



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE HARINA EN EL DESARROLLO DE GALLETAS SIN GLUTEN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso 2013/14

Alumno: Javier Picón Pineda

Tutor: Manuel Gómez Pallarés

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos

E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera

Universidad de Valladolid

RESUMEN

En los últimos años ha habido un aumento en el desarrollo y el consumo de productos libres de gluten. En el presente estudio se ha analizado la influencia de la granulometría y la procedencia de la harina sobre las masas y galletas finales obtenidas, con el fin de establecer similitudes entre las distintas galletas y buscar una alternativa a las tradicionales galletas de trigo. Los resultados obtenidos muestran que las propiedades de la masa y la galleta final están fuertemente influenciadas por la granulometría de la harina empleada. Tamaños de partícula más gruesos, implican masas más fluidas que generan mayores galletas, de menor peso, con menor humedad y luminosidad. La influencia de la granulometría parece ser mayor sobre las harinas de arroz y menor sobre la de maíz y la de maíz precocido. También se ha demostrado que ninguna de las galletas elaborada presenta una semejanza total con la galleta control de trigo, aunque la galleta elaborada con harina fina de maíz precocido obtuvo mejores resultados en la evaluación sensorial realizada.

Palabras clave: Galletas sin gluten, harina, granulometría, celiaquía, sustituto del trigo.

ABSTRACT

In the last few years there has been an increase in the development and consumption of gluten-free products. The present study analyzes the influence of the particle size and the kind of flour over the dough and cookies obtained, in order to find out similarities between different cookies and to look for an alternative to traditional wheat-flour cookies. Results prove that dough and cookie attributes are strongly affected by the granulometry of the flour. Coarser particle size leads to less viscous dough, which gives rise to bigger and lighter cookies, with less moisture and brightness. The influence of the granulometry seems to be stronger over rice flour and softer over corn and precooked corn. It has also been demonstrated that none of the produced cookies can completely replace wheat cookie, even though the thin pre cooked corn flour obtained better scores in the tasting test.

Key words: Gluten free cookies, flour, granulometry, celiac disease, wheat substitute.

1. Introducción

Se conoce como celiaquía a la enfermedad autoinmune que se presenta en individuos predispuestos genéticamente y que se caracteriza por una intolerancia al gluten cuya intensidad puede variar (Tonutti & Bizzarro, 2014). El gluten, es el conjunto de las fracciones gliadina y glutenina de las proteínas presentes en la semilla de algunos cereales, como el trigo, la cebada o el centeno; y en la mayoría de sus derivados como almidones, harinas, etc. (Prandi et al., 2014). En concreto, es la gliadina la

responsable de los síntomas que padecen los celíacos, unos síntomas que abarcan desde diarreas en los casos más frecuentes hasta osteoporosis en los casos más severos (Green & Jabri, 2003; Tonutti & Bizzarro, 2014). Al ingerir alimentos que contienen gluten, el sistema inmunitario del enfermo genera una respuesta inadecuada de los linfocitos T en el intestino delgado, lo que produce una inflamación crónica de la mucosa del yeyuno y daños en las vellosidades intestinales. Estas vellosidades son las responsables de la absorción de los nutrientes, por lo que su atrofiamiento se traduce en una mala absorción de los nutrientes (Green & Cellier, 2007; Hill et al., 2005). Esto se traduce en carencias nutricionales como anemia, déficit de vitaminas, hipocalcemia, etc. aunque el enfermo siga una alimentación equilibrada (Eid et al., 2013). Actualmente, el único tratamiento efectivo contra la enfermedad consiste en el control de la dieta por parte del enfermo, lo que permite la regeneración de los daños intestinales y la correcta absorción de los nutrientes ingeridos al mantener una dieta libre de gluten a lo largo del tiempo (Moroni et al., 2009). Sin embargo, esto no resulta sencillo debido a la amplia presencia del gluten en diversos alimentos, ya sea de forma natural o como resultado de contaminación cruzada en la industria o durante su cocinado. En las últimas décadas, la tasa de prevalencia de esta enfermedad ha aumentado de forma importante (Catassi et al., 2010). Existen muchas hipótesis que podrían explicarlo, como son la mayor cantidad de gluten ingerido en la dieta, la mayor calidad de éste, la reducción de los tiempos de horneado o cambios en la microbiota humana (Gobbetti et al., 2007; Ivarsson et al., 2000). Actualmente se calcula que más del 1% de población sufre esta enfermedad, sin embargo menos del 10% de los casos se diagnostican y su diagnóstico se retrasa habitualmente hasta diez años desde la aparición de los síntomas (Green & Cellier, 2007; West et al., 2003).

En los últimos años, el creciente número de casos diagnosticados de celiaquía y la búsqueda de nuevos nichos comerciales por parte de las empresas, ha impulsado fuertemente el desarrollo de productos libres de gluten, cuya comercialización ha aumentado a un ritmo anual del 28 % en los últimos años (Calderón de la Barca et al., 2010). Sin embargo, estos productos presentan, en general, unas características organolépticas menos aceptadas por el público (Gallagher et al., 2004; Ylimaki et al., 1991). Otra desventaja de estos productos es su mayor precio, debido al mayor coste de alguno de los ingredientes que lo componen y a la baja rotación de estos productos. Hoy en día, por tanto, los retos a los que se enfrenta la industria en este campo son la sustitución eficaz desde el punto de vista tecnológico de los ingredientes con gluten, sin que esto suponga un encarecimiento excesivo del producto; y la elaboración de productos con buena aceptación por parte del público. Sin embargo, la sustitución de harinas con gluten no es una tarea sencilla, ya que las características de

ésta tienen una gran influencia en las propiedades del producto final.

A diferencia del pan o el bizcocho, donde continuamente se investiga el desarrollo de alternativas para desarrollar un producto sin gluten, apenas se llevan a cabo estudios con galletas que persigan el mismo objetivo. Se puede definir genéricamente como galleta a un producto cuyos tres principales componentes son harina, azúcar y grasa y que presenta un bajo contenido final en agua, entre un 1 y un 5 % (Chevallier et al., 2000a; Chevallier et al., 2002). Ocasionalmente, también pueden incorporar en su formulación otros compuestos minoritarios como levadura, impulsores químicos, siropes, sal, emulsificantes,... (Pareyt & Delcour, 2008). Existen numerosos tipos de galletas diferentes, que varían en composición, modo de preparación de la masa y horneado. Este trabajo se centra en las galletas del tipo sugar-snap. Estas galletas reciben su nombre del característico sonido que realizan al fracturarse y su composición suele oscilar entre un 47.5-54% de harina, 33.3-42 % azúcar y 9.4-18% grasa (Hoseney, 1994; Wade, 1988).

