productos de valor añadido por fermentación (Sükrü Demirci, Palabiyik, Gümüs, y Özalp, 2017), como hidrógeno y etanol (Han et al., 2017), y se ha propuesto su empleo para producir energía, por medio de fermentación láctica y fotofermentación (Adessi et al., 2018). También ha sido estudiada la producción de espuma de carbón activo (Cao, Gao, y Ma, 2019), la de emulsionantes biológicos (Patowary, Das, Patowary, Kalita, y Deka, 2019), bioplásticos (Arancon, Lin, Chan, Kwan, y Luque, 2013) y la de hojas de grafeno (Panahi-Kalamuei, Amiri, y Salavati-Niasari, 2020). Otra alternativa es la producción de ácido succínico (Leung, Cheung, Zhang, Lam, y Lin, 2012) y de solventes más sostenibles (Yu et al., 2018), que hagan de la industria química un sector con un menor impacto ambiental. Con respecto a los productos de digestión aplicables a alimentación humana, existen varios ejemplos a destacar. En este sentido, cabe nombrar la producción de enzimas como proteasas y α -amilasas (Benabda, M'Hir, Kasmi, Mnif, y Hamdi, 2019), o levaduras industriales (Benabda, Kasmi, Kachouri, y Hamdi, 2018). Otra aplicación estudiada es la biosíntesis de goma xantana (Demirci, Palabiyik, Apaydin, Mirik, y Gumus, 2019) y de biocolorantes, además de permitir la recuperación de azúcares y aminoácidos (Haque, Kachrimanidou, Koutinas, y Lin, 2016).

El alto contenido en materia seca del pan hace que el empleo en alimentación de sus residuos se posicione como una alternativa más adecuada frente a otras como la incineración o la digestión anaeróbica de los mismos (Vandermeersch, Alvarenga, Ragaert, y Dewulf, 2014). Las dos últimas, generan gas metano y mal olor, y consumen

energía (Arancon et al., 2013). Las instituciones europeas sugieren destinar los desperdicios de alimentos a alimentación animal, cuando no pueda hacerse a alimentación humana. Su impacto ambiental no es tan alto como el de otras alternativas, sin embargo, muchos alimentos no pueden destinarse a alimentación animal por razones sanitarias (Saleemdeen, zu Ermgassen, Kim, Balmford, y Al-Tabbaa, 2017).

No existe una amplia literatura científica sobre el aprovechamiento de los residuos de pan para alimentación humana. También se ha estudiado el comportamiento de los residuos de pan como cultivos iniciadores para las masas madre, incrementado estos rápidamente la acidez de las masas (Gélinas, McKinnon, y Pelletier, 1999). Con respecto a las bebidas, los restos de pan están siendo empleados actualmente para la producción de cerveza (Connolly, 2019) y a elaboración de alcohol (Choi, Chung, Seib, y Chung, 1995). Se ha propuesto finalmente el empleo de desechos de pan para la elaboración de extrusionados tipo snack (Samray, Masatcioglu, y Koksel, 2019). Y es que, a pesar de los procesos de reaprovechamiento expuestos anteriormente, la recogida de desperdicios es problemática, por lo que se recomienda poner en marcha medidas de concienciación, económicas y legislativas, también a nivel doméstico, a la medida de lo posible (Schanes, Dobernig, y Gözet, 2018; Thyberg y Tonjes, 2016).

Durante los procesos de panificación, las harinas sufren una serie de cambios, expuestos a continuación: el almidón recién horneado está fuertemente gelatinizado, en mayor medida en el interior de las piezas, y con el almacenamiento y la refrigeración, la gelatinización disminuye en el proceso de retrogradación (Rusinek, Gancarz, y Nawrocka, 2020). La desecación rápida de la corteza al comienzo del horneado hace que se reduzca la gelatinización del almidón por falta de humedad (Martínez, Román, y Gómez, 2018), y a esto hay que añadir las reacciones de Maillard que en esta se generan entre los azúcares reductores y los aminoácidos, modificando su color, sabor y aroma (Pico, Bernal, y Gómez, 2015). Con respecto a las proteínas del gluten, al aumentarse gradualmente la temperatura en el horno, se observa un cambio hasta una estructura esponjosa, debida a la desnaturalización proteica, provocando que se fije la forma y tamaño del pan (Ortolan y Steel, 2017). El tipo de harina empleada también repercute, pues las masas formadas con harinas integrales presentan menor capacidad de acumular estrés que las blancas, lo cual provoca una menor hidratación del almidón, afectando esto a la expansión y porosidad del pan (Lapčíková, Burešová, Lapčík, Dabash, y Valenta, 2019). Durante el almacenamiento, las diferencias en la firmeza responden a la hidratación, hinchamiento, dispersión y reasociación de los gránulos de almidón, afectados por el calentamiento aplicado en el horneado (Patel, Waniska, y Seetharaman, 2005).

El comportamiento de las harinas obtenidas de panes endurecidos, en especial de las migas, podría un comportamiento análogo al de las harinas pregelatinizadas, debido a la gelatinización del almidón durante el horneado del pan. Estas presentan mayor capacidad de retención de agua y espesado, capacidad emulsificante y una mayor reactividad hacia enzimas hidrolíticas, entre otros aspectos (Gómez y Martínez, 2016). Incorporar pequeñas cantidades de estas harinas podría incrementar los rendimientos en panes elaborados con harina de trigo, al mejorarse la hidratación de las masas y la retención de humedad en el horneado (Martínez, Oliete, y Gómez, 2013).

2. Objetivos y plan de trabajo

El objetivo del presente trabajo es estudiar las características de las harinas obtenidas a partir de distintos panes endurecidos o desecados. Estos panes se diferencian por su formulación, hidratación o tamaño de las piezas. Así mismo se estudiarán las diferencias entre las harinas obtenidas a partir de las migas de estos panes y de sus cortezas. En base a los resultados obtenidos se podrán obtener harinas de panes regulares al separar aquellos tipos de panes que den características muy diferentes o al separar migas y cortezas si estas fueran muy diferentes. Así se podrían obtener productos regulares u homogéneos a partir de estas harinas, valorizando los restos de pan.

Para conseguir este objetivo, se adquirieron panes de trigo de 8 variedades diferentes, siendo estas, barra tradicional, barra tradicional con aditivo, barra integral, pan candeal, chapata, pan rústico u hogaza, pulguitas o mini panes, y pan de molde; y, tras su compra, fueron separados en miga y corteza, secados, y molidos, obteniéndose así 16 harinas, sobre las cuales se llevó a cabo la caracterización. Los parámetros estudiados fueron el tamaño de partícula, microestructura y color de las harinas, las propiedades de hidratación, tanto en frío como en caliente, el análisis RVA y las propiedades de los geles formados, que incluyen tanto color como textura.

3. Materiales y métodos

3.1. Materiales

Los panes utilizados en el estudio se adquirieron en Carrefour (Palencia, España), y se empleó harina de fuerza marca Carrefour. La formulación de los diferentes panes puede consultarse en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de los panes adquiridos.

| | Barra integral | Barra tradicional | Barra tradicional con aditivo | Chapata | Mini panes | Pan candeal | Pan de molde | Pan rústico |
|---------------------|----------------|-------------------|-------------------------------|---------|------------|-------------|--------------|-------------|
| Aceite de girasol | | | | | | | X | |
| Azúcar | | | | | | | X | |
| Emulgentes | X | | X | | X | X | X | |
| Enzimas | X | | X | | | X | | X |
| Extractos vegetales | X | | | | | | | |
| Gluten de trigo | X | | | | | | | |
| Harina de trigo | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Harinas malteadas | | X | | X | | | | |
| Levadura | X | X | | X | X | X | X | X |
| Masas madre | | | X | X | | | | |
| Otros aditivos* | X | | X | X | | X | X | X |
| Sal | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Semillas | X | | | | | | | |

*Antioxidantes, conservantes, correctores de acidez, agentes de tratamiento de la harina y antiaglomerantes.
Con X se muestran los ingredientes, aditivos y enzimas que los diferentes tipos de panes contienen

Para la realización de los análisis, se separó la miga y la corteza del pan, y se dejaron secar en bandejas a temperatura ambiente durante 24 h, a 20-24°C, siendo posteriormente molidas en un molino de martillos LM 3100 con un tamiz de 1000 micras (Pertin Instruments, Huddinge, Suecia). Se analizaron dos panes de cada tipo, adquiridos en días distintos.

3.2. Métodos

3.2.1. Tamaño de partícula, microestructura y color de las harinas

El tamaño de partícula de las harinas fue evaluado empleando un analizador de tamaño de partícula Masterseizer 3000 (Malvern Instruments, Malvern, Reino Unido). Los valores de D[4,3] representan el diámetro esférico equivalente, en micrómetros, de las partículas. Las mediciones se realizaron por duplicado.

Las fotografías de las partículas de harina se tomaron con un microscopio electrónico de barrido (SEM), Quanta 200FEI (Hillsboro, Oregón, EE.UU.). Las microfotografías fueron obtenidas en modo de detección de electrones secundarios a 3 KeV en modo alto vacío con un detector de electrones retrodispersados (BSED).

El color de las harinas fue medido con el colorímetro PCE-CSM 2 (PCE Instruments, Meschede, Alemania) empleando un iluminante D65 con un ángulo estándar de observador de 2°. Los valores de las mediciones se expresan en los espacios de color L*a*b* y L*C*h, definidos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE, por sus siglas en francés). Todas las harinas se midieron por duplicado.

