



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS HARINAS DE PAN DURO Y SU GRANULOMETRÍA EN LA ELABORACIÓN DE GALLETAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2019/20

**Alumno: Gemma Ruiz-Calero Gutiérrez
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

I.	Lista de figuras	3
II.	Lista de tablas	3
III.	Resumen	4
IV.	Abstract	5
1.	Introducción.....	7
2.	Materiales y métodos.....	13
2.1	Materiales	13
2.2	Métodos.....	13
2.2.1	Fabricación de las galletas.....	13
2.2.2	Propiedades de hidratación	14
2.2.3	Propiedades viscoelásticas de la masa para galletas	15
2.2.4	Características de las galletas	16
2.2.5	Análisis estadístico.....	17
3.	Resultados y discusión.....	17
3.1	Propiedades de la harina	17
3.2	Propiedades reológicas de la masa	20
3.3	Características de la galleta.....	21
4.	Conclusiones	26
5.	Bibliografía.....	28

I. Lista de figuras

Figura 1. Analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido).	16
Figura 2. Resultados de la distribución de tamaños de las harinas de pan normal y pan integral.....	17
Figura 3. Contenido de agua en la corteza (símbolos huecos) y miga (símbolos rellenos) durante el horneado de diferentes fuentes bibliográficas (Vanin et al., 2009).	20
Figura 4. Aspecto de las galletas que contienen diferentes harinas con distintas granulometrías: A, 100% harina de pan normal (1000 μm); B 100% harina de pan normal (500 μm); C, 100% harina de pan normal (200 μm); D, 100% harina de pan integral (1000 μm); E, 100% harina de pan integral (500 μm); F, 100% harina de pan integral (200 μm); G, 50%harina de pan normal-50% harina de trigo (1000 μm); H, 50% harina de pan integral-50% harina de trigo (1000 μm); I, control.....	25

II. Lista de tablas

Tabla 1. Estimación de los desperdicios de alimentos en la UE en 2012 (Stenmarck et al., 2016).....	7
Tabla 2. Cantidad (g) de los ingredientes para la elaboración de las galletas.....	14
Tabla 3. Propiedades de hidratación de las diferentes muestras.....	18
Tabla 4. Resultados de la prueba de color de las harinas.....	19
Tabla 5. Resultados de la prueba reológica de la masa de las galletas.....	20
Tabla 6. Propiedades físicas de las galletas a base de barra tradicional (B) y barra integral (I)	22
Tabla 7. Parámetros de calidad de las galletas a base de barra tradicional (B) y barra integral (I)	24

III. Resumen

Actualmente, hay una gran preocupación por los desperdicios alimentarios a nivel mundial ya que corresponden a un tercio del total de todos los alimentos producidos, generando un gran impacto ambiental. Este trabajo se ha centrado en la reutilización del pan porque, junto a la carne, son los alimentos que presentan mayor huella medioambiental. De hecho, se emite a la atmósfera 0.99 Kg de CO₂ por cada kilogramo de pan consumido.

Los objetivos de la presente investigación han sido, por una parte, estudiar la influencia de las harinas de panes duros, integrales y tradicionales en distintos porcentajes y por otra analizar la influencia de los distintos tamaños de partícula de la harina obtenida de estos panes, como sustitutos de la harina de trigo en la elaboración de galletas.

Se ha sustituido la harina de trigo en una formulación de galletas a niveles de 50% y 100% con tres granulometrías distintas para cada tipo de harina, 200µm, 500µm y 1000µm. También, se han evaluado las dimensiones, la textura y el color de las galletas además de las propiedades de hidratación de la harina y la reología de la masa de las galletas.

En general, un aumento en el tamaño de partícula de harina de pan, tanto integral como tradicional, disminuye los valores de capacidad de retención de agua (WHC) y de la cantidad de agua retenida por la muestra (WBC).

En las propiedades reológicas, se observa que G' es mayor que G'' , y ambos valores son mayores en la harina control que en las harinas de pan. Estas diferencias disminuyen cuando se mezclan ambas harinas al 50%. También se observa que cuanto mayor es el tamaño de partícula, menores los valores de G' y G'' .

En el análisis de las dimensiones, el menor factor de propagación lo tienen las galletas de harina de pan integral y normal, sin diferencias significativas entre ellas. Además, se observa que a medida que aumentan los valores de G'' y G' , disminuye el diámetro. En cuanto a la textura, las galletas más duras son las galletas elaboradas con harina de pan normal sin diferencias entre los diferentes tamaños de partícula. En cambio, para las galletas de pan integral, a medida que aumenta la granulometría, disminuye la dureza notablemente. Con las galletas control se obtienen los resultados más bajos de dureza. A medida que disminuye el tamaño de partícula, la dureza aumenta.

Por último, en el caso del color, los valores de luminosidad más altos se observan en las galletas control. Los valores de a^* más altos se encuentran en las galletas de pan tanto integral como normal sin diferencias significativas entre ellos y los valores más altos de b^* corresponden a las galletas de pan normal.

Palabras clave: harina de pan, galletas, granulometría, economía circular, reología, textura.

IV. Abstract

Currently, there is great concern about food waste worldwide as they correspond to a third of all food produced, generating a great environmental impact. This work has focused on the reuse of bread since, apart from the meat, it is the food with the greatest environmental footprint. In fact, 0.99 Kg of CO₂ is emitted into the atmosphere for every kilogram of bread consumed.

The objectives of this Research have been, both to study the influence of hard, integral and traditional bread flour in different percentages, and to analyse the influence of the different particle sizes of the flour obtained from these breads, as substitutes for flour of wheat in the making of cookies.

Wheat flour has been substituted in a biscuit formulation at 50% and 100% levels with three different grain sizes for each type of flour, 200 μ m, 500 μ m and 1000 μ m. Also, the dimensions, texture and color of the cookies have been evaluated in addition to the hydration properties of the flour and the rheology of the cookie dough.

In general, an increase in the bread flour particle size, both integral and traditional, decreases the values of water retention capacity (WHC) and the amount of water retained by the sample (WBC).

About the rheological properties, it is observed that G' is greater than G'' , and both values are higher in the control flour than in the bread flours. These differences decrease when both flours are mixed at 50%. It is also observed that the larger the particle size, the lower the values of G' and G'' .

In the analysis of the dimensions, the lowest spread factor is found in the plain and whole wheat bread biscuits, without significant differences between them. Furthermore, it is observed that as the values of G'' and G' increase, the diameter decreases. Regarding the texture, the hardest cookies are the cookies made with normal bread flour without differences between the different particle sizes. On the other hand, for brown bread cookies, as the grain size increases, the hardness decreases markedly.

The lowest hardness results are obtained with the control cookies. As the particle size decreases, the hardness increases.

Finally, talking about the color, the highest luminosity values are observed in the control cookies. The highest a^* values are in both wholemeal and normal bread biscuits without significant differences between them and the highest b^* values correspond to normal bread biscuits.

Key words: bread flour, biscuits, grain size, circular economy, rheology, texture.

1. Introducción

El aumento progresivo de la población en el mundo ha dado lugar a una mayor producción de residuos tanto sólidos como líquidos, afectando no sólo a la economía, sino que también se ha producido un elevado gasto del suelo, energía, productos químicos y materiales necesarios a lo largo de toda la cadena de producción. Todo ello está provocando una de las problemáticas sociales actuales más importantes a nivel internacional, el cambio climático.

A nivel mundial, la FAO estimó en 2011, que un tercio de la producción de alimentos se desperdiciaba cada año, es decir, aproximadamente 1300 millones de toneladas (Tonini, Albizzati, & Astrup, 2018). Mientras que, a nivel europeo, se ha llevado a cabo un estudio en el que se estima que cada año se desperdician aproximadamente 88 millones de toneladas de alimentos, siendo equivalente a 173 Kg/persona. Esto demuestra el gran impacto ambiental de estas pérdidas a lo largo de toda la cadena de suministros de alimentos además de las grandes pérdidas económicas (Scherhauer, Moates, Hartikainen, Waldron, & Obersteiner, 2018). Este estudio estimó un desperdicio del 20% al año en alimentos fabricados en la Unión Europea.