El papel que juega cada uno de los ingredientes que componen una galleta es muy diferente, y ha sido objeto de mucha investigación. El principal ingrediente de las galletas, la harina, está compuesta por un 70-75% de almidón, un 14% agua y un 8-11% proteína y algunos componentes minoritarios como lípidos y arabinoxilanos. La harina proporciona la matriz en torno a la cual se agrupan el resto de ingredientes, formando la masa. La cantidad de proteína que contiene la harina es una característica muy importante, ya que tiene una gran influencia en el procesado y en las características finales. El uso de harinas con un menor contenido proteico da lugar a galletas de mejor apariencia y cualidades organolépticas y con una textura más crujiente, como demostraron Wade (1988) y Hoseney & Rogers (1994) comparando galletas elaboradas con trigos blandos y duros. Además, Doescher et al. (1987b), y Miller & Hoseney (1997) observaron que las galletas elaboradas con harina de trigo blando se expandían más que sus réplicas elaboradas con harina de trigo duro. Esto se debe a que el mayor contenido de proteína produce masas más viscosas y que endurecen antes en el horneado, deteniendo su expansión (Gaines & Finney, 1989; Wade, 1988). El componente mayoritario de la harina, el almidón, también tiene una fuerte influencia en las propiedades finales de la galleta. Sin embargo, esta influencia no deriva de la cantidad de almidón presente en la harina, ya que debido a la alta cantidad de azúcar de estas galletas y al bajo porcentaje de agua muy poco almidón gelatiniza (Chevallier et al., 2000b; Hoseney, 1994); sino que deriva de la cantidad de almidón dañado presente. Numerosos estudios han observado que hay una fuerte dependencia entre esta cantidad de almidón dañado y las dimensiones finales de la

galleta (Donelson & Gaines, 1998; Gaines et al., 1988; Hosenev, 1994; Hosenev & Rogers, 1994; Miller & Hosenev, 1997; Barrera et al. (2007). Esto se debe a que el almidón dañado es capaz de absorber tres veces más agua que cuando se encuentra intacto, por lo que su presencia afecta enormemente a las propiedades reológicas de la masa, produciendo una masa menos fluida que se expande menos y dando lugar a galletas mas pequeñas (Manley, 2000). Miller & Hosenev (1997) ampliaron esta teoría afirmando que durante el molido algunas de las moléculas del almidón se fragmentan formando dextrinas solubles, que aumentan la viscosidad de la fase acuosa de la masa, con lo que el aumento de la viscosidad debido a la presencia de almidón dañado se debe a dos factores: la absorción de agua por parte del almidón dañado y el aumento de viscosidad de la fase acuosa por parte de las dextrinas generadas.

Por otro lado, el agua, pese a su baja presencia, también juega un papel importante ya que resulta crucial para lograr formar la masa y variar las características de la misma o de alguno de los demás ingredientes. Su principal labor es lograr la solubilización de los ingredientes (Maache-Rezzoug et al., 1998) y la dispersión de la grasa y otros ingredientes en la masa (Manley, 2000). Además va a afectar al grado de expansión de la galleta durante el horneado (por afectar a la viscosidad de la masa), determinar la humedad de la galleta e influir en la calidad sensorial del producto final (Lai & Lin, 2006). Por su parte, Piazza & Masi (1997) observaron que la crujencia de la galleta depende también del contenido en agua final, y este parámetro es muy importante para lograr una buena aceptación del consumidor final.

Son numerosos los autores que han investigado la elaboración de galletas sustituyendo la harina de trigo con el objetivo de mejorar sus propiedades nutricionales, reducir costes y/o obtener una alternativa libre de gluten, apta para celíacos. Kaur et al. (2014) observaron que el uso de gomas, mejoraba la manejabilidad de la masa, aumentaba las dimensiones de la galleta, su humedad y peso, además de aumentar su valoración en test de aceptación. Los mismos resultados en cuanto a manejabilidad fueron obtenidos por Hadnađev et al. (2012) al incorporar CMC a harinas de arroz y trigo sarraceno. Este observó que la ausencia de CMC conducía a masas poco cohesivas que daban lugar a galletas muy irregulares. Ambos autores observaron que mayores cantidades de trigo sarraceno implicaban una menor fuerza de rotura y una variación de las dimensiones. Sin embargo, mientras que el primero observó una disminución del diámetro, el segundo obtuvo un aumento. También los resultados de cata fueron contrarios: mientras que Kaur et al. (2014) obtuvieron peores resultados al aumentar a cantidad de trigo sarraceno, Hadnađev et al. (2012) los mejoraron. Sin embargo estas dos contradicciones son compatibles ya

que el primero aumentaba la cantidad de trigo sarraceno a costa de reducir la presencia de trigo, obteniendo los peores resultados para trigo sarraceno puro; mientras que el segundo reducía la cantidad de arroz. Los mismos resultados que Hadnađev et al. (2012) en cuanto a aceptación sensorial fueron obtenidos por Torbica et al. (2012) que también estudio el uso de harinas de arroz y trigo sarraceno. A diferencia de las gomas, cuyo uso mejora sustancialmente la calidad de las galletas, el uso de transglutaminasa no revela datos concluyentes, como demostraron los estudios conducidos por Altındag et al. (2014) con harinas de arroz, trigo sarraceno y harina de maíz. Aunque el uso de transglutaminasa favorece el aumento de diámetro de la galleta, lo cual es favorable, también aumenta la humedad final de la misma y su fracturabilidad, lo cual es negativo ya que reduce la vida útil y la aceptación del consumidor. Por su parte, Chung et al. (2014) estudiaron las harinas de arroz blanco, arroz integral, arroz integral germinado y arroz integral germinado tratado con calor y humedad y observaron que la fuerza de compresión de las galletas se reducía de forma importante al aumentar la cantidad de harina de trigo sustituida por cualquiera de los tipos de harina de arroz que empleó, mientras que el diámetro final de la galleta aumentaba. Por último, a nivel sensorial, la comparativa desarrollada por Schober et al. (2003) con distintas combinaciones de harinas y almidones libres de gluten reveló que la galleta compuesta por harina integral de arroz, almidón de maíz, almidón de patata y harina de soja en proporción 70/10/10/10 era la más similar a la galleta control de trigo, tanto en propiedades físicas como en el test sensorial de aceptación general. Por el contrario, los resultados obtenidos por Rai et al. (2011) con todas las combinaciones binarias posibles al 50% de harina de maíz, de sorgo, de mijo y de arroz indicaron una mayor aceptación por cualquiera de las combinaciones de sorgo con otro tipo de harina. Sin embargo todas estas combinaciones presentaban unas diferencias importantes en cuanto a propiedades físicas con la galleta control de trigo, con la excepción de la combinación arroz-sorgo.

Vistos los estudios realizados hasta la fecha, se puede afirmar que, pese a que existen varios artículos y estudios analizando el comportamiento de galletas sin gluten, no existe una investigación sistemática que abarque el estudio de las propiedades físicas y sensoriales de galletas elaboradas con las principales harinas sin gluten. Los estudios existentes se centran más en estudiar la incorporación de gomas u otros ingredientes minoritarios; emplean un número muy reducido de harinas o harinas de escasa disponibilidad y aceptación en nuestra cultura; o conceden poca importancia al estudio de las propiedades físicas de la galleta. Además, ninguno de estos artículos contempla la granulometría de la harina como un factor a tener en cuenta. Por tanto, el objetivo final de este trabajo es realizar un análisis metódico de cómo varían las

propiedades físicas y sensoriales de distintas galletas al variar la granulometría empleada y la variedad de harina empleada; y establecer semejanzas entre ellas en base a los resultados obtenidos.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

En el presente estudio se han empleado 7 tipos de harina diferentes. La harina de trigo empleada para elaborar la galleta control fue suministrada por Molendum Ingredients (Zamora, España), al igual que la harina de maíz. Para elaborar las harinas de arroz corto y largo, se empleó arroz corto y largo de marca Hacendado, producido por Arrocerías Pons (Massanassa, Valencia, España). Para las galletas de harina de maíz precocido se empleó harina marca PAN, de Empresas Polar (Caracas, Venezuela); y para las de trigo sarraceno se empleó harina marca El Granero Integral, de BIOGRAN S.L. (Paracuellos del Jarama, Madrid, España). La harina de teff fue suministrado por Salutef (Palencia, España. También se emplearon azúcar refinado, proporcionado por AB Azucarera Iberia (Valladolid, España); grasa Argenta Crema, suministrada por Puratos (Palenzuela, Palencia, España); bicarbonato sódico, obtenido de Manuel Riesgo S.A. (Madrid, España) y agua corriente local.