3.2.2. Propiedades de hidratación

3.2.2.1. En frío

La capacidad de retención de agua (WHC, por sus siglas en inglés) se define como la cantidad de agua retenida por la muestra en ausencia de estrés. Se siguió la metodología utilizada por de la Hera et al. (2013), con ciertas modificaciones. 100 ml de agua destilada se añadieron a 5 g ($\pm 0,1$ g) de muestra, dejándose hidratar 24 horas. El sólido hidratado fue pesado tras retirarle el exceso de agua. Las mediciones se llevaron a cabo por duplicado, y los valores finales se calcularon con esta fórmula:

$$WHC \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{g \text{ de agua retenida}}{g \text{ de muestra seca}}$$

El volumen de hinchamiento (SV, por sus siglas en inglés) es definido como el incremento de volumen ocupado por una cantidad conocida de muestra tras sufrir hidratación. Este incremento es medido a las 24 h, siguiéndose el mismo procedimiento que para WHC. Las mediciones se realizaron por duplicado y los valores finales se obtuvieron del modo siguiente:

$$SV \left(\frac{ml}{g} \right) = \frac{\text{volumen de muestra hidratada}}{g \text{ de muestra seca}}$$

La capacidad de fijación de agua (WBC, por sus siglas en inglés) es la cantidad de agua absorbida por una muestra tras ser sometida a centrifugación. Fue medida por el procedimiento descrito en el método 56-30.01 (AACC, 2012) con modificaciones, y por duplicado. Se usaron 5 g ($\pm 0,1$ g) de muestra y 25 ml de agua destilada. Las condiciones de centrifugación fueron 2000 rpm durante 10 min, expresándose los valores finales medidos transcurrido ese tiempo de la siguiente manera:

$$WBC \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{g \text{ de agua retenida}}{g \text{ de muestra seca}}$$

3.2.2.2. En caliente

Las pruebas de retención de agua en caliente se determinaron siguiendo el método descrito por Rosell et al. (2011) con modificaciones. Se midieron los parámetros de índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI) y el poder de hinchamiento (SP), nombrándose estos por sus siglas en inglés. 2,5 g ($\pm 0,1$ g) de muestra fueron dispersados en 30 ml de agua destilada en tubos Falcon, y se calentaron a 90 °C durante 15 min. Tras ello, la muestra hidratada y calentada se dejó refrigerar durante 1 h. Posteriormente, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 min a 4 °C. Por último, el sobrenadante resultante fue decantado, y el residuo del tubo Falcon se pesó. El peso de los sólidos secos se midió tras la evaporación del sobrenadante a

110 °C durante 24 h. Las mediciones se realizaron por duplicado, y las fórmulas empleadas fueron:

$$WAI \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{g \text{ de sedimento}}{g \text{ de muestra}}$$

$$WSI \left(\frac{g}{100 g} \right) = \frac{g \text{ de sobrenadante seco}}{g \text{ de muestra}} \cdot 100$$

$$SP \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{g \text{ de sedimento}}{(g \text{ de muestra} - g \text{ de sobrenadante seco})}$$

3.2.3. Análisis RVA

El análisis RVA de las harinas se realizaron con un equipo Rapid Visco[®] Analyser RVA-4C (Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia). Se siguió el método 76-21.01 (AACC, 2012) con modificaciones, para permitir la formación de geles, cuyo estudio se trata posteriormente. 5 g de muestra se adicionaron a 25 ml de agua. Se realizó también el análisis con 12 g de muestra, a una temperatura de 30°C mantenida durante 15 min. La mezcla fue calentada hasta los 50 °C durante 1 min, y luego hasta los 95 °C, con un incremento de temperatura de 12 °C/min. Alcanzados los 95 °C, la temperatura se mantuvo 2,5 min, tras los cuales, la suspensión se enfrió hasta alcanzar 30 °C al final del análisis, transcurridos 15 min. La velocidad de giro de la pala fue de 960 rpm durante los primeros 10 s del análisis, y posteriormente mantenida a 160 rpm durante todo el proceso. Ambos análisis se realizaron por duplicado.

3.2.4. Propiedades del gel

Los geles fueron obtenidos tras la realización del análisis RVA con 5 g de harina (apartado 3.2.3.). Para permitir su estudio, los geles se colocaron en soportes plásticos.

3.2.4.1. Color de los geles

El color de los geles se midió como se indica en el apartado 3.2.1.

3.2.4.2. Textura de los geles

Textura de los geles fue medida con el analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido), equipado con el software "Texture Expert". Se realizó un ensayo de penetración, en el cual una sonda P/6 (SMS Genuine Parts) penetra 5 mm el gel, con una velocidad de ensayo de 0,5 mm/s (1 mm/s como velocidad pre- y post- ensayo) y una distancia de bajada de 40 mm, con el objetivo de conocer la fuerza de gel. Las mediciones se realizan por duplicado.

3.2.5. Análisis estadístico

Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) simple y multifactorial. Los resultados del presente trabajo se expresan con el ANOVA multifactorial al no haberse encontrado interacciones significativas y permitir una mayor claridad en la exposición de los efectos. También se realizó un estudio de las correlaciones. El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo utilizando Centurion XVIII (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, EE.UU) para Windows.

4. Resultados y discusión

4.1. Tamaño de partícula, microestructura y color de las harinas

El tamaño medio de partícula, representado por $D[4,3]$, y presente en la tabla 2, es mayor para las harinas obtenidas de panes que para la harina de trigo, doblando muchas de ellas su valor. Las harinas procedentes de migas y de cortezas no presentan diferencias estadísticamente significativas. Con respecto a las harinas de los distintos tipos de pan, como valor máximo destaca la de barra integral con $233,75 \mu\text{m}$, y como mínimo la de pan de molde con $155,75 \mu\text{m}$, encontrándose los demás panes entre los $217,50 \mu\text{m}$ de la barra tradicional y los $191,50 \mu\text{m}$ de la barra tradicional con aditivos, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ellas, a excepción de la de pan de molde.

El mayor tamaño de partícula presentado por las harinas de panes con respecto a la harina de trigo puede deberse al proceso de endurecimiento sufrido por los panes. En dicho proceso, se forman estructuras supramoleculares debidas a procesos de cristalización de polímeros, relacionados con la retrogradación del almidón (Gray y Bemiller, 2003). La diferencia de tamaño de partícula obtenida tras la molienda puede deberse a la composición particular de las piezas. La de pan de molde es la harina de pan con menor tamaño de partícula, lo que puede estar relacionado con la presencia de aceite en su composición, que puede facilitar la molienda al generar migas y cortezas más blandas (Kamel, 1992). En cuanto a la diferencia entre harina de migas y corteza, a pesar de las claras diferencias entre estas partes del pan, parece que los fenómenos diferenciales producidos durante la cocción no afectan a la dureza de estos productos, una vez secos, y las harinas obtenidas no presentan diferencias significativas en su tamaño de partícula.

La microestructura de algunas de las harinas estudiadas se muestra en el anexo I. Se han elegido las harinas de los panes que presentan mayores diferencias en su

composición y textura, además de la harina de trigo. Estas harinas son: de trigo, de barra tradicional con aditivo, de pan candeal, de barra integral y de pan de molde. Como norma general, se encontraron mayores diferencias estructurales entre las migas y las cortezas que entre los diferentes tipos de pan, si bien entre las harinas de pan de molde no se encontraron grandes diferencias entre la miga y la corteza. Esto puede deberse al hecho de que, en estos panes, cocidos en el interior de moldes, la parte externa de los panes presenta una mayor humedad durante la cocción, al retenerse el vapor de agua generado, lo que facilita la gelatinización del almidón. De hecho, en las harinas de migas, se observan bloques más o menos uniformes y compactos que se generan tras la gelatinización del almidón (Martínez, Oliete, y Gómez, 2013). En cuanto a las cortezas, se observan, con excepción de la de pan de molde, algunos gránulos de almidón intactos, y formas que se asemejan más a la harina original. Esto puede ser causado por la falta de agua para los fenómenos de gelatinización, ya que el agua presente en la masa se evapora rápidamente en el horneado (Martínez, Román, y Gómez, 2018). En la corteza del pan integral también se encontraron estructuras alargadas atribuibles a fibra alimentaria. La presencia de gránulos de almidón, en las harinas de corteza puede ser responsable de ciertas diferencias en las propiedades de hidratación, como explican Roman-Gutierrez et al. (2002), lo cual será discutido en el apartado 4.2. Por último, los diferentes parámetros estudiados para el color de las harinas se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultado de tamaño de partícula y color de las harinas.

| | L* | a* | b* | C* | h | D[4,3] |
|-------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Harina | 89,75±6,39 | 1,62±0,25 | 10,80±0,35 | 10,88±0,31 | 81,45±1,56 | 97,20±0,00 |
| Miga | 84,48 b | 3,20 a | 15,13 a | 15,52 a | 78,39 b | 206,19 a |
| Corteza | 81,15 a | 7,73 b | 21,40 b | 22,79 b | 70,39 a | 193,38 a |
| <i>Error</i> | 0,43 | 0,24 | 0,40 | 0,45 | 0,36 | 7,39 |
| Barra integral | 71,05 a | 8,95 c | 20,97 d | 22,82 c | 66,90 a | 233,75 b |
| Barra tradicional | 85,44 cd | 4,57 ab | 17,86 abc | 18,48 ab | 76,40 cd | 217,50 b |
| B. t. con aditivo | 83,87 bc | 5,75 b | 18,80 bcd | 19,74 b | 74,25 bc | 191,50 ab |
| Chapata | 84,25 bcd | 5,22 b | 18,81 bcd | 19,61 b | 75,43 bc | 197,75 ab |
| Mini panes | 86,62 d | 3,58 a | 16,49 ab | 16,89 a | 78,05 d | 192,25 ab |
| Pan candeal | 84,30 bcd | 5,22 b | 19,75 cd | 20,57 bc | 76,41 cd | 201,00 b |
| Pan de molde | 84,33 bcd | 5,07 b | 15,87 a | 16,72 a | 73,50 b | 155,75 a |
| Pan rústico | 82,68 b | 5,32 b | 17,55 abc | 18,41 ab | 74,19 b | 208,75 b |
| <i>Error</i> | 0,86 | 0,47 | 0,79 | 0,90 | 0,72 | 14,78 |