De todo este desperdicio de alimentos, el mayor porcentaje tiene lugar en los hogares y en el procesamiento. La Tabla 1, refleja los sectores con mayor impacto (Stenmarck et al., 2016).

Tabla 1. Estimación de los desperdicios de alimentos en la UE en 2012 (Stenmarck et al., 2016).

FASE DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO	Desechos alimentarios (millón de toneladas)	Desechos alimentarios (kg/persona)
Producción primaria	9.1 ± 1.5	18 ± 3
Procesado	16.9 ± 12.7	33 ± 25
Venta	4.6 ± 1.2	9 ± 2
Servicios de comida	10.5 ± 1.5	21 ± 3
Hogares	46.5 ± 4.4	92 ± 9
TOTAL	87.6 ± 13.7	173 ± 27

Estos grandes niveles de residuos emiten elevadas cantidades de CO₂ en la producción, llegando a generar aproximadamente 186 millones de toneladas en toda Europa según Scherhauer et al. (2018). El estudio además confirmó que la mayoría

de los impactos ambientales se derivan de la etapa de producción primaria de la cadena (casi tres cuartas partes) siendo los alimentos cárnicos los que aportan un mayor impacto (Scherhauer et al., 2018).

Por otro lado, en un estudio realizado en Suecia se ha comprobado que además de los desperdicios de carne como se ha citado anteriormente, los desperdicios de pan en los supermercados son los que presentan una mayor huella medioambiental (Brancoli, Rousta, & Bolton, 2017). De acuerdo con un estudio llevado a cabo en Noruega, el consumo de pan anual per cápita en dicho país es de 52Kg, llegando a emitir a la atmósfera 0.99 Kg de CO₂ por cada kilogramo de pan consumido (Svanes, Oestergaard, & Hanssen, 2018). En el caso de España, en el año 2019, cada individuo consumió de media una cantidad de 31.08Kg de pan (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2019). Este gran impacto ambiental, puede ser reducido minimizando estos residuos o con mejores prácticas para manejar estos subproductos (Tonini et al., 2018).

Por todo ello, la Unión Europea recomienda reducir al máximo los desperdicios alimenticios. En caso de no poder ser eliminados, se pretende reutilizarlos convirtiéndolos en nuevos productos para la alimentación humana y si no es posible, se propone su uso para la alimentación animal, como materia prima para otras industrias o como fertilizante mediante digestión anaerobia o compostaje (UE, 2008).

A nivel internacional se han desarrollado diferentes métodos de manejo, entre los que destaca la metodología de las “3R”, la cual propone “reducir, reutilizar y reciclar”. En Europa se ha planteado su implantación acompañada de normativas, multas o remuneraciones (Chávez & Rodríguez, 2016).

Haciendo referencia a los desperdicios del pan anteriormente citados, en la actualidad, se utilizan principalmente para la elaboración de piensos (Kwak & Kang, 2006). Sin embargo, se pueden destinar también a la digestión anaerobia para obtener energía (Melikoglu & Webb, 2013) o para el crecimiento de distintos microorganismos y producción de enzimas (Demirci, Palabiyik, Apaydin, Mirik, & Gumus, 2019).

Con el objetivo de utilizar estos desechos en la alimentación humana se han utilizado durante mucho tiempo los restos de pan envejecido para la producción de pan rallado o productos más finos en numerosas panaderías. Sin embargo, la legislación vigente indica que “Se prohíbe fabricarlo con restos de pan procedentes de establecimientos de consumo” (BOE, 2019).

Actualmente, las masas de pan se distribuyen congeladas y precocidas, reduciendo el nivel de desperdicio, al poder ajustar mejor la cantidad de producto a la demanda. A pesar de ello, sigue siendo insuficiente ya que sigue habiendo elevados desperdicios de dicho producto.

Con el fin de conseguir una mayor variedad de opciones y siguiendo las recomendaciones de la Comisión Europea, se han realizado varios estudios para hacer uso de ello. Uno de ellos tiene como objetivo procesar migas de pan para la elaboración de productos extruidos, obteniendo resultados muy favorables (Samray, Masatcioglu, & Koksel, 2019). También se pueden utilizar para la fabricación de cervezas, como adjunto o fuente de hidratos de carbono fermentable, algo que ya se está comercializando, aunque en la bibliografía científica no se encuentran artículos que estudien este proceso. Este caso lo ha desarrollado una empresa inglesa obteniendo un éxito notable. Dicha empresa, reduce la demanda de recursos naturales al reemplazar la cebada por excedentes del pan fresco, reduciendo el consumo de agua (108 m³ menos) y tierra (7.5 hectáreas menos), así como las emisiones de CO₂ (11 toneladas menos) (Toastale, 2019).

Gélinas et al., (1999) estudiaron la posibilidad de su utilización para la elaboración de masas madre en panadería, analizando el comportamiento de residuos de distintos panes (tradicional, integral y dulce) y con distintos starters. Dichos autores, observaron un rápido incremento de la acidez de las masas, debido principalmente por la producción de ácido láctico (Gélinas, McKinnon, & Pelletier, 1999).

Siguiendo esta línea en busca de alternativas, en este trabajo se ha estudiado la posibilidad de la producción de galletas a partir de la harina de las barras de pan duro. Normalmente, estas barras se desecharían por parte de las empresas, panaderías o en los hogares ya que, para su consumo como tal, tienen una vida útil muy corta debido principalmente a la retrogradación del almidón y la pérdida de agua.

La elaboración del pan comienza al mezclar los distintos ingredientes, normalmente harina, agua, sal y levadura. La harina está constituida principalmente por almidón, agua y proteína, proporcionando la matriz alrededor de la cual se mezclan el resto de los ingredientes de la fórmula para formar la masa (Tanilli, 1976). En general, el componente más importante de las harinas para la panificación es la proteína, la cual está compuesta mayoritariamente por gliadinas y gluteninas. Esta proteína es capaz de formar la red de gluten. La cantidad de agua añadida dependerá en una formulación del producto final que se quiera conseguir, así, cuanto mayor sea la

cantidad de agua incorporada, la masa tendrá menor consistencia y mayor pegajosidad.

En cuanto a la sal, además de aportar sabor ligeramente salado y, sobre todo, potenciar el resto de los sabores, modifica la reología de las masas incrementando su fuerza y tenacidad. La sal da lugar a migas menos blanquecinas y cortezas más brillantes. Por último, la levadura, es fundamental para el proceso fermentativo donde se transforman los azúcares en CO₂ y etanol.

Para la elaboración del pan el primer proceso es el amasado donde se mezclan los ingredientes anteriormente citados y se desarrolla la red de gluten capaz de retener el gas producido durante la fermentación. Para el desarrollo de esta red de gluten, es necesario que las proteínas de la harina se hidraten. La cantidad de agua dependerá del tipo de harina para llegar a una misma consistencia. Cuando la red de gluten se ha desarrollado, la masa puede estirarse formando una película muy fina, reduciendo su pegajosidad y pudiendo estirarse y moldearse.

Una vez formada la masa, se debe proceder a su fermentación, papel del que se encargan las levaduras al transformar los azúcares presentes en CO₂ y etanol. Como resultado de este proceso, incrementan el volumen y el tamaño de los alveolos internos de las masas, formando una estructura porosa. Por último, la masa se introduce en el horno, donde incrementa el volumen del pan, su sabor, su aroma, su color y se crea una textura diferenciada entre las zonas externas e internas de las piezas, generada por la desnaturalización proteica y la gelatinización parcial del almidón. En una primera fase del horneado, se observa el incremento del volumen de las piezas de pan y se comienzan a secar las zonas externas. En cuanto se forma la corteza, debido a que ya no hay suficiente agua, se produce la desnaturalización proteica y las reacciones de Maillard, así como la caramelización de los azúcares. Todas estas reacciones, contribuyen al color final de las piezas y a su aroma.