2.2. Métodos

2.2.1. Molido y tamizado

Las harinas de arroz de grano corto y largo fueron obtenidos por molienda de arroz de grano corto y largo respectivamente en un molino Perten 3100 (Huddinge, Suecia).

Todas las harinas (excepto la de trigo por ser la galleta control) fueron tamizadas con un tamiz Bühler MLI 300B (Milán, Italia) y cribas de 106 μm , 150 μm y 180 μm , con el objetivo de obtener dos fracciones de harina, de tamaño de partícula mayor y menor a 106 μm . Finalmente no se obtuvieron estas dos fracciones para las harinas de teff y el trigo sarraceno ya que existían diferencias en la composición de cada fracción, debido a la presencia de salvado. En la fracción gruesa de la harina de maíz fue necesario retirar las partículas con $D_p > 150 \mu\text{m}$, ya que experiencias previas demostraron la imposibilidad de elaborar galletas manteniendo la distribución original de partículas.

2.2.2. Caracterización de las harinas.

Para la determinación de la humedad de las harinas se empleó una termobalanza Satrorious MA 150 y un ensayo a 130°C, cuyo criterio de finalización se fijó en una variación de peso inferior a 1 mg / 60 segundos. El comportamiento viscoso de las harinas frente a un ciclo de calentamiento-enfriamiento fue analizado empleando un equipo Rapid Visco Analyzer (RVA) (Newport Scientific, Warriewood, Australia) de

acuerdo a lo descrito en el método 61.02.01 (AACC, 2012). De este ensayo se recogen una serie de parámetros. La Temperatura de gelatinización o de empastado (PT, Pasting Temperature) indica la temperatura a la cual comienza la gelatinización de la harina. La viscosidad máxima (PV, peak viscosity) indica la máxima viscosidad alcanzada por la muestra en todo el ciclo antes de la retrogradación producida por el enfriamiento. La estabilidad (BR, breakdown) es la diferencia entre PV y la viscosidad mínima registrada en el enfriamiento (o viscosidad de caída, TR, trough). La viscosidad final (FV, final viscosity) es el valor de viscosidad de la muestra el final del ciclo. La retrogradación (ST, setback) es la diferencia entre FV y TR. En la figura 1 de los anejos se pueden ver de forma gráfica la definición de estos mismos parámetros.

Las propiedades de hidratación de las harinas fueron evaluadas mediante la determinación de varios parámetros distintos. La capacidad de retención de agua (WHC, Water Holding Capacity) y la capacidad de hinchamiento (SW, Swelling Powder) de las harinas, fueron determinados siguiendo el método AACC 88-04 (AACC, 2012). La capacidad de unión de agua (WBC, Water Binding Capacity) se calculó empleando el método AACC 56-30.01 (AACC, 2012); y la capacidad de absorción de aceite (OAC, Oil Absorption Capacity) fue determinada a través del método desarrollado por Lin et al. (1974). La cantidad de almidón dañado se determinó empleando el método AACC 76-31-01 (AACC, 2012).

La cantidad de proteína presente en la harina se evaluó mediante el método AACC 46-30.01 (AACC, 2012), llevado a cabo mediante un analizador nitrógeno/proteína Leco TruSpec_N (St. Joseph, Michigan, EEUU). Por último, también se determinó la distribución de partículas de la harina empleando un analizador de difracción láser Heros & Rodos (Sympatec, Clausthal-Zellerfeld, Germany). Como medida de la granulometría obtenida, se emplea el parámetro D (4:3), que se define como el diámetro medio de la distribución en volumen, es decir, el producto de multiplicar la fracción en volumen de cada grupo de partículas por el diámetro medio de ese grupo.

Todos los ensayos de caracterización de harina fueron realizados por duplicado.

2.2.3. Elaboración de galletas

Para la elaboración de las galletas se ha empleado la formulación propuesta por Pareyt et al (2008) (Ver tabla 1) y cada tipo de galleta ha sido elaborado dos veces.

Tabla 1: Formulación empleada para la elaboración de la masa

| Ingrediente | Harina | Azúcar | Grasa | Agua | Bicarbonato |
|------------------------------|---------|---------|---------|--------|-------------|
| Porcentaje en peso | 43,3 % | 31.2 % | 19.4 % | 5.2 % | 0.9 % |
| Cantidad sobre 800 g. | 346.4 g | 249.6 g | 155.2 g | 41.6 g | 7.2 g |

Dado que esta formulación está pensada para una harina con un 14% de humedad, han sido necesarias correcciones en la cantidad de harina y agua en función de la humedad de cada harina. Para la elaboración de la masa, la margarina y el azúcar se baten hasta conseguir una crema en una batidora Kitchen Aid Profesional 5KPM5 (Kitchen Aid, St. Joseph, MI, USA) durante tres minutos a velocidad 4, con paradas cada 60 segundos para rebañar la masa de las paredes. A continuación se añade el agua y se continúa con la formación de la crema durante otros dos minutos, manteniendo las paradas cada 60 segundos para incorporar de nuevo al batido la masa adherida a la pared. Esta etapa se conoce como “cremado” (cream-up). Finalmente, se añade la harina junto al bicarbonato y se continúa con el mezclado a velocidad 2 durante otros dos minutos, con paradas en este caso cada 30 segundos. Esta etapa recibe el nombre de “amasado” (dough-up). Una vez preparada la masa, se forma un bloque, se envuelve en film de cocina y se deja reposar durante 30 minutos. Tras esto, se realiza un prelaminado a 10 mm de altura y luego un laminado final a 6 mm, realizando dos pasadas a cada altura. Inmediatamente después se troquelean las galletas con un troquel circular de 40 mm de diámetro, se pesan dos de ellas, se reservan en un recipiente hermético otras 4 (empleadas para evaluar textura de masa) y se hornean las demás durante 14 minutos a 185°C en un horno eléctrico.

Treinta minutos después de salir del horno se toman cuatro galletas y se pesa la galleta horneada y se mide el diámetro mayor y menor y la altura de cada una de ellas. Con los resultados obtenidos se calcula el diámetro medio de cada galleta y el valor de spread, que se define como el cociente entre el diámetro medio y la altura. A continuación se mide su color a través de un espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y observador estándar 2°, y se expresaron en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$. Finalmente, se toman fotografías de las cuatro galletas empleando para ello una cámara digital, situando las galletas bajo luz de lámparas fluorescentes.

2.2.4. Determinación instrumental de la textura

La textura de la masa se ha evaluado empleando un texturómetro TA-XT2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software “Texture Expert”. y una probeta cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro. Las velocidades pre y post-test se fijaron en 2 mm/s, mientras que la velocidad durante el test se estableció en 1 mm/s. Los discos de masa, de 6 mm de altura, se centran bajo la sonda cilíndrica y se comprimen 3 mm, lo que supone un 50% de su altura. Tras ello la sonda vuelve a su posición inicial. Mediante este test se obtiene el módulo de Young de la masa, que corresponde con la zona rectilínea de la pendiente; la fuerza máxima, que se

corresponde con el punto de máxima compresión; y la pegajosidad, que se mide a través del máximo valor negativo de fuerza registrado durante la vuelta de la sonda a su posición inicial. Este ensayo se realiza cuatro veces por cada elaboración (dando un total de 8 veces para cada masa) y se lleva a cabo inmediatamente tras el troquelado de la masa, para evitar la pérdida de humedad de la misma.