L* (Luminosidad). a* (eje verde-rojo). b* (eje azul-amarillo). C* (Saturación). h (Tono). D[4,3] (Diámetro medio de las partículas, en micras). *Los datos de la harina se muestran como la media aritmética y su desviación estándar. Dentro de cada columna, valores con la misma letra no presentan diferencias significativas (p < 0,05)*

La luminosidad (L^*) nos da una idea de lo clara u oscura que es la harina, siendo más claras las muestras con mayores valores de L^* . Las harinas de cortezas presentaron menores valores de L^* que las de las migas. Estas diferencias se deben a las reacciones de Maillard y caramelización de azúcares que ocurren en la corteza, debido a la mayor temperatura y menor humedad que se alcanza en el horneado en esta zona del pan (Purlis, 2010). Todas las harinas obtenidas de los panes presentan un menor valor de L^* que la harina de trigo comercial, estando estas en el rango comprendido entre 81,15, para las harinas de corteza, y 89,75, en el caso de la harina de trigo; excepto las harinas procedentes de la barra integral, con algo más de 71. Popov-Raljić et al. (2009), mostraron valores de luminosidad de harina similares para la miga de esta última pieza. Autores como Coda et al. (2004) indican que el salvado de trigo está detrás de la menor luminosidad de las harinas integrales. Los mini panes dieron las harinas con mayor L^* , seguido por la barra tradicional. Tras la barra integral, el pan rústico fue el que menor L^* presentó, aunque en general hay pocas diferencias significativas entre las harinas de los distintos panes. Las diferencias de luminosidad de los panes pueden, por tanto, trasladarse a las harinas obtenidas. La mayor parte de estas diferencias pueden deberse a las distintas condiciones de horneado de cada pan, lo que influye en el color generado en las cortezas a través de las reacciones de Maillard y caramelización de azúcares. Carocho et al. (2019), describe valores de L^* similares para cortezas de pan, si bien en su investigación estudiaron panes elaborados con diferentes cereales como el centeno o la avena, no solo de trigo, como en el actual trabajo. Estos valores se asemejan a los de las harinas de corteza.

El parámetro a^* (eje verde-rojo) muestra valores positivos para todas las mediciones, y por tanto tonos rojizos, si bien todas las harinas procedentes de panes superan a la de trigo comercial. La corteza presenta un mayor valor para este parámetro, más del doble, que la miga; y la barra integral está por encima del resto de panes, con 8,95. Las harinas del resto de panes presentan valores inferiores, que van de 4,57 a 5,75 (barra tradicional y barra tradicional con aditivo respectivamente), con la excepción de las harinas de mini panes, con 3,58, el menor de los valores medidos. Detrás de estos valores más elevados, especialmente en las cortezas, se encuentran, como ya se ha comentado, procesos como la reacción de Maillard o la caramelización de los azúcares, dependientes de los componentes del pan y de las condiciones de horneado (Ahrné et al., 2007).

El parámetro b^* (eje azul-amarillo), por su parte, también muestra valores positivos para todas las muestras estudiadas, y por tanto tonos amarillentos. La harina de trigo presenta el valor más pequeño de los estudiados. La corteza supera a la miga para este

parámetro, y, la barra integral, con 20,97, vuelve a ser el pan con un mayor valor. El pan de molde es esta vez el que menor valor presenta para este parámetro, 15,87.

4.2. Propiedades de hidratación

4.2.1. En frío

Como se aprecia en la tabla 3, se midieron tres propiedades de hidratación en frío para las muestras estudiadas.

La WHC de las harinas de panes fue muy superior, casi el doble, a la de la harina de trigo. Esto puede ser debido al mayor porcentaje de almidón dañado de estas harinas (Berton et al., 2002). No se observaron diferencias significativas entre las harinas de migas y de cortezas, pero sí entre las harinas de los diferentes panes. Así las harinas de pan de molde fueron las que tuvieron valores más bajos, mientras que las de los mini panes presentaron los valores más altos, si bien estas no se diferenciaron de las de barra tradicional. Por tanto, parece que los ingredientes y el sistema de procesado afecta a la WHC. En el caso de los panes de molde, la presencia de aceite y azúcar en su composición, y por tanto un menor peso del almidón, puede favorecer esta menor WHC. En cuanto a los mini panes, la mayor temperatura que se suele utilizar en el horneado de piezas pequeñas y la menor distancia entre el exterior y la zona central, puede haber alterado los cambios que se producen en el almidón, afectando a las WHC (Patel, Waniska, & Seetharaman, 2005).

La segunda fue el volumen de hinchamiento (SV). Lever et al. (2005) apoyan que SV es el factor de calidad con mayor relación con el volumen de las piezas obtenidas. No se han encontrado diferencias significativas entre el SV de las harinas de miga y de corteza, siendo ambas mayores que las de la harina, como ocurre con las WHC. Al igual que se observa en la WHC, las harinas de panes de molde fueron las que obtuvieron menores valores de SV y las de mini panes y barra tradicional las que obtuvieron mayores valores. Por tanto, los factores que influyen en la WHC parecen ser los mismo que afectan al SV. Crosbie et al. (2007) indican que SV es debido a los componentes amiláceos de la harina, lo cual podría estar detrás de los menores resultados obtenidos para la harina de molde, con mayor proporción de aceite.

Como en el WHC, las harinas de trigo presentan menores valores de WBC, y no se observan diferencias significativas entre miga y corteza. Sin embargo, en este caso apenas existen diferencias significativas entre las harinas de panes, y solo la harina de pan de molde tiene un valor inferior a la del resto de panes. Parece que la absorción de agua de estas harinas tiende a igualarse cuando se aplica un estrés para liberar el agua menos sujeta a los componentes de la harina, pero la dilución del almidón con otros

ingredientes, como aceite y azúcar parece afectar a esta propiedad. Detrás de esta propiedad de hidratación podría estar la solubilidad de los polisacáridos presentes en las diferentes harinas elaboradas (Belorio et al., 2020).

La estructura del pan puede determinar las dinámicas de hidratación de estos (Mathieu et al., 2016) y, potencialmente, de las harinas obtenidas. Patel et al. (2005) expone que, para la miga, la capacidad de hidratación decrece según aumenta la temperatura aplicada durante el horneado, debiéndose esto, entre otros factores, a los procesos de gelatinización de los gránulos de almidón.

4.2.2. En caliente

Los tres parámetros que se corresponden con las propiedades de hidratación en caliente pueden consultarse en la tabla 3 y son: índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI) y poder de hinchamiento (SP).

Tabla 3. Resultado de las propiedades de hidratación de las harinas.

| | Caracterización en frío | | | Caracterización en caliente | | |
|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|
| | WHC | SV | WBC | WAI | WSI | SP |
| Harina | 1,39±0,21 | 2,23±0,02 | 0,92±0,01 | 4,57±0,01 | 4,79±0,36 | 4,80±0,01 |
| Miga | 3,15 a | 3,84 a | 1,95 a | 4,39 a | 12,89 b | 4,90 a |
| Corteza | 3,18 a | 3,84 a | 2,05 a | 4,69 b | 11,67 a | 5,30 b |
| Error | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,23 | 0,10 |
| Barra integral | 2,95 b | 3,83 bc | 2,02 b | 4,08 a | 13,73 c | 4,72 ab |
| Barra tradicional | 3,50 de | 4,11 cd | 2,26 b | 4,80 cd | 10,91 a | 5,38 cd |
| B. t. con aditivo | 3,24 bcd | 3,96 bcd | 2,05 b | 4,49 b | 12,81 bc | 5,14 abc |
| Chapata | 3,00 b | 3,71 b | 1,99 b | 5,04 d | 13,37 c | 5,81 d |
| Mini panes | 3,66 e | 4,29 d | 2,03 b | 4,65 bc | 11,41 a | 5,25 bcd |
| Pan candeal | 3,31 cd | 3,92 bc | 2,00 b | 4,67 bc | 11,58 ab | 5,27 bcd |
| Pan de molde | 2,53 a | 3,20 a | 1,60 a | 4,00 a | 13,74 c | 4,64 a |
| Pan rústico | 3,10 bc | 3,68 b | 2,05 b | 4,61 bc | 10,69 a | 4,60 a |
| Error | 0,1 | 0,11 | 0,1 | 0,10 | 0,46 | 0,19 |

WHC (Capacidad de retención de agua). SV (Volumen de hinchamiento). WBC (Capacidad de fijación de agua). WAI (Índice de absorción de agua). WSI (Índice de solubilidad en agua). SP (Poder de hinchamiento). Los datos de la harina se muestran como la media aritmética y su desviación estándar. Dentro de cada columna, valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

El WAI de la harina de trigo es mayor al que presentan las harinas elaboradas con miga de pan, y menor al de las obtenidas de las cortezas. La harina de trigo supera para este parámetro a la harina de barra integral, a la de pan de molde y a la de barra tradicional con aditivo. La harina de chapata destaca, seguido por la barra tradicional. Autores como Han et al. (2011) exponen que, en el caso de las harinas de arroz, valores bajos de WAI indican una buena aptitud para la panificación. Se puede concluir, por tanto, que la harina de trigo, y las harinas cuyo valor más se aproxime al de esta, son las más interesantes para este fin.