En el interior de las piezas, se produce la gelatinización parcial del almidón, elevando la consistencia de las masas. Esta gelatinización marca el final del incremento del volumen de las piezas.

Por otra parte, el alcohol generado por las levaduras se evaporará durante todo el proceso de horneado.

Tras el horneado, es importante enfriar las piezas antes del envasado para que se produzcan los fenómenos de retrogradación del almidón y termine la formación de la miga (Gómez, 2020).

Para la producción de galletas a partir de la harina procedente de las barras de pan duro es muy importante conocer y ajustar ciertos factores que determinan su calidad.

Según Gaines (1985), el tamaño de partículas de las harinas es uno de estos factores importantes que influyen en la calidad de las galletas. Este autor afirmó que una mayor extensión de galletas generalmente se asocia con trigo de bajo contenido de proteínas, que produce un tamaño promedio de partículas más pequeño. También mencionó que la reducción del tamaño de partícula de cualquier harina, mediante un tratamiento de molienda más severo, reduce el diámetro de la galleta (Gaines, 1985). Sin embargo, Manley (2000) afirma que los efectos del tamaño de partícula de harina son diferentes para los diferentes tipos de masa. Afirma que, cuando se usa harina de trigo con partículas más finas en la preparación de las masas, da como resultado galletas con menor densidad, más desarrollo durante la cocción y menos propagación en el horno (Manley, 2000).

Para el estudio de este trabajo, se ha optado por un tamaño de partícula promedio alto en la elaboración de estas galletas debido a que favorece el factor de dispersión y disminuye la dureza de las galletas. No obstante, también es necesario utilizar un cierto porcentaje de partículas finas, que, al colocarse entre las partículas más gruesas, dan lugar a una mayor cohesión de la masa. De lo contrario, éstas serían excesivamente frágiles en el proceso de laminación y no se podrían obtener las galletas (Belorio, Sahagún, & Gómez, 2019).

Otro de los factores para tener en cuenta en la evaluación de la calidad de una galleta es la capacidad de absorción del agua. Donelson y Gaines (1998), estudiaron las relaciones entre el almidón y el agua en los sistemas de masas de galletas. Los gránulos de almidón dañados absorben su propio peso de agua, es decir, tres veces más que cuando no están dañados. En la masa, el almidón dañado es probablemente el ingrediente principal que controla la cantidad de agua requerida para producir la masa de la consistencia elegida. Por lo que dichos autores concluyeron que, a niveles más altos de almidón dañado, menores diámetros de galleta (Donelson & Gaines, 1998).

Miller y Hosney (1997), añaden a dicha teoría que, durante la molienda, algunas moléculas del almidón se fragmentan cuando se dañan los gránulos, las cuales se solubilizan parcialmente. Tanto los almidones dañados como los solubles afectan a la viscosidad de la masa. El almidón dañado aumenta la viscosidad de la masa al absorber cantidades relativamente grandes de agua, mientras que el almidón soluble

aumenta la viscosidad de la fase acuosa. Dicha combinación produce la propagación de las galletas (Miller & Hosenev, 1997).

Como se ha dicho previamente, el almidón dañado es un parámetro importante para determinar la calidad de las galletas, pero el almidón como tal no tiene un papel notable. Debido a los altos niveles de azúcar y el agua insuficiente, la mayoría de los gránulos de almidón no gelatinizan, permaneciendo los gránulos intactos actuando como "relleno" en la matriz proporcionada por los otros componentes presentes que sostienen la estructura de la galleta (Chevallier, Colonna, Della Valle, & Lourdin, 2000).

En relación con la humedad presente en la harina, Doescher et al., (1985), descubrieron que el contenido de humedad de la harina afecta el agrietamiento superficial de las galletas incluso cuando la diferencia en el contenido de humedad de la harina se compensa mediante el ajuste del nivel del agua agregada a la masa. A medida que aumenta la humedad de la harina, aumenta el grado de simetría de las galletas (Doescher & Hosenev, 1985). A parte, varios autores, descubrieron que cuando aumenta el contenido de humedad de la harina, disminuye la rigidez, consistencia y cohesión de la masa. Al mismo tiempo, notaron que el mayor contenido de humedad de la harina aumenta el diámetro de la galleta y su adhesión. (Gaines, Donelson & Finney, 1988).

La propagación de la galleta que afecta a su diámetro final está controlado por la velocidad de propagación y el tiempo establecido (Miller & Hosenev, 1997). El tiempo establecido está determinado por el nivel de agua en la masa que es libre de actuar como solvente y la fuerza de la masa (Ram & Singh, 2004).

La calidad de las galletas se puede resumir en dos términos generales. El primero es el tamaño de esta, tanto el ancho como la altura. El diámetro final de la galleta es un parámetro de calidad importante y el segundo parámetro es la dureza de la galleta. Las galletas de buena calidad tienen un mordisco tierno (Hosenev, 1994) y dicha mordida depende de la estructura de la galleta. La textura, de manera general, es relativamente gruesa ya que hay mucha coalescencia de las burbujas de gas que se forman durante la cocción (Chevallier, Colonna, Buléon, & Della Valle, 2000).

Con el presente trabajo se quiere estudiar la influencia de la harina de pan duro, tanto tradicional (normal) como integral, y la de su granulometría para la elaboración de las galletas que según Wade (1988), contienen 47.5 a 54% de harina, 33.3 a 42% de azúcar y 9.4 a 18% de grasa (Wade, 1988). Para ello, se han desarrollado varios tipos de galletas, las cuales se han diferenciado en el tipo de harina y su granulometría. Se han realizado galletas con harina de pan tradicional, de pan integral y una combinación

de ambas. En cuanto a la granulometría, se han llevado a cabo tres tamaños: 200µm, 500µm y 1000µm de cada una. Además, se han hecho galletas 100% harina de trigo que se han tomado como control.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Para la elaboración de las diferentes galletas se han empleado los siguientes ingredientes: harina de trigo (10.03g/100g de humedad; 8.98g/100g de proteína) proporcionada por Harinera Castellana S.L. (Medina Del Campo, Valladolid, España), barras de pan “rústica” y pan “integral” adquiridas en el Carrefour del centro comercial de Las Huertas (Palencia, España). Estos panes han sido molidos con un molino Ultracentrífugo ZM200 (Düsseldorf, Alemania) con tres tamices distintos para obtener harinas con diferente tamaño de partícula (1000, 500 y 200 µm).

También se ha utilizado azúcar blanco (AB Azucarera Ibérica, Valladolid, España), margarina “Argenta crema” (Puratos, Girona, España), bicarbonato de sodio (Manuel Riesgo S.A., Madrid, España) y agua del grifo local.

2.2 Métodos

2.2.1 Fabricación de las galletas

Se han elaborado galletas con cada una de las harinas obtenidas a partir de los panes desechados, al 100% y galletas de harina de trigo como control. Al analizar los resultados obtenidos, se ha observado que las galletas tenían altos valores de dureza y se ha decidido realizar mezclas de harinas de pan con una granulometría de 1000 µm al 50% con harina de trigo.

Se han utilizado como ingredientes: harina (46%), azúcar (33%), margarina (20%), bicarbonato (1%). Para el caso del agua, se ha ajustado en base a la humedad de las harinas, para conseguir un 15% en todos los casos.

En la Tabla 2, se muestran las cantidades exactas para la elaboración de las galletas.

Tabla 2. Cantidad (g) de los ingredientes para la elaboración de las galletas.

INGREDIENTES	CANTIDAD (gramos)
Harina	173.2
Azúcar	124.8
Margarina	77.6
Bicarbonato	3.6
Agua	Se ajusta en función de la humedad de la harina, hasta un 15%.

Se han pesado los ingredientes y tras haber calentado la margarina durante 60s a 1000W en un microondas, se ha juntado con el azúcar y se ha batido a velocidad 4 durante 180s. Todo ello se ha realizado en un mezclador Kitchen Aid 5KPM50 (Kitchen Aid, Michigan, EE. UU.) con la ayuda de un batidor plano, raspando cada 60s.