Para la determinación de la textura de las galletas, se realizan dos ensayos tras un enfriamiento de las galletas de 60 minutos. Ambos ensayos se realizan empleando el mismo texturómetro utilizado para la determinación de la textura de la masa. El primero de estos ensayos se realiza empleando una sonda esférica P/025S de Stable Micro Systems, unas velocidades pre y post-test de 2 mm/s, y una velocidad durante el test de 1 mm/s. Se fija una distancia de recorrido de la sonda suficiente para asegurar la rotura de la galleta y se mide la fuerza máxima soportada por la galleta y el módulo elástico de la galleta, obtenido a través de la pendiente rectilínea que se registra antes de la rotura. Este ensayo se realiza a un mínimo de 6 galletas por elaboración.

El segundo ensayo realizado es el conocido como “three point bending test” y trata de simular el mordisco del consumidor (Pareyt et al, 2008). En este test se emplea una sonda de acero con forma de cuchilla (“blade”), cuyas dimensiones son 70x3mm, y unas velocidades pre, durante y post-test de 2,5, 2 y 10 mm/s respectivamente. La sonda desciende una distancia suficiente para asegurar la rotura de la galleta y se registra la fuerza máxima soportada por la galleta. Durante este ensayo se evalúa también el desmigado de la galleta. Para ello, se pesa la galleta antes de someterla al ensayo y, posteriormente, se pesan los trozos de la galleta de tamaño mayor a 5 mm. La diferencia de pesos es la cantidad de migas generadas y el desmigado se expresa como el porcentaje de peso de esas migas. Este ensayo se realiza a un mínimo de 6 galletas por lote (un total de 6 galletas x 2 elaboraciones de cada galleta).

2.2.5. Determinación la humedad de la galleta final

Dos horas después de salir del horno, se evalúa la humedad de las galletas obtenidas. Para ello, se muelen 3 gramos de galleta y rápidamente se someten al mismo ensayo realizado para medir la humedad de la harina. Este método se realiza por cuadruplicado en cada elaboración (un total de 8 galletas de cada tipo).

2.2.6. Evaluación sensorial de la galleta final

Las características sensoriales de las galletas fueron determinadas por un panel de cata formado por 63 personas de edades entre 18 y 44 años. Estos participantes voluntarios fueron seleccionados en la Facultad de Ingeniería Agrícola de Palencia, España, y consumen galletas de forma habitual como parte de su dieta. A los

panelistas se les presentó un plato con 4 galletas (trigo, maíz precocido fino, arroz corto fino y trigo sarraceno) que debían catar en orden aleatorio y de las cuales tenían que evaluar la apariencia, olor, textura, gusto y aceptación general a través de una escala hedónica de nueve puntos, que oscila entre “me gusta muchísimo” (puntuación 9) y “me desagrada muchísimo” (puntuación 1). Las muestras fueron catadas un día después de haber sido elaboradas.

2.2.7. Análisis estadístico

Todo el análisis estadístico realizado con los datos obtenidos fue realizado empleando el software Statgraphics Centurión XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA). Los datos de las distintas variables se trataron 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 realizó 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; y un coeficiente de correlación (CC) que indica la fuerza de la relación en una escala de -1 a $+1$, siendo más fuerte la relación cuanto mayor es el valor absoluto. Valores positivos indican relaciones directas y valores negativos indican relaciones inversas. Con el fin de obtener una representación gráfica de la similitud entre las distintas galletas elaboradas, también se llevó a cabo un análisis de conglomerados con estandarización de los datos y empleando el Centroide como Método de Conglomeración y la Euclidiana Cuadrada como Métrica de Distancia.

3. Resultados y discusión

3.1. Propiedades de las harinas

Los resultados obtenidos en los distintos ensayos se recogen en las tablas 2 y 3:

Tabla 2: Datos obtenidos en los ensayos de caracterización de las harinas (1)

| Harina | Humedad harina (%) | Tº gelatinización (cp) | Viscosidad max. (cp) | Estabilidad (cp) | Retrogradación (cp) |
|------------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Arroz corto fino | 12,31 | 69 ^{ab} | 3819 ^{de} | 1877 ^f | 1583 ^c |
| Arroz corto gru. | 12,00 | 69 ^{ab} | 4003 ^e | 1767 ^{ef} | 1387 ^{bc} |
| Arroz largo fino | 12,85 | 64 ^a | 3935 ^{de} | 1816 ^{ef} | 2613 ^e |
| Arroz largo gru. | 12,79 | 78 ^{bc} | 3251 ^c | 1155 ^{cd} | 2131 ^d |
| Maíz fino | 11,38 | 73 ^{ab} | 4442 ^f | 2452 ^g | 3543 ^f |
| Maíz grueso | 10,12 | 73 ^{ab} | 3562 ^{cd} | 1468 ^{de} | 3548 ^f |
| Maíz pre. fino | 9,74 | 72 ^{ab} | 1553 ^a | 588 ^{ab} | 1040 ^a |
| Maíz pre. gru. | 9,88 | 71 ^{ab} | 1731 ^a | 557 ^{ab} | 1173 ^{ab} |
| Trigo sarraceno | 13,69 | 75 ^{abc} | 3220 ^c | 597 ^{ab} | 920 ^a |
| Teff | 12,92 | 74 ^{abc} | 1543 ^a | 367 ^a | 946 ^a |
| Trigo | 12,36 | 87 ^c | 2342 ^b | 828 ^{bc} | 1152 ^{ab} |

Tabla 3: Datos obtenidos en los ensayos de caracterización de las harinas (2)

| Harina | WHC (g/g) | WBC (g/g) | SW (cm/cm) | OAC (g/g) | % Almidón dañado | %Proteína | D (4:3) (µm) |
|------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|----------------------|--------------|
| Arroz corto fino | 10,4 ^b | 130,7 ^e | 165,3 ^{abcd} | 1,63 ^{ab} | 10,2 ^f | 7,45075 ^e | 81,30 |
| Arroz corto gru. | 8,1 ^a | 115,1 ^d | 230,0 ^e | 1,79 ^{de} | 4,0 ^{bc} | 8,70505 ^h | 250,00 |
| Arroz largo fino | 8,2 ^a | 131,6 ^e | 150,0 ^{ab} | 1,65 ^{abc} | 10,6 ^f | 7,737 ^f | 72,60 |
| Arroz largo gru. | 7,2 ^a | 99,0 ^b | 183,3 ^{bcd} | 1,69 ^{abcd} | 4,4 ^c | 8,46435 ^g | 228,00 |
| Maíz fino | 20,4 ^e | 157,0 ^f | 190,9 ^{cd} | 1,94 ^f | 7,9 ^e | 5,6324 ^a | 65,20 |
| Maíz grueso | 8,57 ^a | 168,9 ^g | 138,9 ^a | 1,78 ^{cde} | 8,8 ^e | 6,19555 ^b | 150,00 |
| Maíz pre. fino | 18,5 ^d | 282,1 ⁱ | 266,7 ^f | 1,83 ^{ef} | 13,8 ^g | 7,27475 ^d | 68,00 |
| Maíz pre. gru. | 20,8 ^e | 264,1 ^h | 371,4 ^g | 1,65 ^{abc} | 13,5 ^g | 6,99415 ^c | 174,00 |
| Trigo sarraceno | 8,7 ^a | 107,0 ^c | 160,7 ^{abc} | 1,57 ^a | 1,2 ^a | 9,95745 ^j | 172,00 |
| Teff | 14,1 ^c | 126,7 ^e | 200,0 ^{de} | 1,73 ^{bcde} | 3,5 ^b | 10,4775 ^k | 97,40 |
| Trigo | 7,4 ^a | 83,4 ^a | 150,0 ^{ab} | 1,82 ^{def} | 6,0 ^d | 8,918 ⁱ | 83,60 |

El primer parámetro analizado en el estudio es la humedad de la harina. La influencia de la humedad en las propiedades de las masas y galletas obtenidas debería ser nula, ya que el valor de humedad de las masas se corrige añadiendo una cantidad de agua que depende de la humedad de la harina empleada. Sin embargo, algunos autores (Doescher & Hosney, 1985) respaldan la teoría de que el agua presente en la harina como humedad no juega el mismo papel que el agua añadido durante la elaboración de la masa, con lo que dos masas con el mismo porcentaje de agua pero distinto origen podrían no tener las mismas propiedades. Los resultados obtenidos en este estudio parecen descartar esta hipótesis, ya que el análisis estadístico no muestra correlación entre el valor de humedad de la harina y alguno de los parámetros de la masa/galleta. Además, pese a que sí que existen correlaciones entre la humedad y algunas propiedades de la harina (como se verá más adelante), todas ellas juegan un papel importante en la hidratación de la harina, con lo que la humedad podría ser más una consecuencia de éstas que un factor que altere otras propiedades de las harinas, modificando a su vez las propiedades de las masas/galletas resultantes.