Por su parte, el WSI de la harina de trigo es el más bajo de los registrados. Las harinas de miga superan a las de corteza para el parámetro tratado. Con respecto a las harinas de los diferentes panes, el pan rústico y la barra tradicional son los que presentan menor WSI, frente a la barra integral, la chapata y el pan de molde. WSI es considerado como un indicador del grado de degradación de los componentes moleculares de la harina (Gondek et al., 2013). Esto puede explicar el mayor valor de las harinas de migas, que han sufrido una mayor alteración durante el proceso de panificación. Autores como Gujral et al. (2008) defienden que los cambios estructurales en los gránulos de almidón ocurridos durante la gelatinización, así como procesos de retrogradación, responden a la reducción del WAI y del WSI. Matos y Rosell (2012) expresan que las propiedades de hidratación se correlacionan positivamente con parámetros texturales como la cohesividad y la resiliencia. A diferencia de lo que ocurre con las propiedades de hidratación en frío, no se observan diferencias entre las WAI y WSI de la harina de trigo y las de las harinas de panes. Esto puede ser debido a que en este caso el almidón de la harina de trigo ha sido gelatinizado, de manera similar a lo que ocurre en el proceso de panificación, y por tanto en las harinas de panes. En este caso, las harinas de corteza presentan mayores valores de WAI y WSI que las de las migas, lo que nos puede indicar que algún componente generado en las reacciones de Maillard puede tener una mayor capacidad de retención de agua. Sorprende el hecho de que los valores de WSI de la harina de trigo sean muy inferiores a los de las harinas de panes, y en este caso los valores de la corteza son inferiores a los de la miga. El paso de sustancia seca al sobrenadante es mayor en las harinas de panes, lo que puede indicar una mayor degradación de sus componentes con el tiempo transcurrido tras la gelatinización, o tras la molturación.

Por último, se discutirán los resultados obtenidos para el SP. De nuevo, la harina de trigo presentó el valor más bajo, sin embargo, las harinas de corteza presentaron mayor SP que las de miga. Entre las harinas de panes, cabe destacar la de menor SP, es decir, el pan rústico, y la de mayor SP, la chapata. El contenido de amilosa se correlaciona negativamente con este parámetro, pero una elevada proporción de cadenas largas de amilopectina lo hace positivamente (Sasaki y Matsuki, 1998). Como en el caso del parámetro anterior, la mayor alteración de las harinas de miga puede explicar los valores obtenidos, por eso presentan un valor más bajo que las harinas de corteza. Por tanto, una menor presencia de almidón parece estar relacionada con una menor capacidad de retención de agua en caliente.

4.3. Análisis RVA

En la tabla 4 se incluyen los valores de pico de viscosidad máxima, tiempo para viscosidad máxima, rotura, viscosidad de caída, retrogradación y viscosidad final para 5 g de harina. Para facilitar la comprensión del análisis, se representa gráficamente el comportamiento viscoso de las harinas durante la prueba (figura II.1., anexo II).

En el pico de viscosidad máxima encontramos en una posición destacada a la harina de trigo. Para este mismo parámetro, las harinas de corteza superan a las de miga; y, en las harinas de pan, las de barra tradicional y de pan candeal son las que más destacan, mostrando los valores más pequeños las de pan de molde y de barra integral. Storck et al. (2013) exponen que, a mayor contenido en proteínas de las masas, menor pico de viscosidad máxima registrado. Esto es debido a que contenidos elevados de proteínas reducen el hinchamiento de los gránulos de almidón, reduciendo el pico (Barak et al., 2013). De nuevo, el contenido en salvado y en aceite de la barra integral y del pan de molde estarían detrás del menor pico de viscosidad máxima para estas.

Tabla 4. Resultado del análisis RVA empleando 5 g de muestra.

| Harina | Pico de viscosidad máxima (cP) | Tiempo para viscosidad máxima (min) | Rotura (cP) | Viscosidad de caída (cP) | Retrogradación (cP) | Viscosidad final (cP) |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Harina | 6303 | 6,07 | 3041 | 3262 | 3011 | 6273 |
| Miga | 1586,56 a | 6,52 b | 170,63 a | 1415,94 a | 1049,88 a | 2465,81 a |
| Corteza | 1722,88 b | 6,05 a | 240,63 b | 1482,25 a | 1289,13 b | 2771,38 b |
| <i>Error</i> | 29,98 | 0,04 | 10,08 | 28,63 | 29,12 | 52,20 |
| Barra integral | 598,00 a | 6,27 b | 58,75 a | 539,25 a | 475,25 a | 1014,50 a |
| Barra tradicional | 2589,50 e | 6,30 bc | 295,00 d | 2294,50 e | 1559,25 d | 3853,75 e |
| B. t. con aditivo | 1702,00 c | 6,33 bc | 203,25 bc | 1498,75 c | 991,25 b | 2490,00 c |
| Chapata | 1343,25 b | 5,87 a | 196,25 bc | 1147,00 b | 827,50 b | 1974,50 b |
| Mini panes | 1805,00 cd | 6,50 c | 193,25 bc | 1611,75 cd | 1255,00 c | 2866,75 d |
| Pan candeal | 1966,50 d | 6,34 bc | 288,25 d | 1678,25 d | 1191,50 c | 2869,75 d |
| Pan de molde | 1423,50 b | 6,27 b | 240,75 cd | 1182,75 b | 1860,25 e | 3043,00 d |
| Pan rústico | 1810,00 cd | 6,40 bc | 169,50 b | 1640,50 cd | 1196,00 c | 2836,50 d |
| <i>Error</i> | 59,96 | 0,07 | 20,15 | 57,25 | 58,23 | 104,40 |

Los datos de la harina se muestran como su media aritmética. Dentro de cada columna, valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

El tiempo para alcanzar la viscosidad máxima es menor para las harinas de corteza que para las de miga, y más similar al de la harina de trigo. En las harinas de pan, los mini panes son los que mayor tiempo registraron y la chapata la que menos. De manera general, las harinas con mayor concentración de proteína necesitan más tiempo para alcanzar la viscosidad máxima (Barak et al., 2013). Por otro lado, existe una correlación positiva entre la presencia de fibra insoluble en las harinas y la reducción del tiempo para alcanzar la viscosidad máxima (Bonnand-Ducasse et al., 2010).

En el parámetro de rotura, la harina de trigo se diferencia ampliamente del resto, parámetro en el cual las harinas de corteza registraron mayor valor que las de miga; y las harinas de panes marcaron la mayor rotura con la de barra tradicional y pan candeal, y la menor con la de barra integral. Además de la influencia de las proteínas, expuesta para otros parámetros, un mayor contenido en compuestos amiláceos puede conducir a un mayor valor de rotura (Sarker et al., 2008).

En la viscosidad de caída vuelve a destacar la harina de trigo. Las harinas de miga y de corteza no difieren significativamente; y en las de panes se diferencia la de barra tradicional con el mayor valor, seguida por el pan candeal, y, con los valores más bajos encontramos la de chapata, pan de molde y barra integral. El interés de este parámetro radica en que harinas con valores elevados dan lugar a piezas de mayor volumen y de texturas más suaves (Barak et al., 2013).

La retrogradación es superior en la harina de trigo que en el resto de muestras; las harinas de corteza muestran mayor retrogradación que las de miga, y, en las de panes, las más destacadas en este parámetro son la de pan de molde y la de barra tradicional, y las menos destacadas las de barra tradicional con aditivo, chapata y, sobre todo, barra integral, siendo reseñable el valor de retrogradación de las harinas pan de molde, al ser este el único punto en el que estas sobresalen. Con respecto al almidón, en este proceso se observa una disgregación de las cadenas de amilosa y amilopectina, que se asocian para formar geles y estructuras más ordenadas (Wang et al., 2015). La mayor retrogradación presentada por las harinas puede deberse a que es posible encontrar en la corteza del pan gránulos de almidón, mientras que en la miga solo se encuentran restos de los mismos (Primo-Martín et al., 2007).

El último parámetro analizado fue la viscosidad final, para el cual se registraron mayores mediciones para la harina de trigo que para las harinas de corteza y para las de miga, siendo mayores en el caso de las cortezas. En las harinas de pan, valores desde el máximo de la barra tradicional hasta el mínimo para la barra integral. Este parámetro es considerado dependiente del contenido de almidón, y aumenta por la agregación de moléculas de amilosa, existiendo una correlación positiva con el contenido de almidón dañado (Barak et al., 2013). El empleo en panificación de harinas con almidón retrogradado reduce la viscosidad final y afecta negativamente a la calidad del pan (Hibi, 2001). Por último, altas concentraciones de proteínas pueden reducir los valores de viscosidad final (Storck et al., 2013).

Del comportamiento viscoso de las muestras durante el análisis RVA pueden destacarse, al menos, cuatro tendencias generales: (1) la harina de trigo es la que mayor

viscosidad presenta, tanto frente a las harinas de miga como frente a las de corteza, (2) las harinas procedentes de la barra integral son las que menor viscosidad muestran durante el análisis, (3) las harinas de la barra tradicional y (4) las harinas de panes, con la excepción de la elaborada con barra integral, muestran un comportamiento viscoso similar, tanto en el caso de las cortezas como el de las migas.