Se ha añadido el agua a la mezcla y se ha continuado a velocidad 4 durante 120s raspando al finalizar dicho tiempo. Por último, se ha añadido tanto la harina como el bicarbonato de sodio, y se ha mezclado durante 120s más a velocidad 2 con raspado cada 30s.

Una vez realizada la masa, se ha dejado reposar durante 30 minutos cubierta con film transparente en una cámara a 25°C para su posterior laminado.

Para el laminado se ha utilizado la laminadora Salva L-500-J (Salva, Lezo, España), dejando un grosor de la masa final de 6.00mm. Esta masa se ha cortado con un cortador de galletas circular de 40.00 mm de diámetro interno y se ha horneado en un horno modular eléctrico, durante 14 minutos a 185°C. Las galletas se han dejado atemperar durante 60 minutos y se han envasado en bolsas de polietileno selladas para su posterior almacenamiento a 20-25°C hasta su análisis 24 horas después.

Todas las galletas se han elaborado por duplicado.

2.2.2 Propiedades de hidratación

La capacidad de retención de agua (WHC, Water Holding Capacity), definida como la cantidad de agua retenida por la muestra sin ser sometida a ningún estrés, se ha determinado agregando 100 ml de agua destilada a 5 gramos de harina y permitiendo que se hidrate durante 24 horas. Más tarde, el sólido hidratado se ha pesado después de eliminar el exceso de agua y los valores se han expresado como gramos de agua por gramo de sólido.

En la misma suspensión, se ha evaluado el volumen de hinchamiento (SV o el volumen ocupado por un peso conocido de la mezcla) tomando nota de la altura de la harina dentro del tubo, antes y después de 24 h de hidratación.

La cantidad de agua retenida por la muestra después de que se haya centrifugado con una centrífuga “LC-04P con pantalla LED” (Quirumed, Londres, Reino Unido) a una velocidad de 2000 rpm durante 10 minutos, (WBC, Water Binding Capacity) se ha calculado empleando el método AACC 56-30.01 (AACC,2012). Después de la centrifugación, se ha decantado el sobrenadante en una placa de evaporación y se ha pesado el residuo del tubo Eppendorf. El peso de los sólidos secos en el sobrenadante se ha recuperado evaporando el sobrenadante a 105°C hasta llegar a peso constante.

2.2.3 Propiedades viscoelásticas de la masa para galletas

El comportamiento reológico de las masas se ha estudiado utilizando un reómetro de deformación controlada Thermo Scientific HaakeRheoStress 1 (Thermo Fisher Scientific, Schwerte, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controlaba la temperatura de análisis (ajustado a 25°C).

El reómetro estaba equipado con un sensor de geometría de placa paralela de titanio PP60 Ti (60mm de diámetro y 3mm de espacio). Al depositar las diferentes muestras, se ha aplicado aceite de vaselina (Panreac, Panreac Química SA, Castellar del Valles, España) a las superficies expuestas para evitar que se secan durante la prueba.

Estas muestras han sido laminadas con un espesor de 3mm y cortadas con un cortador circular de 60mm de diámetro interno.

Primero se ha realizado una prueba de barrido por deformación a 25°C con un rango de tensión de 0.1 a 100 Pa con una frecuencia constante de 1 Hz para identificar la región viscoelástica lineal.

Sobre la base de los datos obtenido en el programa “Data Manager”, se ha utilizado un valor de tensión incluido en la región viscoelástica lineal observada para realizar dos pruebas de barrido de frecuencia a 25°C con un rango de frecuencia de 10 a 0.1 Hz. Con esta prueba, se han obtenido los valores del módulo elástico (G') [Pa], del módulo viscoso (G'') [Pa], del módulo complejo (G^*) y de la tangente δ (G''/G') (Mancebo, Rodríguez, & Gómez, 2016). Esta prueba se ha realizado por duplicado para cada muestra.

2.2.4 Características de las galletas

Las características de las galletas se han determinado 24 horas después de su elaboración. De cada elaboración, se han realizado seis pruebas de textura, color y dimensiones.

Para las dimensiones, se han medido los anchos (diámetro) y los espesores con un calibre. El diámetro de cada galleta se ha medido dos veces, perpendicularmente, para calcular el diámetro medio. El factor de propagación de las galletas se ha calculado dividiendo el ancho promedio entre el grosor.

Para medir el color de las galletas se ha utilizado el colorímetro PCE-CSM 2 (PCE Instruments, Hochsauerland, Alemania). Las mediciones se han realizado en el centro de la superficie de la galleta usando el iluminante D65 y los resultados se han expresado en el espacio de color CIE $L^* a^* b^*$, con datos además del croma o saturación (C) y el tono (h).

Para la prueba de la textura, se ha utilizado un analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) equipado con el software "Texture Expert", como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido).

Se ha realizado una prueba de fractura, cuyos parámetros de análisis han sido: soportes separados por 30 mm, una distancia de recorrido de la sonda de 5 mm, una fuerza de activación de 5 g y una velocidad de prueba de 2.0 mm/s. Con esta prueba se ha medido la fuerza máxima (N) y la pendiente (mm), y a partir de ello, se ha calculado la pendiente. (Roman, Sahagun, Gomez, & Martinez, 2019).

Por último, se han realizado fotografías de dos galletas de cada elaboración mediante una cámara.

2.2.5 Análisis estadístico

Todo el análisis estadístico realizado con los datos obtenidos se ha realizado empleando el software Statgraphics Centurión XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA). Los datos de las distintas variables se han tratado a través un de análisis de la varianza unidireccional (ANOVA simple), utilizando el test LSD de Fisher para describir las diferencias significativas entre medias a un nivel de significancia de $p < 0.05$. También se ha realizado un análisis multivariado para determinar si existen correlaciones entre algunos de los diferentes parámetros estudiados. Este análisis proporciona un p-valor, que da idea de la significancia de la relación entre las dos variables analizadas.

3. Resultados y discusión

3.1 Propiedades de la harina

En la Figura 2, que se muestra a continuación, se puede observar la distribución del tamaño de partícula tanto para la harina de pan normal como para la harina de pan integral.

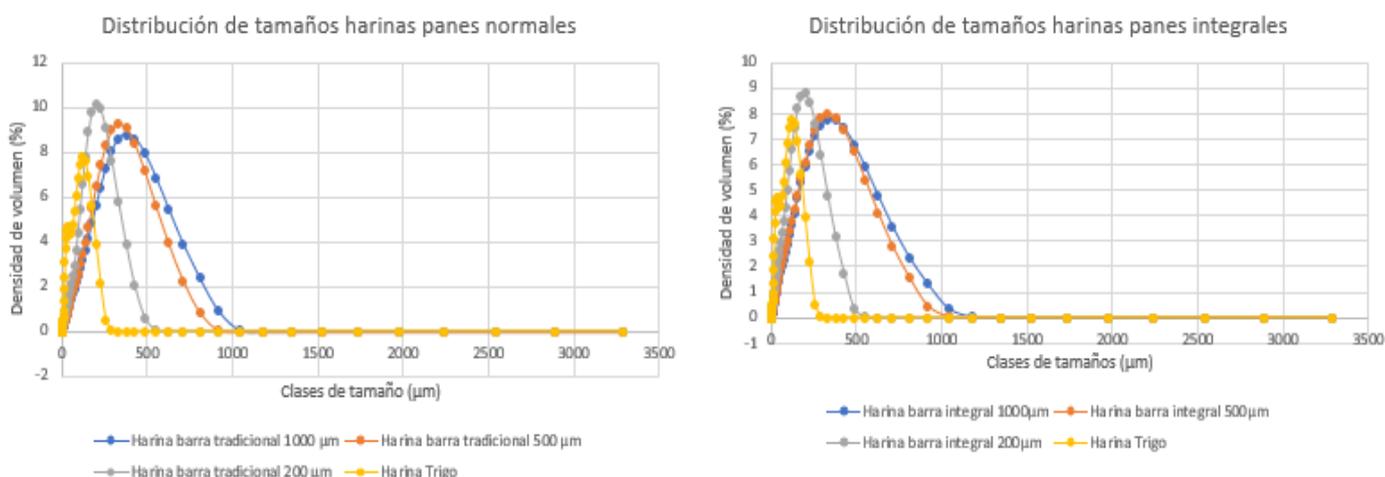


Figura 2. Resultados de la distribución de tamaños de las harinas de pan normal y pan integral.