En lo que respecta a los datos obtenidos a partir del análisis RVA se observan diferencias entre los distintos parámetros y valores de cada harina. En PT los datos son muy similares para las distintas harinas ya que sólo se observan tres grupos de significancia y la diferencia entre los valores máximos y mínimos supone apenas un 20% del valor máximo. En cambio, el valor de PV muestra diferencias más evidentes. Tres harinas destacan sobre el resto por su bajo valor: las de maíz precocido y la de teff, con valores por debajo del 60% del valor de cualquier otra harina. El bajo valor de las harinas de maíz precocido es de esperar por el proceso de pre cocción, en el que parte del almidón es gelatinizado, bloqueando su capacidad de aumentar la viscosidad en posteriores hidrataciones. En el caso del teff, se debe a la gran cantidad de salvado, y por tanto de proteína, presente en esta harina, lo cual reduce la cantidad de

almidón, que es el causante del aumento de viscosidad. En el otro extremo, las harinas de maíz presentan los valores más altos como consecuencia de la baja cantidad de proteína y por tanto alto porcentaje de almidón. BR continúa la tendencia de PV, registrando el valor más alto el maíz fino y el más bajo el teff. Las harinas de maíz precocido también presentan valores bajos en este parámetro, ya que TR no se ve afectada por el proceso de pre cocción, con lo que BR (la diferencia entre PV y TR) es bajo. Finalmente, se puede observar como ST también cumple la tendencia anterior. De nuevo, el maíz fino presenta uno de los mayores valores, muy similar al maíz grueso y el teff y los precocidos unos de los más bajos. A excepción de PT, que no muestra relación con ningún otro parámetro, la relación que se intuye entre los demás parámetros obtenidos del RVA, queda confirmada al efectuar el análisis estadístico correspondiente, obteniéndose unos CC de 0,9007, 0,6647 y 0,7332 para los pares de variables PV-BR, PV-ST y BR-ST respectivamente, todas ellas con un grado de significancia superior al 99,9%. La relación entre PV y BR resulta obvia, ya que BR considera el valor del primero en su cálculo. Por otro lado, ST incluye el valor de TR, que a su vez es también tenido en cuenta en el cálculo del BR, con lo que ambas están lógicamente relacionadas. Por último, la relación entre PV y ST radica en que tanto ST como PV miden un aumento de viscosidad debida al almidón, el primero por su retrogradación y el segundo como efecto de la hidratación del mismo. Por tanto, el porcentaje de almidón presente en una harina y su relación amilosa-amilopectina marcará los valores de ambos parámetros.

En cuanto a las propiedades de hidratación de las harinas, lo primero que llama la atención es la gran diferencia que se observa entre algunos de los valores que presentan las distintas harinas. Los valores de WHC de las harinas de arroz largo grueso y de trigo, suponen apenas un 40% del valor de las harinas de maíz precocido y de maíz fino, que corresponden a los valores máximos. El resto de harinas presentan unos valores de WHC muy similares entre sí (entre 8,2 y 10,4) y cercanos a los valores mínimos, con la única excepción de la harina de teff. También resulta llamativa la gran diferencia existente entre la harina de maíz grueso y fino, ya que el valor de la gruesa apenas supone un 40% del de la fina. Esta gran desigualdad no se da en el resto de harinas que cuentan con dos granulometrías. También en el parámetro WBC las harinas de maíz precocido presentan los mayores valores y las harinas de arroz largo grueso y de trigo los valores más bajos. Nuevamente existe una gran diferencia entre ambos extremos, ya que los valores mínimos representan en torno al 35% de los valores máximos. Otra semejanza con los valores de WHC es que cinco de las harinas presentan unos valores muy similares, que oscilan en un rango muy estrecho de entre 107 y 131,6, valores cercanos a los valores mínimos. Al igual que en las dos variables

anteriores, los mayores valores de SW se registraron para las harinas de maíz precocido. Sin embargo, en este caso la diferencia entre los valores de ambas fracciones (28%) son muy superiores a las que se dieron en WHC y WBC, donde rondaban el 10%. También en este caso el trigo presenta el valor más bajo, igual que el arroz largo fino; y existe una gran agrupación de valores cercanos a los valores mínimos y muy cercanos entre sí (entre 160,1 y 200,0). Las similitudes encontradas en el patrón de resultados de las variables WHC, WBC y SW inducen a pensar que pueden existir correlaciones entre estas tres variables. El análisis estadístico correspondiente confirma que existen correlaciones importantes entre las tres variables con un grado de significancia del 99,9% y unos CC de 0,7748, 0,7037 y 0,7442 para los pares de variables WHC-WBC, WHC-SW Y WBC-SW respectivamente. Estas correlaciones eran fácilmente predecibles ya que las tres variables están relacionadas con las propiedades de hidratación de las harinas y, mientras que WHC y WBC miden de distinta manera la capacidad de absorber y retener agua, SW mide el hinchamiento de la harina como consecuencia de esta absorción. Tradicionalmente se ha considerado que los valores de estas tres variables están influidas fuertemente por la humedad del agua, ya que a más humedad menor es la capacidad de absorber más agua y, por tanto, menor es también el hinchamiento. Los resultados obtenidos respaldan esta teoría, al haberse encontrado correlaciones entre la humedad de la harina y WHC, WBC y SW, con unos CC de -0,6068, -0,8580 y -0,5766 respectivamente y unos grados de significancia del 99, 99,9 y 99% respectivamente. Otro factor con una importante influencia en las propiedades de hidratación de las harinas es el porcentaje de almidón dañado presente en la harina. Este punto también ha sido confirmado por las correlaciones obtenidas en el presente estudio, en el que se han obtenido unos CC con el almidón dañado de 0,5501, 0,8014 y 0,4881 y un grado de significancia del 99, 99,9 y 95% para WHC, WBC y SW respectivamente. Estas relaciones se explican por la mayor absorción de agua del gránulo de almidón dañado, que es capaz de absorber tres veces más agua que uno intacto (Manley, 2000).