Para concluir, los parámetros registrados en el análisis RVA con 12 g de muestra (tabla 5), mostraron un comportamiento diferente para las distintas muestras. En dicha tabla, se presentan el pico de viscosidad máxima y la viscosidad final para 12 g de muestra.

El pico de viscosidad máxima mostrado por la harina de trigo es muy inferior al de otras muestras; entre el valor medio para las harinas de miga y de corteza no hay diferencias estadísticamente significativas, y las harinas de pan registran una elevada variación entre ellas, registrándose los mayores valores para la de barra tradicional y los mínimos para la de pan de molde.

La viscosidad final también es mucho menor para la harina de trigo. Para este parámetro, la media de las harinas de miga tampoco es estadísticamente significativa de las de corteza; y los valores registrados en las muestras de harina de pan van desde el máximo de la harina de barra tradicional hasta el mínimo del pan de molde, siendo de nuevo estas dos harinas las que marcan los extremos. Para el análisis RVA con 5 g de muestra, las harinas de panes mostraban un comportamiento similar al presentado en el presente análisis.

Tabla 5. Resultado del análisis RVA empleando 12 g de muestra.

| Harina | Pico de viscosidad máxima (cP) Viscosidad final (cP) | |
|-------------------|---|-------------|
| | 206 | 138 |
| Miga | 5887,25 a | 6861,13 a |
| Corteza | 5842,63 a | 6284,69 a |
| <i>Error</i> | 562,71 | 562,34 |
| Barra integral | 3978,00 ab | 4883,75 ab |
| Barra tradicional | 9302,00 d | 10397,30 d |
| B. t. con aditivo | 6085,50 bcd | 6821,00 bc |
| Chapata | 7332,75 bcd | 8279,25 cd |
| Mini panes | 7591,00 cd | 7777,00 bcd |
| Pan candeal | 5625,50 bc | 6386,50 bc |
| Pan de molde | 1959,00 a | 2097,50 a |
| Pan rústico | 5045,75 abc | 5941,00 bc |
| <i>Error</i> | 1125,42 | 1124,69 |

Los datos de la harina se muestran como su media aritmética. Dentro de cada columna, valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los estudios de Collar (2003) ponen de manifiesto que estos parámetros medidos con los análisis RVA se relacionan con fenómenos como la pérdida de calidad del pan por endurecimiento. También están conectados, durante el calentamiento y posterior enfriado de las masas, con el hinchamiento, deformación, fragmentación y solubilización que afectan a las propiedades viscoelásticas de las mismas. Estas propiedades se ven a su vez afectadas por la composición de las harinas, especialmente por el contenido en pentosanos, ácidos grasos, emulgentes y proteínas residuales en los gránulos de almidón, entre otros. Blazek y Copeland (2008) reflejan, a su vez, la relevancia del contenido de amilosa, la presencia de complejos amilosa-lípidos, y la distribución de tamaños de cadena de la amilopectina. Collar et al. (2007) exponen que las propiedades físicas del almidón son altamente sensibles a las variaciones de temperatura en presencia de agua. Puede deberse a esto último los bajos valores registrados para la harina de trigo en este análisis, en comparación con las harinas de panes.

La gran diversidad existente entre los panes estudiados, y sus harinas resultantes, en cuanto a su composición, cantidad de ingredientes y aditivos, y su procesado, podría estar detrás de sus diferentes propiedades viscoelásticas a la hora de formar geles y masas. Ragaee y Abdel-Aal (2006) ponen de manifiesto que las harinas integrales muestran un menor comportamiento viscoso, lo que podría estar detrás de los menores valores de viscosidad registrados para las harinas procedentes de barras integrales.

4.4. Propiedades de gel

En la tabla 6 se muestran los parámetros de color y textura que presentaron los geles elaborados con las harinas estudiadas en el presente trabajo.

La luminosidad (L^*) más alta se consigue con las harinas de miga, por encima de las harinas de corteza, estando estas últimas a la par con la harina de trigo. En los geles de harina de pan, la mayor luminosidad la presenta la harina de mini panes, 68,64, y la menor la de barra integral, 54,51, estando el resto de valores entre 63,28 (pan rústico) y 65,98 (chapata).

En el eje verde-rojo (a^*), las harinas de miga presentan mayor tendencia hacia el verde, debido a su valor negativo, también mostrado por la harina de trigo, y las de miga hacia el rojo; y para los geles obtenidos de harinas de pan, los extremos los marcan mini panes, 0,07, y barra integral, 6,89, encontrándose el resto de mediciones entre 0,81 (barra tradicional) y 2,16 (pan de molde).

Por su parte, en el eje azul-amarillo (b^*) solo presenta valores positivos, y, en este sentido, tanto las harinas de corteza, 13,76, como las de miga, 5,86, superan a la de trigo, 4,74; y en las harinas de panes los valores están comprendidos entre 8,09 (barra

tradicional) y 9,91 (barra tradicional con aditivo), a excepción de los mini panes, 7,41, el pan candeal, 10,95, y la barra integral, 14,93.

Tabla 6. Resultado de dureza y color de los geles.

| | L* | a* | b* | C* | h | Dureza (N) |
|-------------------|-----------|---------|----------|-----------|------------|------------|
| Harina | 61,15 | -0,95 | 4,74 | 4,81 | 101,36 | 0,39 |
| Miga | 67,14 b | -0,14 a | 5,86 a | 6,08 a | 96,74 b | 0,20 a |
| Corteza | 61,14 a | 4,29 b | 13,76 b | 14,47 b | 73,83 a | 0,25 b |
| <i>Error</i> | 0,51 | 0,23 | 0,39 | 0,43 | 0,83 | 0,01 |
| Barra integral | 54,51 a | 6,89 c | 14,93 d | 16,45 d | 65,36 a | 0,03 a |
| Barra tradicional | 65,10 bc | 0,81 ab | 8,09 ab | 8,37 ab | 91,68 e | 0,29 e |
| B. t. con aditivo | 63,74 bc | 1,98 b | 9,91 bc | 10,37 bc | 87,04 bcde | 0,20 c |
| Chapata | 65,98 bcd | 1,22 ab | 9,19 abc | 9,51 abc | 90,03 cde | 0,23 cd |
| Mini panes | 68,64 d | 0,07 a | 7,41 a | 7,48 a | 91,52 de | 0,34 f |
| Pan candeal | 65,93 bcd | 2,02 b | 10,95 c | 11,34 c | 84,85 b | 0,38 g |
| Pan de molde | 66,72 cd | 2,16 b | 9,57 abc | 10,01 abc | 85,28 bc | 0,07 b |
| Pan rústico | 63,28 b | 1,42 ab | 8,42 ab | 8,68 ab | 86,53 bcd | 0,24 d |
| <i>Error</i> | 1,03 | 0,46 | 0,77 | 0,86 | 1,67 | 0,01 |

L* (Luminosidad). a* (eje verde-rojo). b* (eje azul-amarillo). C* (Saturación). h (Tono). Dureza de gel (en N). *Los datos de la harina se muestran como la media aritmética. Dentro de cada columna, valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)*

Existe una correlación positiva entre el color de las harinas de los panes y el color de los geles obtenidos de estas ($p < 0,001$): para L* $r = 0,9161$, para a* $r = 0,9740$, para b* $r = 0,9335$, para C* $r = 0,9474$ y para h $r = 0,9569$. Por tanto el color de los geles esta determinado por el color de las harinas a partir de las cuales se elaboran.

La harina de trigo genera geles con mayor dureza (0,39N) que las harinas de panes. Las harinas de cortezas, con 0,25 N, forman geles con mayor dureza que las de migas, 0,20 N. Las harinas de panes presentan un amplio rango de dureza de gel, con diferencias significativas entre la mayoría de las muestras, comprendido entre 0,03 N para las muestras de barra integral, hasta los 0,38 N del pan candeal. El pan de molde, a su vez, también presenta un bajo valor de dureza, 0,07 N, mientras que los geles de harina de mini panes, 0,34 N, y de barra tradicional, 0,29 N, mostraron valores elevados para el parámetro en cuestión.

La dureza de los geles depende de las reacciones de gelatinización y retrogradación del almidón que se producen en su preparación (Liu et al., 2020) Por tanto, deberían estar correlacionadas con las propiedades de hidratación en caliente.

En cuanto a las diferencias entre harinas de miga y corteza, como se ha explicado previamente, en la corteza hay una menor gelatinización de los almidones en el proceso

de panificación, por lo que en las harinas de corteza todavía quedan almidones con capacidad de gelatinizar, incrementar la capacidad de retención de agua tras el calentamiento, y generar pastas más viscosas y elásticas y geles más duros. La menor dureza de gel presentada por las harinas procedentes de panes con respecto a la de trigo puede deberse a los tratamientos previos sufridos por la harina durante los procesos de panificación, y especialmente a la gelatinización del almidón y a la desnaturalización de las proteínas. Autores como Martínez et al. (2013) expresan que las harinas pregelatinizadas, obtenidas por tratamientos hidrotérmicos, presentan menor fuerza de gel tras su calentamiento y posterior enfriamiento.

Con respecto a las diferencias entre los distintos panes, estas dependerán fundamentalmente de las diferencias en su composición. En el caso de los panes integrales, la presencia de las capas externas del grano, ricas en fibra, reducen la cantidad de almidón en el pan final, y por tanto su capacidad de formar geles (Noort et al., 2010). En el caso del pan de molde, la presencia de aceite y azúcar también puede debilitar la fuerza de los geles (Schmiele et al., 2012).