En el caso de las harinas de pan normal, la harina de 200 µm, muestra su pico más alto en torno al 10%, con un tamaño de partícula de aproximadamente 240 µm siendo este tamaño de partícula más pequeño debido a que el tamiz utilizado fue el de menor

tamaño. En el caso de las harinas de pan integral, se encuentran de manera muy similar para la granulometría de 500 y 1000 μm , que el 8% del tamaño de partícula es de aproximadamente 420 μm dando lugar a la harina más gruesa por su proceso de tamizado. En los dos tipos de harina hay una mayor diferencia entre la distribución de tamaños de 200 μm con las de 500 μm y 1000 μm .

Comparando las harinas de pan en todas sus granulometrías y la harina de trigo, se observa que esta última consigue una granulometría más fina.

A continuación, en la Tabla 3, se muestran las propiedades de hidratación. Los valores más altos de WHC son los de la harina de pan normal. El valor más pequeño de WHC, es la harina control. Entre las harinas de pan normal y pan integral no se han encontrado diferencias significativas.

Por otro lado, los valores más pequeños de WBC se observan en la muestra control, seguida de la harina de pan integral. Entre las harinas de pan no hay diferencias significativas entre las granulometrías para los mismos tipos de pan.

Tabla 3. *Propiedades de hidratación de las diferentes muestras*

	WHC	WBC
Control	0.16±0.05 a	1.48±0.04 a
B200	3.25±0.20 b	2.94±0.11 c
B500	3.17±0.14 b	2.83±0.10 bc
B1000	3.11±0.60 b	2.81±0.06 bc
I200	3.12±0.08 b	2.80±0.09 bc
I500	2.83±0.06 b	2.74±0.06 b
I1000	2.62±0.38 b	2.76±0.08 bc

WHC: water holding capacity (capacidad de absorción de agua). WBC: water binding capacity (capacidad de retención de agua). *Los datos se expresan como medias \pm DE de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (a un nivel de significancia de $p < 0.05$).*

Comparando el tamaño de partícula con las capacidades de hidratación (WHC, WBC), se observa que, a medida que el tamaño de partícula disminuye, dichas capacidades son mayores. Se han encontrado referencias sobre el aumento de las propiedades de hidratación en tamaños de partícula más bajos con diferencias significativas para varios tipos de harina como la de castaña (Ahmed, Al-Attar, & Arfat, 2016), el cual lo atribuye a la presencia de menos cantidades de fibra, almidón y contenido de proteínas, provocando una menor capacidad de absorción de agua en harinas finas. También se ha observado esta misma tendencia en un estudio sobre la influencia de

los métodos de molienda y el tamaño de las partículas en las propiedades de hidratación de la harina de sorgo (Dayakar Rao et al., 2016).

En este caso, como se preveía no se encuentran estas diferencias ya que durante la panificación se gelatiniza el almidón, por lo que las harinas elaboradas a partir de pan tienen mayor capacidad de retención de agua.

Por otro lado, también se ha realizado un análisis de color en las harinas. En la Tabla 4, que se muestra a continuación, se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resultados de la prueba de color de las harinas

	L	a*	b*	c	h
Control	89.94±2.76 d	1.13±0.17 a	10.71±0.02 a	10.77±0.01 a	83.97±2.03 d
B200	84.62±2.32 cd	5.91±1.42 b	18.66±1.04 b	19.59±1.42 b	72.53±3.03 c
B500	81.88±1.54 c	6.90±1.31 b	20.08±1.11 bc	21.24±1.48 b	71.12±2.37 bc
B1000	81.00±2.22 c	7.17±1.17 b	20.59±1.11 c	21.81±1.43 b	70.96±2.09 bc
I200	73.64±2.45 b	9.56±0.84 c	22.42±0.34 d	24.38±0.64 c	66.93±1.49 ab
I500	67.98±1.40 a	10.58±0.75 c	23.34±0.59 d	25.63±0.85 c	65.63±0.97 a
I1000	65.30±2.78 a	10.66±0.74 c	23.00±0.37 d	25.35±0.66 c	65.15±1.17 a

Los datos se expresan como medias \pm DE de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (a un nivel de significancia de $p < 0.05$).

Se puede apreciar que los valores más altos de L (luminosidad) son para las harinas de trigo y los más bajos para las harinas de pan integral. Existen diferencias significativas entre las harinas de pan normal o tradicional y pan integral. Para el caso de los parámetros a* y b*, los valores más bajos son para la harina control y los más altos para la harina integral, existiendo también diferencias significativas entre las harinas de panes en ambos casos.

La corteza y la miga provienen de la misma masa original, pero sus propiedades finales difieren según un tratamiento de calor-humedad distinto. Tan pronto como la masa se coloca en el horno, el agua se evapora muy rápido de las capas superficiales, lo que resulta en un contenido de agua mucho menor que en el núcleo. A medida que disminuye el contenido de agua en la corteza, se favorecen las reacciones como la reacción de Maillard responsable del desarrollo del color y la liberación de sabores, y también la producción de compuestos tóxicos como la acrilamida. Inicialmente se producen compuestos altamente reactivos a partir de esta reacción y posteriormente su polimerización genera productos de color marrón con diferentes intensidades,

predominando en la corteza del pan tonos más oscuros y en el interior tonos mucho más claros. En los panes procedentes de harina integral, el tono de la corteza tiende a ser más oscuro que en el caso de los panes normales o tradicionales (Vanin, Lucas, & Trystram, 2009).

En la siguiente figura, Figura 3, se muestra la evolución del contenido de agua, tanto de la corteza como de la miga, a lo largo del tiempo según varios autores.

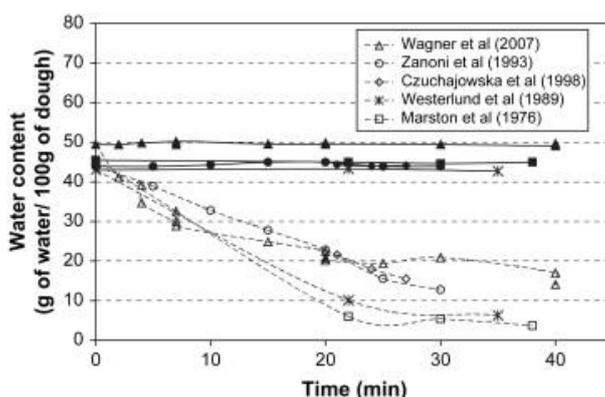


Figura 3. Contenido de agua en la corteza (símbolos huecos) y miga (símbolos rellenos) durante el horneado de diferentes fuentes bibliográficas (Vanin et al., 2009).

3.2 Propiedades reológicas de la masa

Los resultados reológicos de la masa se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la prueba reológica de la masa de las galletas

	G' (x1000)	G'' (x1000)	G* (x1000)	Tg δ
Control	124±0 a	40.5±1.1 a	131±1 a	0.33±0.01 d
50B	141±17 a	44.0±4.5 a	148±18 a	0.31±0.01 d
50I	152±7 a	47.3±1,6 a	160±6 a	0.31±0.02 d
B200	654±226 bc	101.5±20.5 b	663±235 bc	0.17±0.04 bc
B500	778±0 c	103.0±0 b	785±0 c	0.13±0.08 ab
B1000	1100±99 d	137.5±20.5 d	1110±99 d	0.12±0.01 a
I200	506±99 b	94.4±3.7 b	516±99 b	0.19±0.03 c
I500	841±144 c	128.0±0 bc	849±144 c	0.13±0.02 ab
I1000	1130±0 d	133.5±8 cd	1130±0 d	0.11±0,04 a

Los datos se expresan como medias ± DE de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (a un nivel de significancia de $p < 0.05$).