En lo que respecta a la relación entre las capacidades de hidratación y el contenido proteico de las harinas, los resultados son contrarios a lo esperado. Si bien es de esperar que un mayor nivel de proteína implique mayores capacidades de hidratación, los resultados obtenidos en este estudio indican lo contrario. Se han encontrado relaciones entre WHC y WBC y el porcentaje de proteína con CC negativos (-0,4400 y -0,5121 respectivamente, con un grado de significancia del 95%) que indican que un aumento en la cantidad de proteína implica una reducción de los valores de WHC y WBC. Pese a que las proteínas tienen un poder de hidratación considerable, esta

relación inversa puede deberse a la suma de dos factores: el primero es que se ha encontrado una fuerte relación proteínas-humedad de la harina ($CC=0,7193$, con un grado de significancia del 99,9%), y como ya se ha comentado, mayores niveles de humedad en la harina implican menores valores de WHC y WBC. El segundo factor es que un mayor nivel de proteína supone valores más bajos de almidón, que a su vez implican propiedades de hidratación menores. Esta relación también está respaldada por los datos obtenidos, ya que se ha obtenido un CC entre ambos parámetros de $-0,6976$ con un grado de significancia del 99,9%. Por tanto, la suma de la mayor humedad de la harina y el menor porcentaje de almidón dañado contrarrestan el efecto de las propiedades de hidratación de las proteínas de la harina. Se puede, por tanto, concluir que la mayor hidratación que se esperaría de un mayor nivel de proteínas se manifiesta únicamente en la humedad de la harina al inicio de la elaboración del producto, y no en las propiedades de hidratación de la harina. Terminando con el análisis de las capacidades de hidratación, se puede observar que los valores e OAC son bastante similares entre sí, con una diferencia entre los extremos en torno al 15%. Además, no se ha observado ninguna relación con el resto de propiedades de la harina. Sin embargo, como se verá en el apartado siguiente, esta propiedad si que tiene influencia en otros parámetros de la masa y la galleta final.

Mención aparte merece el estudio de la granulometría de las harinas empleadas. Se ha observado que existe una dispersión de valores notable, con diferencias entre los valores de la harina de arroz corto grueso (mayor valor de D (4:3)) y la de maíz fino (el menor) superiores al 65%. Además, se puede comprobar como el proceso de tamizado da como resultado una gran diferenciación en el tamaño de partículas entre las fracciones gruesas y finas, con valores que oscilan entre 65,20 y 81,30 μm para las fracciones finas y 150,00 y 250 para las gruesas. Por último, aunque D (4:3) no tiene influencia en el resto de variables de la harina, sí que se han observado correlaciones con la gran mayoría de las propiedades tanto de la masa como de la galleta. Debido a la gran influencia de este parámetro, estas relaciones se discutirán a lo largo de los siguientes capítulos, según se analicen las propiedades sobre las que influye.

3.2. Propiedades de las masas

En la siguiente tabla se recogen los resultados de textura de las masas elaboradas:

Tabla 4: Resultados obtenidos en los ensayos de textura realizados a las masas

| Harina | F _{max} masa (N) | Pegajosidad (N) | M _{elástico} masa (N/mm) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Arroz corto fino | 12,399 ^{abc} | -1,965 ^{bc} | 8,46 ^{bcd} |
| Arroz corto grueso | 7,734 ^a | -0,985 ^d | 3,88 ^a |
| Arroz largo fino | 17,575 ^{cd} | -2,144 ^{abc} | 12,47 ^e |
| Arroz largo grueso | 12,765 ^{abc} | -1,067 ^d | 5,50 ^{abc} |
| Maíz fino | 27,571 ^e | -2,944 ^a | 19,00 ^f |
| Maíz grueso | 23,338 ^{de} | -1,799 ^{bcd} | 12,13 ^e |
| Maíz precocido fino | 16,475 ^{bcd} | -2,600 ^{ab} | 10,33 ^{de} |
| Maíz precocido grueso | 7,383 ^a | -1,307 ^{cd} | 4,19 ^{ab} |
| Trigo sarraceno | 8,696 ^{ab} | -1,935 ^{bc} | 5,15 ^{abc} |
| Teff | 16,207 ^{bcd} | -2,184 ^{ab} | 7,26 ^{abcd} |
| Trigo | 13,366 ^{abc} | -2,832 ^a | 8,56 ^{cde} |

En lo referente a la fuerza máxima, sólo dos galletas presentan diferencias significativas con la galleta control de trigo: las elaboradas con maíz fino y grueso, que presentan los valores más altos. En el otro extremo, las masas más blandas son la de maíz precocido grueso y la de arroz corto grueso. Esta última también presenta el valor absoluto más bajo de pegajosidad y de módulo elástico, mientras que el maíz fino presenta el más alto para ambos parámetros. Por tanto, la masa de maíz fino muestra los mayores valores de los tres parámetros de la masa estudiados, mientras que la masa de arroz corto grueso muestra el menor de pegajosidad y módulo elástico y el segundo menor de fuerza máxima, con un valor prácticamente igual al de la masa con menor valor. Esta relación entre los valores máximo y mínimo de las distintas variables permite intuir que existe una cierta correlación entre ellas, tal y como confirma el análisis estadístico realizado. Las relaciones obtenidas presentan unos CC de 0,9369 para la relación fuerza máxima-módulo elástico, de -0,6701 entre pegajosidad y módulo elástico, y de -0,5953 para la relación entre la pegajosidad y la fuerza máxima; con un grado de significancia del 99,9% para los dos primeros y del 99% para el tercero. Hay que remarcar que, dado el valor negativo de la pegajosidad, CC negativos con esta variable implican que valores más altos de F_{max} y módulo elástico de la masa conllevan mayores valores absolutos de pegajosidad.

Por otro lado, al analizar los valores recogidos en la tabla 4, se puede observar el importante papel que juega la granulometría de la harina. En los cuatro casos en los que se separó la harina en dos fracciones, se observa que la masa elaborada con la fracción gruesa presenta valores absolutos más bajos para los tres parámetros que la elaborada con la fracción fina. Además, la masa elaborada con harina de maíz fina (con el menor D (4:3)) muestra los mayores valores para los tres parámetros de la masa estudiados, y la masa de arroz corto grueso (mayor D (4:3)) muestra el menor de pegajosidad y módulo elástico y el segundo menor de fuerza máxima. Esto sugiere

que existe una relación entre las propiedades texturales de la masa y la granulometría de la harina empleada. A pesar de que no se observa relación entre la granulometría y la variable F_{max} de la masa, sí existe una relación con un alto grado de significancia (99%) con el módulo elástico y la pegajosidad. Los valores obtenidos del CC de la granulometría con la pegajosidad y el módulo elástico fueron de 0,7360 y -0,5547 respectivamente, con lo que menores D (4:3) implican masas con mayores módulos elásticos y mayores valores absolutos de pegajosidad. Cabe reseñar que la granulometría es la única variable de la harina que influye en el valor de pegajosidad de la masa, sin embargo, existen otras variables con una influencia importante en las otras dos propiedades de la masa, como son la OAC y el porcentaje de proteína. Las relaciones de la fuerza máxima y el módulo elástico de la masa con el OAC (CC de 0,5105 y 0,5198 respectivamente y un grado de significancia para ambos del 95%) se deben a que los bajos valores de OAC de la harina provocan que muy poca de la grasa empleada quede retenida por la matriz de la harina, originando masas con un aspecto muy fluido y untuoso que ejercen muy poca resistencia a la deformación. Esto está en consonancia con lo enunciado por Pareyt & Delcour (2008), quienes observaron que la grasa recubre las partículas de harina y azúcar suavizando la textura de la masa. Del mismo modo se pueden explicar las correlaciones con el nivel de proteína de la harina. Como ya se ha comentado en el apartado 3.1, altos niveles de proteína implican altas humedades de harina y bajos niveles de almidón dañado, factores ambos que se traducen en bajos valores de WHC y WBC. Al igual que ocurre con el OAC, bajos valores de WHC y WBC provocan que la más agua este disponible, generando una masa mas líquida y menos resistente a la deformación. Estas mismas conclusiones fueron alcanzadas por Hosney & Rogers (1994).