Gaines et al. (2000) apuntan a que la dureza de los geles de almidón se correlaciona positivamente con altos niveles de amilosa, pequeños gránulos de almidón y con una textura suave del salvado en caso de estar presente. Estas condiciones pueden estar detrás de las diferentes durezas de gel registradas para nuestras muestras. Los mayores valores de las harinas de panes candeales pueden deberse a la menor hidratación de estas masas y por tanto las dificultades para la gelatinización del almidón durante el proceso de panificación, especialmente en la corteza (Martínez et al., 2018). Y en el caso de los mini panes la mayor dureza de los geles puede estar relacionada con el mayor porcentaje de corteza, por su mayor área superficial.

5. Conclusiones

Las características de las harinas obtenidas de los panes endurecidos son, en términos generales, bastante similares. Por consiguiente, diferentes tipos de pan endurecido podrían emplearse de forma conjunta para obtener harinas con unas características homogéneas, permitiendo la elaboración de productos con una calidad que puede ser mantenida. Las excepciones a lo anterior serían piezas que contengan grasas o aceites, o salvado, dado que estos ingredientes podrían modificar las características de las harinas. También se ha probado que, a pesar de las diferencias de color y microestructura de miga y corteza, debidas especialmente a la reacción de Maillard y a la caramelización, estas diferencias no se trasladan de forma significativa al resto de

propiedades estudiadas. Finalmente, se puede concluir que el empleo del pan endurecido para la elaboración de harina se posiciona como una alternativa útil para la reutilización del pan desechado a escala industrial.

6. Agradecimientos

El autor agradece al programa FEDER-Interreg España-Portugal por el apoyo financiero a través del proyecto TRANSCoLAB 0612_TRANS_CO_LAB_2_P.

7. Bibliografía

- AACC International (2012). *Approved methods of Analysis*. 11th edition. AACC International. St. Paul (Minnesota, EE.UU.)
- Adessi, A., Venturi, M., Candelieri, F., Galli, V., Granchi, L., & De Philippis, R. (2018). Bread wastes to energy: Sequential lactic and photo-fermentation for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, *43*(20), 9569–9576.
- AECOC. (2017). *FOODWASTE : Hábitos de aprovechamiento de la alimentación en los españoles*. Disponible en: <https://www.aecoc.es/guias/foodwaste-habitos-de-aprovechamiento-de-la-alimentacion-de-los-espanoles/> (accedido: 07/11/20)
- Ahrné, L., Andersson, C.-G., Floberg, P., Rosén, J., & Lingnert, H. (2007). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Steam and falling temperature baking. *LWT - Food Science and Technology*, *40*(10), 1708–1715.
- Andersson, K., & Ohlsson, T. (1999). Life cycle assessment of bread produced on different scales. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *4*(1), 25–40.
- Arancon, R. A. D., Lin, C. S. K., Chan, K. M., Kwan, T. H., & Luque, R. (2013). Advances on waste valorization: New horizons for a more sustainable society. *Energy Science and Engineering*, *1*(2), 53–71.
- Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(16), 3528–3542.
- Bagherzadeh, M., Inamura, M., & Jeong, H. (2014). Food waste along the food chain. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, (71).

- Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 211–217.
- Belavina, E. (2020). Grocery store density and food waste. *Manufacturing & Service Operations Management*, (February).
- Belorio, M., Marcondes, G., & Gómez, M. (2020). Influence of psyllium versus xanthan gum in starch properties. *Food Hydrocolloids*, 105, 105843.
- Benabda, O., Kasmi, M., Kachouri, F., & Hamdi, M. (2018). Valorization of the powdered bread waste hydrolysate as growth medium for baker yeast. *Food and Bioproducts Processing*, 109, 1–8.
- Benabda, O., M'Hir, S., Kasmi, M., Mnif, W., & Hamdi, M. (2019). Optimization of protease and amylase production by *Rhizopus oryzae* cultivated on bread waste using solid-state fermentation. *Journal of Chemistry*, 2019.
- 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(2-3), 326–331.
- 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.
- Bonnand-Ducasse, M., Della Valle, G., Lefebvre, J., & Saulnier, L. (2010). Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science*, 52(2), 200–206.
- Brancoli, P., Lundin, M., Bolton, K., & Eriksson, M. (2019). Bread loss rates at the supplier-retailer interface – Analysis of risk factors to support waste prevention measures. *Resources, Conservation and Recycling*, 147(May), 128–136.
- Brancoli, P., Roustia, K., & Bolton, K. (2017). Life cycle assessment of supermarket food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 118, 39–46.
- Cao, J., Gao, Y., & Ma, Y. (2019). Facile preparation of activated carbon foam via pyrolysis of waste bread under CO₂ atmosphere. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 9(3), 521–529.
- Carocho, M., Morales, P., Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, E., Heleno, S., ... C.F.R. Ferreira, I. (2019). Comparison of different bread types: chemical and physical parameters. *Food Chemistry*, 125954.

- Choi, C. H., Chung, D. S., Seib, P. A., & Chung, K. M. (1995). Effects of Brewers' condensed solubles (bcs) on the production of ethanol from low-grade starch materials. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 50(2), 175–186.
- Coda, R., Kärki, I., Nordlund, E., Heiniö, R.-L., Poutanen, K., & Katina, K. (2014). Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran. *Food Microbiology*, 37, 69–77.
- Collar, C. (2003). Significance of viscosity profile of pasted and gelled formulated wheat doughs on bread staling. *European Food Research and Technology*, 216(6), 505–513.
- Collar, C., Bollain, C., & Rosell, C. M. (2007). Rheological behaviour of formulated bread doughs during mixing and heating. *Food Science and Technology International*, 13(2), 99–107.
- Comisión Europea. (2008). Directive 2008/98/CE of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal of European Union*, L312, 1–59. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:ES:HTML> (accedido: 07/11/20)
- Connolly, R. (2019). Transformational entrepreneurship practices. *Transformational Entrepreneurship Practices*, 33–54.
- Crosbie, G. B., Osborne, B. G., Wesley, I. J., & Adriansz, T. D. (2007). Screening of wheat for flour swelling volume by near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 84(4), 379–383.
- 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.
- Demirci, A. S., Palabiyik, I., Apaydın, D., Mirik, M., & Gumus, T. (2019). Xanthan gum biosynthesis using *Xanthomonas* isolates from waste bread: Process optimization and fermentation kinetics. *LWT - Food Science and Technology*, 101(October 2018), 40–47.
- Dreyer, H. C., Dukovska-Popovska, I., Yu, Q., & Hedenstierna, C. P. (2019). A ranking method for prioritising retail store food waste based on monetary and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, 210, 505–517.
- Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P. A. (2015). Carbon footprint of food waste

- management options in the waste hierarchy - A Swedish case study. *Journal of Cleaner Production*, 93, 115–125.
- Gaines, C. S., Raeker, M. Ö., Tilley, M., Finney, P. L., Wilson, J. D., Bechtel, D. B., ... Donelson, T. (2000). Associations of starch gel hardness, granule size, waxy allelic expression, thermal pasting, milling quality, and kernel texture of 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry Journal*, 77(2), 163–168.
- Gélinas, P., McKinnon, C. M., & Pelletier, M. (1999). Sourdough-type bread from waste bread crumb. *Food Microbiology*, 16(1), 37–43.
- Ghosh, R., & Eriksson, M. (2019). Food waste due to retail power in supply chains: Evidence from Sweden. *Global Food Security*, 20(May 2018), 1–8.
- Giroto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management*, 45, 32–41.
- Göbel, C., Langen, N., Blumenthal, A., Teitscheid, P., & Ritter, G. (2015). Cutting food waste through cooperation along the food supply chain. *Sustainability*, 7(2), 1429–1445.
- Gómez, M., & Martínez, M. M. (2016). Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*, 67, 68–74.
- Gondek, E., Jakubczyk, E., Herremans, E., Verlinden, B., Hertog, M., Vandendriessche, T., ... Nicolaï, B. M. (2013). Acoustic, mechanical and microstructural properties of extruded crisp bread. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 132–139.
- Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1–21.
- Gujral, H. S., Singh, G. S., & Rosell, C. M. (2008). Extending shelf life of chapatti by partial baking and frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 89(4), 466–471.
- Han, H. M., Cho, J. H., Kang, H. W., & Koh, B. K. (2011). Rice varieties in relation to rice bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(7), 1462–1467.
- Han, W., Hu, Y., Li, S., Huang, J., Nie, Q., Zhao, H., & Tang, J. (2017). Simultaneous dark fermentative hydrogen and ethanol production from waste bread in a mixed packed tank reactor. *Journal of Cleaner Production*, 141, 608–611.

- Haque, M. A., Kachrimanidou, V., Koutinas, A., & Lin, C. S. K. (2016). Valorization of bakery waste for biocolorant and enzyme production by *Monascus purpureus*. *Journal of Biotechnology*, 231, 55–64.
- Heller, M. C., Selke, S. E. M., & Keoleian, G. A. (2019). Mapping the influence of food waste in food packaging environmental performance assessments. *Journal of Industrial Ecology*, 23(2), 480–495.
- Kamel, B. S. (1992). Characteristics of bread and buns made with lard and vegetable oils of different iodine values. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 69(8), 794–796.
- Lapčíková, B., Burešová, I., Lapčík, L., Dabash, V., & Valenta, T. (2019). Impact of particle size on wheat dough and bread characteristics. *Food Chemistry*, 297(May), 1–7.
- Leung, C. C. J., Cheung, A. S. Y., Zhang, A. Y. Z., Lam, K. F., & Lin, C. S. K. (2012). Utilisation of waste bread for fermentative succinic acid production. *Biochemical Engineering Journal*, 65, 10–15.
- Lever, T., Kelly, A., De Faveri, J., Martin, D., Sheppard, J., Quail, K., & Miskelly, D. (2005). Australian wheat for the sponge and dough bread making process. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(10), 1049.
- Liu, Y., Chen, X., Xu, Y., Xu, Z., Li, H., Sui, Z., & Corke, H. (2020). Gel texture and rheological properties of normal amylose and waxy potato starch blends with rice starches differing in amylose content. *International Journal of Food Science & Technology*, "En prensa".
- López-Avilés, A., Veldhuis, A. J., Leach, M., & Yang, A. (2019). Sustainable energy opportunities in localised food production and transportation: A case study of bread in the UK. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 98–116.
- Martínez, M. M., Román, L., & Gómez, M. (2018). Implications of hydration depletion in the in vitro starch digestibility of white bread crumb and crust. *Food Chemistry*, 239, 295–303.
- Martínez, M., Oliete, B., & Gómez, M. (2013). Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 424–429.
- Mathieu, V., Monnet, A.-F., Jourden, S., Panouillé, M., Chappard, C., & Souchon, I. (2016). Kinetics of bread crumb hydration as related to porous microstructure.