Se observa que los módulos elásticos (G') son mayores que los módulos viscosos (G'') en todo el rango de frecuencia para todas las masas. Estos valores son mayores para las galletas elaboradas con harina de pan que para la muestra control, mientras que la tangente delta tiene valores menores para las muestras de harina de pan que para las que son elaboradas con harina de trigo. Este resultado, proporciona un comportamiento sólido elástico en todas las masas de las galletas estudiadas. En el caso de las galletas al 50%, no se aprecian diferencias significativas con respecto al control.

Autores como Mancebo et al., (2016) justificaron el aumento de los valores de G' , G'' con la gelatinización del almidón y como consecuencia con el aumento de las propiedades de hidratación de las harinas. Es decir, a mayores valores de WHC y WBC, mayores valores de G' y G'' (Mancebo et al., 2016). Los datos obtenidos en este estudio nos confirman esta tendencia. Para el caso de las masas con harinas mezcladas no se aprecian diferencias significativas mientras que para el caso de las masas con un solo tipo de harina los datos incrementan significativamente. Las diferencias en la reología entre el pan normal o tradicional y el pan integral no son significativas para el mismo tamaño de partícula.

Teniendo en cuenta el tamaño de partícula, Belorio et al., (2019), afirma que cuanto mayor es el tamaño de partícula más difícil es de manejar la masa de las galletas y mayores valores de G' y G'' se obtienen (Belorio et al., 2019), lo cual, justifica las diferencias de los resultados obtenidos en las masas de harina de pan para diferentes granulometrías.

Las propiedades de la masa dependen de los ingredientes añadidos, tales como el almidón, la proteína o el agua presente, así como la cantidad de ellos, que, a su vez, influyen en las propiedades de manipulación. Si la masa es demasiado endeble o dura, no es fácil de manejar. Por lo tanto, la masa debe ser lo suficientemente cohesiva para mantenerse unida durante todos los pasos de procesamiento y lo suficientemente viscoelástica para separarse sin ningún problema cuando se corta con el molde (Mancebo et al., 2016).

3.3 Características de la galleta

En la Tabla 6 se observan los resultados del análisis de las dimensiones y textura obtenidos de las galletas con las harinas de pan y el control.

Tabla 6. Propiedades físicas de las galletas a base de barra tradicional (B) y barra integral (I)

	Diámetro	Grosor	SF	Dureza	Pendiente (N/mm)
Control	58.17±0.08 e	7.08±0.03 ab	8.22±0.01 c	23.45± abc	48.91±9.26 a
50B	54.54±0.31 d	7.00±0.25 a	7.80±0.23 b	19.30±0.77 a	61.29±3.51 ab
50I	54.35± 0.70 d	7.30±0.21 abc	7.46±0.30 b	20.00±0.57 ab	53.08±8.34 a
B200	40.52±0.21 a	7.41±0.05 bc	5.48±0.01 a	47.98±0.76 d	103.91±9.44 d
B500	42.77±0.01 abc	7.39±0.11 bc	5.79±0.08 a	42.87±0.99 d	98.31±5.73 d
B1000	43.34±0.16 bc	7.48±0.03cd	5.80±0.05 a	41.45±2.18 d	96.18±9.09 cd
I200	41.26±0.25 ab	7.54±0.05 cde	5.48±0.01 a	46.52±0.33 d	96.57±7.99 d
I500	44.45±3.05 c	7.79±0.14 de	5.71±0.29 a	30.46±6.81 c	75.60±5.42 b
I1000	44.58±1.22 c	7.83±0.23 e	5.70±0.01 a	27.04±1.70 bc	78.19±10.20 bc

Los datos se expresan como medias ± DE de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (a un nivel de significancia de $p < 0.05$).

La calidad de las galletas se puede describir principalmente mediante dos parámetros: el diámetro, el cual está directamente relacionado con el factor de propagación (SF) y la dureza, que depende de la estructura de la galleta (Rocha Parra, Sahagún, Ribotta, Ferrero, & Gómez, 2019). El SF probablemente se ve afectado por los componentes de la masa que se asocian con el agua, y por lo tanto, con la absorción de agua (Pareyt & Delcour, 2008).

En este caso, los valores más altos del factor de propagación corresponden con la muestra de control seguidas de las galletas elaboradas con un 50% de harina de trigo y 50% de harina de pan normal. Comparativamente, las galletas con menor SF corresponden a las que están elaboradas tanto con harina de pan normal al 100% como de la harina de pan integral al 100%. Entre los dos tipos de harina de pan no se observan diferencias significativas ni en el factor de propagación ni el diámetro con la misma granulometría.

Varios autores afirman que las harinas con menor capacidad de hidratación producen galletas con diámetros más altos porque permiten que el exceso de agua disuelva el azúcar, reduzca la viscosidad inicial de las masas y permita una mayor expansión durante la cocción (Hoseney & Regoers, 1994). Esto, se ve reflejado en este trabajo ya que las galletas elaboradas con harina de trigo son las que mayores dimensiones tienen y las menores capacidades de hidratación.

Por otro lado, la reología de las masas tiene una relación muy ligada a las dimensiones de las galletas que se producen posteriormente, Por ello, existe una correlación entre ambos resultados. Cuanto menor es G' , mayor es el diámetro ($r=-0.74^{***}$), el factor de propagación ($r=-0.79^{***}$) y el grosor (0.75^{***}). Para el caso de G'' , ocurre la misma tendencia ya que cuanto menor es este valor, mayor es el diámetro ($r=-0.83$), el factor de propagación ($r=-0.87^{***}$) y el grosor ($r= 0.73^{***}$). Varios autores han obtenido resultados semejantes por lo que se verifican las correlaciones realizadas. Entre ellos se encuentra Rocha Parra et al., 2019, el cual tenía como objetivo evaluar el tamaño de partícula y el porcentaje de reemplazo con jugo de manzana en galletas de azúcar, o también Mancebo et al., 2016, que tenía como objetivo determinar los efectos de la adición de almidón y/o proteína en la calidad de las galletas sin gluten elaboradas con harina de arroz (Rocha Parra et al., 2019), (Mancebo et al., 2016).

Para el caso de la textura se muestra que, de manera general, las galletas hechas con harina de pan normal tienen una mayor dureza que el resto, sin presentar diferencias significativas entre sus diferentes granulometrías. Sin embargo, en las galletas hechas con harina de pan integral existen diferencias significativas cuando varía el tamaño de partícula ya que cuanto mayor es este tamaño, la dureza de la galleta disminuye notablemente.

De manera comparativa, se puede observar que las galletas control, son las que menor dureza adquieren, seguidas de las galletas 50% harina de trigo-50% harina de pan normal o integral, sin presentarse diferencias significativas entre ambas.

Se identifica una correlación significativa al 99.9% entre la dureza, las dimensiones ($r=-0.86$) y el factor de propagación ($r=-0.79^{***}$). Por lo tanto, las galletas más duras presentaban un diámetro y un factor de propagación más bajo. Varios autores describieron cómo las galletas con factores de propagación más altos mostraron una fuerza máxima más baja en el análisis de textura (Mancebo, Picón, & Gómez, 2015). Los parámetros de textura e indicadores del tamaño de las partículas de la harina demuestran que a medida que disminuye el tamaño de partícula, aumenta la dureza de las galletas, de acuerdo con las observaciones de estudios similares (Belorio et al., 2019). Haciendo referencia al comportamiento que se observa en las galletas elaboradas con pan integral, cuya dureza aumenta conforme disminuye el tamaño de partícula, se puede vincular a la introducción de la fibra en la masa como ha ocurrido en otros estudios tales como el de (Rocha Parra et al., 2019).

Por último, en la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos en este estudio sobre el análisis del color de las galletas.