3.3. Propiedades de las galletas

Una vez comentados los datos obtenidos en el estudio de las masas, se puede comenzar la discusión de los resultados recogidos de las experiencias con galletas. Los datos relacionados con tamaño, peso y color se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5: Peso, dimensiones y color de las galletas obtenidas

| Harina | Peso galleta (g) | Pérdida de peso (%) | Altura de galleta (mm) | Diámetro medio (mm) | Spread Ratio | L* | a* | b* |
|------------------|--------------------|---------------------|------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| Arroz corto fino | 8,0 ^{bc} | 11,1 ^a | 8,00 ^{def} | 46,77 ^f | 5,86 ^a | 75,64 ^{cde} | 0,62 ^a | 22,51 ^{cd} |
| Arroz corto gru. | 7,5 ^{ab} | 16,7 ^a | 4,26 ^a | 63,07 ^h | 14,83 ^c | 52,43 ^a | 8,54 ^e | 17,49 ^{ab} |
| Arroz largo fino | 7,8 ^{abc} | 11,4 ^a | 7,96 ^{def} | 43,49 ^{cd} | 5,47 ^a | 76,99 ^{de} | 1,07 ^a | 22,14 ^{bcd} |
| Arroz largo gru. | 7,6 ^{ab} | 16,5 ^a | 4,25 ^a | 62,78 ^h | 14,88 ^c | 49,86 ^a | 9,65 ^{ef} | 15,31 ^a |
| Maíz fino | 7,9 ^{bc} | 11,0 ^a | 8,19 ^{ef} | 41,39 ^{ab} | 5,06 ^a | 80,08 ^e | 4,20 ^{bc} | 35,42 ^e |
| Maíz grueso | 7,9 ^{bc} | 12,2 ^a | 8,87 ^g | 44,26 ^{cde} | 5,00 ^a | 76,24 ^{cde} | 5,50 ^{cd} | 35,72 ^e |
| Maíz prec. Fino | 7,8 ^{abc} | 12,4 ^a | 7,31 ^c | 39,96 ^a | 5,47 ^a | 70,31 ^{bc} | 9,51 ^{ef} | 39,50 ^e |
| Maíz prec gru. | 7,3 ^a | 13,1 ^a | 7,78 ^{cde} | 42,94 ^{bc} | 5,53 ^a | 68,24 ^b | 10,26 ^f | 37,69 ^e |
| Trigo sarraceno | 8,3 ^c | 11,0 ^a | 8,35 ^{fg} | 45,68 ^{ef} | 5,48 ^a | 67,02 ^b | 5,96 ^d | 18,37 ^{abc} |
| Teff | 7,6 ^{ab} | 13,9 ^a | 7,61 ^{cd} | 45,09 ^{def} | 5,93 ^a | 55,27 ^a | 8,59 ^e | 22,64 ^{cd} |
| Trigo | 8,3 ^c | 13,7 ^a | 6,67 ^b | 54,47 ^g | 8,17 ^b | 72,36 ^{bcd} | 3,94 ^b | 24,55 ^d |

A pesar de las diferencias comentadas entre las distintas harinas y masas resultantes, las galletas obtenidas no presentan diferencias significativas en el porcentaje de peso perdido tras el horneado, debido a la gran variabilidad de este parámetro de unas galletas a otras. Sin embargo, sí que existen diferencias significativas en el peso de la galleta final, pese a existir diferencias de apenas un 12% entre los valores máximo y mínimo. La galleta control de trigo presenta el peso más alto de todas, y cuatro galletas presentan diferencias significativas con ella: las galletas de arroz grueso (largo y corto), la de teff y la de maíz precocido grueso, que es la más ligera de todas las galletas. En lo referente a las dimensiones de las galletas, existen diferencias más evidentes y generalizadas que en el caso del peso. Por ejemplo en la altura, se puede observar que el máximo valor, correspondiente a la galleta de maíz grueso, duplica el valor mínimo, que corresponde a las galletas de arroz grueso. Sin embargo, una vez descartadas las galletas de arroz grueso, todas las demás presentan valores que se encuentran en una horquilla de dos milímetros. Este rango de valores puede incluso estrecharse si se segrega del grupo la galleta control, que presenta el tercer valor más bajo. En cambio, al estudiar los valores de diámetro medio de las galletas, se puede observar que son precisamente las galletas con menor altura, las de arroz grueso, las que presentan una mayor expansión. La diferencia de tamaño entre estas dos galletas y las demás es superior a un 15% (>8mm), siendo la siguiente más grande la galleta de trigo. Entre las demás galletas también existen diferencias significativas, sin embargo estas son menores, ya que la diferencia entre la mayor y la menor es de menos de 7 mm. Lógicamente, las diferencias ya comentadas se acentúan todavía más cuando se analizan los valores de spread. Para esta variable, se evidencian tres grupos claramente diferenciados: las galletas de arroz de granulometría gruesa (entre 14,83 y 14,88), la galleta de trigo (8,17) y todas las demás (entre 5,00 y 5,93 para el teff). Tanto el alto valor de este parámetro como el bajo valor de luminosidad (L*) que

presentan las galletas de arroz de granulometría gruesa están provocados por las pobres propiedades mecánicas de sus masas, que ocasionan una gran expansión de las mismas y por tanto una mayor superficie de calentamiento. Esto provoca la caramelización de los azúcares presentes en la masa y el consiguiente color oscuro característico. Se han hallado CC del spread con el módulo elástico y la pegajosidad de -0,4702 y 0,5791 con un grado de significancia del 95 y 99% respectivamente; y CC spread-L de -0,7708 con un grado de significancia del 99,9%, lo cual confirma este razonamiento. Siguiendo la deducción anterior, es lógico suponer que un mayor spread también supondrá mayores porcentajes de pérdida de peso de la galleta durante el horneado, ya que el principal motivo de la reducción de peso de la galleta es la pérdida de agua de la masa. Esta pérdida se incrementa al aumentar el diámetro de la galleta, ya que aumenta la superficie de intercambio galleta-aire en el interior del horno (CC spread-%pérdida de peso= 0,6125 y p-valor=0,0024). De un modo similar, esta mayor pérdida de agua, conlleva una mayor temperatura en la superficie de la galleta y por tanto reacciones de Maillard más acentuadas, que se traducen en una superficie más oscura y valores menores de L. Existe por tanto una relación indirecta entre la pérdida de peso y L*, caracterizada por un CC de -0,5242, con un grado de significancia del 95%. Continuando con las reacciones de Maillard, resulta lógico suponer que también existe relación entre el nivel de proteína de la harina y la luminosidad de la galleta, ya que estas reacciones se dan entre un azúcar reductor (cetosa o aldosa) y un grupo amino libre proveniente de un aminoácido o una proteína. Estas reacciones conllevan la producción de melanoidinas coloreadas que oscurecen la galleta, con lo que se obtienen valores menores de L*. La relación entre L* y el nivel de proteína presenta un CC de -0,06269, con un grado de significancia del 99%.

Además de presentar relaciones con ciertos parámetros de la masa, las dimensiones de la galleta se ven fuertemente influidas por las propiedades de la harina empleada. Por ejemplo, el diámetro de la galleta muestra una correlación inversa con los valores obtenidos en los ensayos WHC y WBC y porcentaje de almidón dañado de la harina (CC de -0,6245, -0,5975 y -0,5479, con un grado de significancia del 99%). Como ya se explicó anteriormente, la relación entre el diámetro y estos tres parámetros es debida a que una mayor absorción de agua dentro de la matriz de la masa/galleta, implica una menor cantidad de agua libre, con lo que se obtiene una masa menos fluida que se expande menos durante el horneado. Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Donelson & Gaines, (1998), Barrera et al. (2007), Manley (2000).