- Food & Function*, 7(8), 3577–3589.
- 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.
- Melikoglu, M., & Webb, C. (2013). Use of waste bread to produce fermentation products. In *Food Industry Wastes* (First Edit).
- Mena, C., Adenso-Diaz, B., & Yurt, O. (2011). The causes of food waste in the supplier-retailer interface: Evidences from the UK and Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 648–658.
- Muhammad, N. I. S., & Rosentrater, K. A. (2020). Comparison of global - warming potential impact of food waste fermentation to landfill disposal. *SN Applied Sciences*, (October 2019).
- Noort, M. W. J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52(1), 59–64.
- Ortolan, F., & Steel, C. J. (2017). Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 369–381.
- Panahi-Kalamuei, M., Amiri, O., & Salavati-Niasari, M. (2020). Green hydrothermal synthesis of high quality single and few layers graphene sheets by bread. *Journal of Materials Research and Tecnology*, "En prensa".
- Pasqualone, A. (2019). Bread packaging: features and functions. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, 211–222.
- Patel, B. K., Waniska, R. D., & Seetharaman, K. (2005). Impact of different baking processes on bread firmness and starch properties in breadcrumb. *Journal of Cereal Science*, 42(2), 173–184.
- Patowary, K., Das, M., Patowary, R., Kalita, M. C., & Deka, S. (2019). Recycling of bakery waste as an alternative carbon source for rhamnolipid biosurfactant production. *Journal of Surfactants and Detergents*, 22(2), 373–384.
- Philippidis, G., Sartori, M., Ferrari, E., & M'Barek, R. (2019). Waste not, want not: A bio-economic impact assessment of household food waste reductions in the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 514–522.

- Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015). Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Research International*, 75, 200–215.
- Popov-Raljić, J., Mastilović, J., Laličić-Petronijević, J., & Popov, V. (2009). Investigations of bread production with postponed staling applying instrumental measurements of bread crumb color. *Sensors*, 9(11), 8613–8623.
- Primo-Martín, C., van Nieuwenhuijzen, N. H., Hamer, R. J., & van Vliet, T. (2007). Crystallinity changes in wheat starch during the bread-making process: Starch crystallinity in the bread crust. *Journal of Cereal Science*, 45(2), 219–226.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249.
- Ragaei, S., & Abdel-Aal, E.-S. M. (2006). Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*, 95(1), 9–18.
- Redlingshöfer, B., Barles, S., & Weisz, H. (2020). Are waste hierarchies effective in reducing environmental impacts from food waste? A systematic review for OECD countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 156(November 2018), 104723.
- Roman-Gutierrez, A. D., Guilbert, S., & Cuq, B. (2002). Description of microstructural changes in wheat flour and flour components during hydration by using environmental scanning electron microscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 35(8), 730–740.
- 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.
- Rusinek, R., Gancarz, M., & Nawrocka, A. (2020). Application of an electronic nose with novel method for generation of smellprints for testing the suitability for consumption of wheat bread during 4-day storage. *Lwt*, 117(September 2019), 108665.
- Salemdeeb, R., zu Ermgassen, E. K. H. J., Kim, M. H., Balmford, A., & Al-Tabbaa, A. (2017). Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. *Journal of Cleaner Production*, 140, 871–880.
- Samray, M. N., Masatcioglu, T. M., & Koksel, H. (2019). Bread crumbs extrudates: A new approach for reducing bread waste. *Journal of Cereal Science*, 85(August

2018), 130–136.

- Sarker, M. Z. I., Yamauchi, H., Kim, S.J., Matsumura-Endo, C., Takigawa, S., Hashimoto, N., & Noda, T. (2008). A farinograph study on dough characteristics of mixtures of wheat flour and potato starches from different cultivars. *Food Science and Technology Research*, *14*(2), 211–216.
- Sasaki, T., & Matsuki, J. (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry Journal*, *75*(4), 525–529.
- Schanes, K., Dobernick, K., & Gözet, B. (2018). Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production*, *182*, 978–991.
- Schmiele, M., Jaekel, L. Z., Patricio, S. M. C., Steel, C. J., & Chang, Y. K. (2012). Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science & Technology*, *47*(10), 2141–2150.
- Shahnoushi, N., Saghaian, S., Reed, M., Firoozzare, A., & Jalerajab. (2013). Investigation of factors affecting consumers' bread wastage. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *2*(6), 246–254. Disponible en: <http://academeresearchjournals.org/journal/jaed> (accedido: 07/11/20)
- Stenmarck, Å., Jensen, C., Quedsted, T., Moates, G., Buksti, M., Cseh, B., ... Östergren, K. (2016). Estimates of European food waste levels. Reducing food waste through social innovation. In *Fusions*. Disponible en: [https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates of European food waste levels.pdf](https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf) <https://phys.org/news/2016-12-quarter-million-tonnes-food-logistics.html> (accedido: 07/11/20)
- Storck, C. R., da Rosa Zavareze, E., Gularte, M. A., Elias, M. C., Rosell, C. M., & Guerra Dias, A. R. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, *53*(1), 346–354.
- Sükrü Demirci, A., Palabıyık, I., Gümüş, T., & Özalp, Ş. (2017). Waste bread as a biomass source: optimization of enzymatic hydrolysis and relation between rheological behavior and glucose yield. *Waste and Biomass Valorization*, *8*(3), 775–782.
- Svanes, E., Oestergaard, S., & Hanssen, O. J. (2018). Effects of packaging and food waste prevention by consumers on the environmental impact of production and

- consumption of bread in Norway. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–20.
- Thyberg, K. L., & Tonjes, D. J. (2016). Drivers of food waste and their implications for sustainable policy development. *Resources, Conservation and Recycling*, 106, 110–123.
- van Dooren, C., Janmaat, O., Snoek, J., & Schrijnen, M. (2019). Measuring food waste in Dutch households: A synthesis of three studies. *Waste Management*, 94, 153–164.
- Vandermeersch, T., Alvarenga, R. A. F., Ragaert, P., & Dewulf, J. (2014). Environmental sustainability assessment of food waste valorization options. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 57–64.
- Vilariño, M. V., Franco, C., & Quarrington, C. (2017). Food loss and waste reduction as an integral part of a circular economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5(May), 0-21.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585.
- WRAP. (2011). Reducing household bakery waste. *Final Report*, (December 2010), 1–151. Disponible en: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Research Bakery Report final.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Research%20Bakery%20Report%20final.pdf) (accedido: 07/11/20)
- Yu, I. K. M., Tsang, D. C. W., Yip, A. C. K., Hunt, A. J., Sherwood, J., Shang, J., ... Poon, C. S. (2018). Propylene carbonate and γ -valerolactone as green solvents enhance Sn(IV)-catalysed hydroxymethylfurfural (HMF) production from bread waste. *Green Chemistry*, 20(9), 2064–2074.

ANEXO I: Imágenes de la microestructura de las harinas.

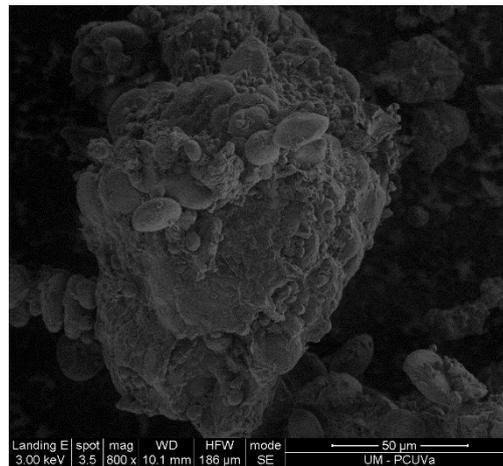


Figura I.1. Harina de trigo.