Tabla 7. *Parámetros de calidad de las galletas a base de barra tradicional (B) y barra integral (I)*

	L	a*	b*	Tono	Croma
Control	51.78±6.29 d	5.68±0.79 a	22.07±0.73 ab	75.55±2.38 d	22.80±0.51 a
50B	51.22±2.50 cd	9.85±0.55 b	24.79±0.04 d	68.34±1.07 c	26.68±0.23 d
50I	45.36±0.15 abcd	9.90±0.87 b	22.12±0.91 abc	65.92±1.00 b	24.23±1.18 abc
B200	50.63±4.40 bcd	10.22±0.08 b	23.61±0.94 bcd	66.59±0.66 bc	25.72±0.89 bcd
B500	44.63±1.18 abc	10.44±0.74 b	23.78±0.04 cd	66.31±0.21 bc	25.96±1.61 bcd
B1000	50.42±1.75 bcd	10.82±0.18 bc	24.71±0.08 d	66.35±0.29 bc	26.97±0.14 d
I200	44.99±0.26 abc	12.01±0.11 c	22.88±0.33 abc	62.30±0.13 a	25.84±0.35 bcd
I500	40.90±2.86 a	11.06±0.74 bc	21.53±0.81 a	62.84±0.69 a	24.20±1.06 ab
I1000	44.50±0.33 ab	11.95±0.08 c	23.22±0.11 abcd	62.77±0.05 a	26.12±0.13 cd

Los datos se expresan como medias ± DE de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (a un nivel de significancia de $p < 0.05$).

Se ha obtenido que los valores más altos de L se muestran en las galletas elaboradas con harina de trigo seguidas de las elaboradas con el 50% de harina de trigo y el 50% de harina de pan normal. Los valores más bajos correspondientes a la luminosidad se obtienen en las galletas producidas con harinas de pan, sin obtener diferencias significativas entre el pan integral y el pan normal o tradicional.

Para el caso de los valores de a*, los más altos corresponden a las galletas de pan integral seguidas de las galletas de harina de pan normal, sin diferencias significativas y los más bajos a el control. En el caso de los valores de b*, los resultados más altos han sido de las galletas de harina de pan normal y los valores más bajos para el control y las galletas de harina de pan integral. Estos resultados también se han visto reflejados en diferentes estudios para harinas integrales. En el estudio de (Demir, 2015) hizo una sustitución de harina de trigo a harina de trigo integral y los valores de L y b* disminuyeron y a* aumentó, provocando un producto final más mate y rojo. En otro estudio, Jeltema et al., (1983) informaron que el uso del salvado de trigo en la producción de galletas afecta el color del producto final, y se obtienen productos más oscuros y menos amarillos (Jeltema, Zabik, & Thiel, 1983).

Comparando los distintos valores del color entre las galletas y las harinas, se observa que los resultados de a^* y del tono, siguen aproximadamente la misma tendencia que las galletas. En cambio, para los valores de L , b^* y croma esta tendencia no es igual en ambos casos ya que cuando las temperaturas de horneado en la parte externa superan los 150°C , se producen reacciones de Maillard y caramelización de los azúcares. Dichos procesos son los responsables del cambio de color de las galletas, contribuyendo a un oscurecimiento del producto final (Román, González, Espina, & Gómez, 2017). En la Figura 4, se muestran las diferentes muestras en las que se puede observar las diferencias de color.

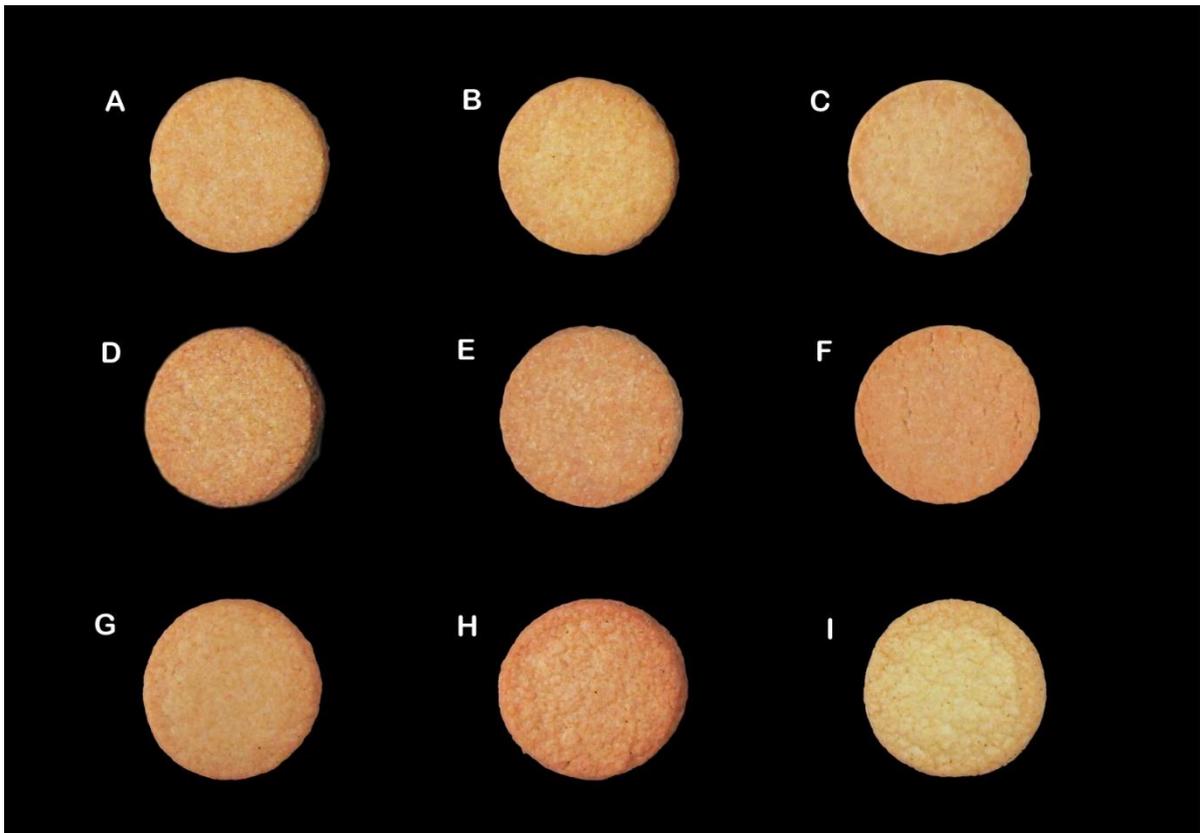


Figura 4. Aspecto de las galletas que contienen diferentes harinas con distintas granulometrías: A, 100% harina de pan normal ($1000\ \mu\text{m}$); B 100% harina de pan normal ($500\ \mu\text{m}$); C, 100% harina de pan normal ($200\ \mu\text{m}$); D, 100% harina de pan integral ($1000\ \mu\text{m}$); E, 100% harina de pan integral ($500\ \mu\text{m}$); F, 100% harina de pan integral ($200\ \mu\text{m}$); G, 50%harina de pan normal-50% harina de trigo ($1000\ \mu\text{m}$); H, 50% harina de pan integral-50% harina de trigo ($1000\ \mu\text{m}$); I, control.

4. Conclusiones

Las características finales de las galletas están influenciadas principalmente con la granulometría de las harinas de pan ya que, de manera general, todos los parámetros evaluados presentan una correlación con el tamaño de partícula de la harina.

Este estudio revela que las diferencias entre las galletas de harina de trigo y las galletas elaboradas a partir de harina de pan duro son notables. En relación con las dimensiones, las galletas de pan tienen un factor de propagación menor comparándolas con las galletas control sin diferencias significativas entre las galletas de pan. También se ha observado que las harinas con un mayor tamaño de partícula dan lugar a masa con menor resistencia de expansión, consiguiendo que ésta sea mayor durante el horneado. Esto da lugar a galletas con mayor diámetro.

Para el caso de la textura, las galletas elaboradas con harina de trigo tienen una dureza menor que las galletas elaboradas con harina de pan. Entre las galletas de pan normal no se observan diferencias significativas, pero en el caso de pan integral, se observa que a medida que aumenta el tamaño de partícula disminuye la dureza. En general, cuando disminuye el tamaño de partícula, aumenta la dureza.