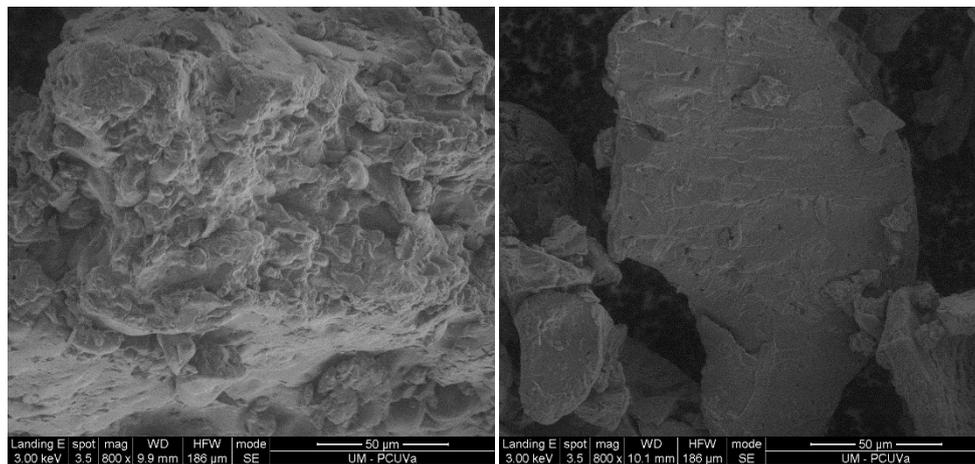


Figura I.2. Harina de barra tradicional con aditivo (*Izquierda: Corteza; Derecha: Miga*)

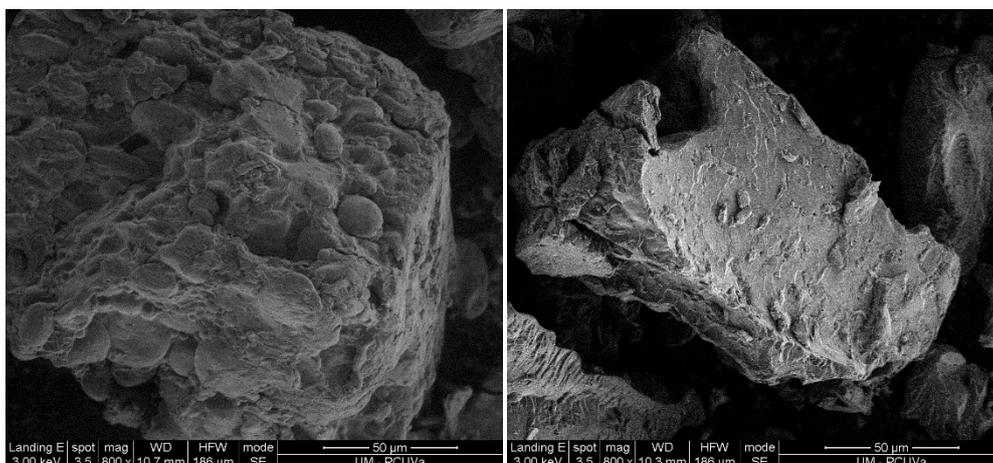


Figura I.3. Harina de pan candeal (*Izquierda: Corteza; Derecha: Miga*)

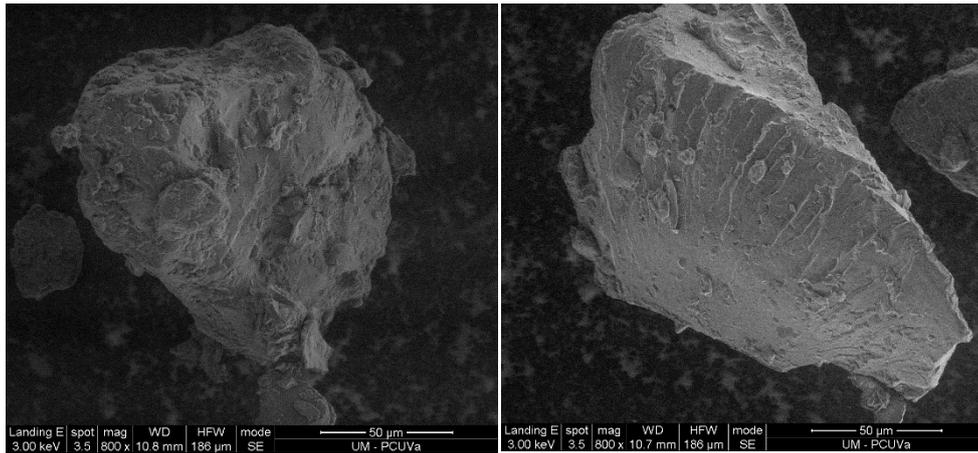


Figura I.4. Harina de barra integral (*Izquierda: Corteza; Derecha: Miga*)

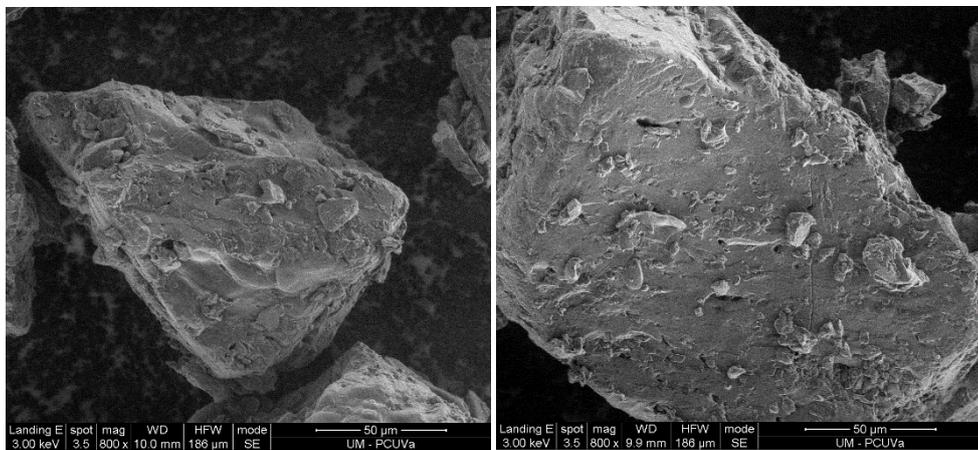


Figura I.5. Harina de pan de molde (*Izquierda: Corteza; Derecha: Miga*)

ANEXO II: Resultado de los análisis RVA.

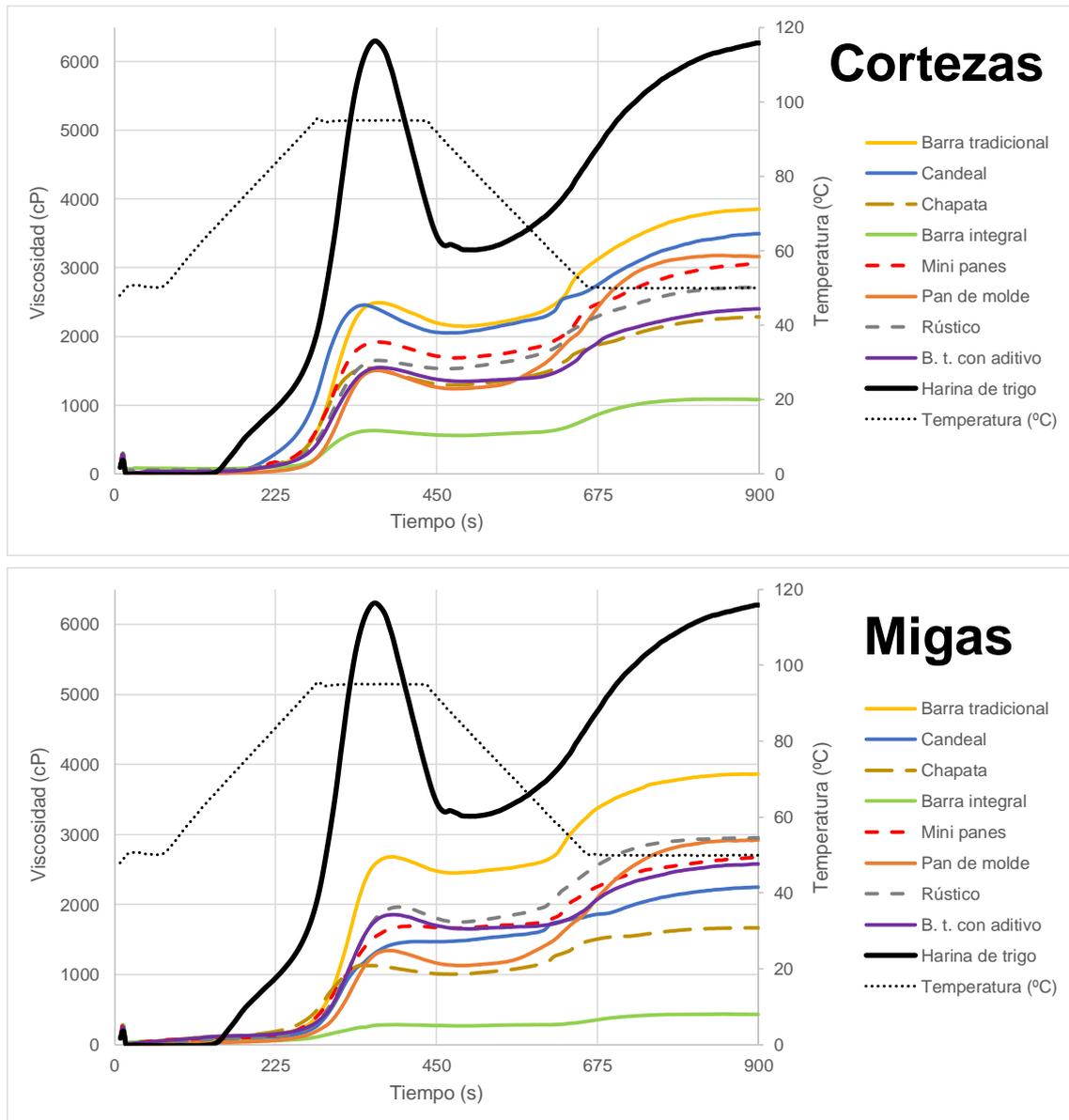


Figura II.1. Comportamiento viscoso de las harinas (*Arriba*: Harinas elaboradas con cortezas; *Abajo*: Harinas elaboradas con migas).