Y, por último, el color de las galletas de pan tiene una menor luminosidad, pero mayores valores de a^* y de b^* que la harina de trigo. Entre las galletas de pan, en los valores de a^* no se han obtenido diferencias significativas. Los valores de b^* , más elevados corresponden a las galletas de pan normal. No se han encontrado diferencias en el color a medida que varía la granulometría de las galletas.

En todos los casos, las diferencias observadas entre las galletas de harina de pan y harina de trigo se minimizan cuando se añade el 50% de harina de pan normal o pan integral.

Con todos los resultados obtenidos, la galleta que mejor se adecúa según este estudio, sin tener en cuenta a los consumidores, serían las galletas elaboradas al 50% con pan normal o tradicional y harina de trigo. Estas galletas tienen unas dimensiones aceptables y un color idóneo para tener una percepción positiva del producto.

Por último, en este trabajo estaba programado llevar a cabo una cata para realizar un análisis del producto sobre los consumidores, pero la pandemia por el COVID-19 obligó a suspenderla.

En futuras investigaciones, se debería de realizar este análisis sensorial, previamente citado, para comprobar la aceptación de este producto por parte de los consumidores.

Además, una posible vía de investigación posterior podría ser la reutilización de estos panes duros para la elaboración de más productos de panadería, ya sean otros panes, bizcochos o snacks.

5. Bibliografía

- American Association of Cereal Chemists AACC (2012). Approved Methods of Analysis (11th ed. Methods: 61-02.01 (RVA), 46-30.01 (protein), 76-31.01 (damaged starch), 56-30.01 (WBC), 88-04 (WHC&SW). St Paul, MN.
- Ahmed, J., Al-Attar, H., & Arfat, Y. A. (2016). Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water chestnut flour. *Food Hydrocolloids*, *52*, 888–895. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.028>
- Belorio, M., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Influence of flour particle size distribution on the quality of maize gluten-free cookies. *Foods*, *8*(2). <https://doi.org/10.3390/foods8020083>
- BOE. (2019). Real Decreto 308/2019, de 26 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para el pan. *Boletín Oficial Del Estado*, *113*, 50168–50175. Retrieved from <http://www.boe.es>
- Brancoli, P., Rousta, K., & Bolton, K. (2017). Life cycle assessment of supermarket food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, *118*, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.024>
- Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. *Revista Academia & Virtualidad*, *9*(2), 90–107. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Chevallier, S., Colonna, P., Buléon, A., & Della Valle, G. (2000). Physicochemical behaviors of sugars, lipids, and gluten in short dough and biscuit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(4), 1322–1326. <https://doi.org/10.1021/jf990435>
- Chevallier, S., Colonna, P., Della Valle, G., & Lourdin, D. (2000). Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. *Journal of Cereal Science*, *31*(3), 241–252. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0308>
- Dayakar Rao, B., Anis, M., Kalpana, K., Sunooj, K. V., Patil, J. V., & Ganesh, T. (2016). Influence of milling methods and particle size on hydration properties of sorghum flour and quality of sorghum biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, *67*, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.033>
- Demir, M. K. (2015). Utilization of whole wheat flour and its blends in cookies production. *Tarim Bilimleri Dergisi*, *21*(1), 100–107. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001311
- 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*, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.018>
- Doescher, L., & Hosney, R. (1985). Effect of sugar type and flour moisture on surface cracking of sugarsnap cookies. *Cereal Chemistry*, Vol. 62, pp. 263–266.
- Donelson, J. R., & Gaines, C. S. (1998). Starch-water relationships in the sugar-snap cookie dough system. *Cereal Chemistry*, *75*(5), 660–664. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.5.660>
- Gaines, C. S; Donelson, J.R; Finney, P. . (1988). Effects of damaged starch, chlorine gas, flour Particle, and dough holding time and temperature on cookie dough

- handling properties and cookie size. *Cereal Chemistry*, 65(5), 384-389.
- Gaines, C. S. (1985). Associations among soft wheat flour particle size, protein content, chlorine response, kernel hardness, milling quality, white layer cake volume, and sugar-snap cookie spread. *Cereal Chemistry*, Vol. 62, pp. 290–292.
- Gélinas, P., McKinnon, C. M., & Pelletier, M. (1999). Sourdough-type bread from waste bread crumb. *Food Microbiology*, 16(1), 37–43. <https://doi.org/10.1006/fmic.1998.0209>
- Gómez, M. (2020). Panificación y pastelería industrial, 2019/2020. Apuntes asignatura Cereales y derivados. Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de alimentos, Universidad de Valladolid.
- Hoseney, R. C. (1994). Principles of cereal science and technology. A general reference on cereal foods. *American Association of Cereal Chemists, Inc.*
- Jeltema, M. A., Zabik, M. E., & Thiel, L. J. (1983). Prediction of cookie quality from dietary fiber components. *Cereal Chemistry*, Vol. 60, pp. 227–230.
- Kwak, W. S., & Kang, J. S. (2006). Effect of feeding food waste-broiler litter and bakery by-product mixture to pigs. *Bioresource Technology*, 97(2), 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.008>
- Mancebo, C. M., Picón, J., & Gómez, M. (2015). Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.057>
- Mancebo, C. M., Rodriguez, P., & Gómez, M. (2016). Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.045>
- Manley, D. (2000). Technology of Biscuits, Crackers and Cookies. *Third Edition*. Woodhead Publishing, Ltd.
- Melikoglu, M., & Webb, C. (2013). Use of waste bread to produce fermentation products. *Food Industry Wastes. First Edition*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391921-2.00004-4>
- Miller, R. A., & Hoseney, R. C. (1997). Factors in hard wheat flour responsible for reduced cookie spread. *Cereal Chemistry*, 74(3), 330–336. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.3.330>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. (2019). Informe del Consumo de Alimentación en España. Retrieved from <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/>
- Pareyt, B., & Delcour, J. A. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 824–839. <https://doi.org/10.1080/10408390701719223>
- Ram, S., & Singh, R. P. (2004). Solvent retention capacities of indian wheats and their relationship with cookie-making quality. *Cereal Chemistry*, 81(1), 128–133. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.1.128>
- Rocha Parra, A. F., Sahagún, M., Ribotta, P. D., Ferrero, C., & Gómez, M. (2019). Particle size and hydration properties of dried apple pomace: effect on dough viscoelasticity and quality of sugar-snap cookies. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1083–1092. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02273-3>

- Román, L., González, A., Espina, T., & Gómez, M. (2017). Degree of roasting of carob flour affecting the properties of gluten-free cakes and cookies. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(7), 2094–2103. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2649-x>
- Roman, L., Sahagun, M., Gomez, M., & Martinez, M. M. (2019). Nutritional and physical characterization of sugar-snap cookies: Effect of banana starch in native and molten states. *Food and Function*, *10*(2), 616–624. <https://doi.org/10.1039/c8fo02266f>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.12.005>
- Scherhauser, S., Moates, G., Hartikainen, H., Waldron, K., & Obersteiner, G. (2018). Environmental impacts of food waste in Europe. *Waste Management*, *77*, 98–113. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.038>
- Stenmarck, Å., Jensen, C., Quedsted, T., Moates, G., Buksti, M., Cseh, B., ... Östergren, K. (2016). Estimates of European food waste levels. In *Fusions EU*.
- 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. <https://doi.org/10.3390/su11010043>
- Tanilli, V. (1976). Characteristics of wheat and flour for cookie and cracker production. *Journal of Cereal Science*, *10*(6), 624–628.
- Toastale. (2019). Impact report 2019. Retrieved from <https://www.toastale.com/>
- Tonini, D., Albizzati, P. F., & Astrup, T. F. (2018). Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK. *Waste Management*, *76*, 744–766. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.032>
- UE. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008 , sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. *Parlamento Europeo*, 28 pags. (43 articulos). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:ES:HTML>
- Vanin, F. M., Lucas, T., & Trystram, G. (2009). Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science and Technology*, *20*(8), 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.04.001>
- Wade, P. (1988). Biscuits, cookies and crackers, volume 1: The principles of the craft. Elsevier Science