Dada la fuerte relación comentada en el punto 3.2 entre la granulometría y las

propiedades de la masa, era de esperar que esto se reflejara también en las propiedades de la galleta. Como se puede observar en la tabla 5, los valores de las galletas elaboradas con fracciones gruesas son inferiores a sus homónimas de fracción fina para los parámetros peso de la galleta, altura y L^* , y superiores para % pérdida de peso, diámetro y spread. Esto es debido al fuerte efecto de la granulometría sobre las propiedades de la masa, y el efecto de estas sobre las dimensiones, peso y luminosidad de la galleta final. El análisis estadístico realizado a las variables de la tabla 5 mostró que únicamente la coordenada colorimétrica b^* no presenta relación con D (4:3). Los CC con este parámetro fueron de -0,5940 y 0,5756 para el peso tras el horneado y el % de pérdida de peso respectivamente, con un grado de significancia del 99%; y de 0,7148, 0,6602, 0,7485, -0,8420 y 0,7309 para la altura, el diámetro, el spread, L^* y a^* , todos ellos con un grado de significancia del 99,9%. La relación spread-tamaño de partícula concuerda con lo enunciado por Pareyt & Delcour (2008). Por último, cabe reseñar que, en contra de los resultados obtenidos por Doescher et al. (1987b) y Miller & Hosney (1997), no se ha hallado relación entre las dimensiones de las galletas y el nivel de proteína de la harina empleada. Estos autores afirman que mayores niveles de proteína dan lugar a masas más viscosas que se expanden menos durante el horneado debido a la capacidad de absorción de agua de las proteínas y a la red de gluten, en caso de que esta se forme. En cambio, en el presente estudio se ha observado que la cantidad de proteína tiene una relación inversa con el porcentaje de almidón dañado y directa con la humedad de la harina, factores que reducen la absorción de agua de la harina, con lo que se obtienen masas más líquidas, como ya se ha explicado anteriormente. El hecho obtener datos contrarios a estos autores también sugiere que la red de gluten no se llega a formar debido al bajo amasado.

Respecto al análisis del color de las galletas, debido a la complejidad de describir los valores de a^* y b^* , y a lo poco que esto aporta, se ha preferido realizar una descripción visual de las distintas galletas remarcando sus principales propiedades. Para mayor detalle, se han incluido fotografías de las galletas obtenidas en la tabla 1 de los anejos. El hecho más destacable es la distinta apariencia de las galletas de arroz grueso, con un tamaño muy superior al resto, borde muy irregular y la presencia de poros que permiten ver el fondo negro a través de la galleta, debido al escaso grosor de la misma. También se puede observar un color pardo típico de las reacciones de Maillard, muy diferente al color de las galletas de arroz fino. En las otras galletas, resaltan los característicos colores blancos de las galletas de arroz fino, los amarillos del maíz y el maíz precocido y los marrones del teff y el trigo sarraceno. A diferencia de las galletas de arroz grueso, el color pardo de estas dos galletas es debido

principalmente al color natural de la harina que, como ya se ha comentado anteriormente, contenía una cierta cantidad de salvado. También el trigo presenta un color amarillo, similar al de las galletas de maíz, aunque menos brillante.

Por otro lado, si anteriormente se han discutido los resultados de peso, tamaño y color de las galletas, a continuación se van a comentar los datos concernientes a las características texturales de las mismas, que vienen recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 6: Propiedades texturales de las galletas

| Harina | F _{max} (esfera) (N) | M. elástico galleta (N/mm) | F _{max} (blade) (N) | Crumbiness (%) | Humedad galleta (%) |
|------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------|
| Arroz corto fino | 50,26 ^{bc} | 109,34 ^{cd} | 57,72 ^{abc} | 2,33 ^{ab} | 1,41 ^{abcd} |
| Arroz corto gru. | 29,46 ^a | 87,97 ^{ab} | 49,67 ^{ab} | 7,19 ^c | 0,55 ^a |
| Arroz largo fino | 62,02 ^{cd} | 113,32 ^d | 82,32 ^{cd} | 5,29 ^{bc} | 1,56 ^{bcd} |
| Arroz largo gru. | 30,30 ^a | 89,01 ^{abc} | 79,00 ^{cd} | 5,12 ^{bc} | 0,50 ^a |
| Maíz fino | 95,07 ^f | 116,55 ^d | 96,85 ^d | 2,73 ^{ab} | 2,34 ^d |
| Maíz grueso | 74,77 ^e | 102,95 ^{abcd} | 77,56 ^{bcd} | 3,16 ^{ab} | 1,79 ^{bcd} |
| Maíz pre. fino | 65,99 ^{de} | 112,88 ^d | 84,40 ^{cd} | 0,85 ^a | 1,90 ^{bcd} |
| Maíz pre. gru. | 43,71 ^b | 101,62 ^{abcd} | 39,40 ^a | 2,50 ^{ab} | 1,13 ^{ab} |
| Trigo sarraceno | 87,63 ^f | 111,62 ^d | 97,40 ^d | 0,83 ^a | 2,07 ^{cd} |
| Teff | 71,90 ^{de} | 107,01 ^{bcd} | 85,29 ^{cd} | 1,66 ^a | 1,41 ^{abc} |
| Trigo | 40,21 ^{ab} | 83,26 ^a | 94,22 ^d | 0,94 ^a | 0,98 ^{ab} |

En el análisis de las propiedades texturales de las galletas se debe ser muy cuidadoso, ya que los valores obtenidos van a verse influenciados por la altura de la galleta. A diferencia de los ensayos texturales de masas, donde todas las muestras tenían la misma altura, en el caso de las galletas, la altura de cada una es diferente, con lo que ésta jugará un importante papel en el comportamiento de la galleta. Los resultados de fuerza máxima obtenidos con la sonda esférica son valores que miden la fuerza de rotura ante una distribución combinada de esfuerzos cortantes y de compresión, siendo predominante los segundos debido a la geometría de la sonda. El valor registrado va a tener una gran dependencia con el grosor de la galleta, ya que galletas más gruesas son capaces de ejercer una resistencia mayor debido a la compresión de diversas capas de la galleta que se traduce en un mayor “reparto” del esfuerzo. Por el contrario, los datos obtenidos con la sonda tipo “blade” proporcionan datos con una menor dependencia con esta variable. El motivo de esto es que la geometría de esta sonda produce un efecto de corte en la galleta que conlleva una compresión mucho menor y, por tanto, un reparto despreciable del esfuerzo a lo largo del grosor de la galleta, siendo mayoritarios los esfuerzos cortantes. Las correlaciones halladas respaldan esta afirmación, ya que se ha obtenido un CC entre F_{max} (esfera) y la altura de la galleta de 0,7628 (unos de los valores más altos obtenidos) con un grado de significancia del 99,9%. Esta desigual distribución de esfuerzos explica por qué en las galletas de arroz grueso (muchísimo más finas que las demás) existe una

gran diferencia entre los valores de fuerza máxima de ambos ensayos, mientras que para las demás galletas los valores son muy similares. Los valores de fuerza máxima (esfera) de las galletas elaboradas con la fracción gruesa de harina de arroz corto y largo representan tan solo el 59 y el 38% respectivamente del valor registrado en el ensayo con la sonda tipo cuchilla. En cambio para el resto de galletas, estos porcentajes oscilan entre el 74 y el 109%. Únicamente el trigo presenta un valor comparable a los de arroz grueso, 43%, y es que esta galleta es precisamente la tercera con menor altura. Por tanto, estos valores confirman la gran dependencia que existe entre las propiedades obtenidas con la sonda esférica y la altura de la galleta.

Al analizar los datos recogidos en la tabla 6, se puede observar como la granulometría de la harina parece jugar un papel crucial, igual que ocurre en la masa: todas las galletas elaboradas con fracciones gruesas de harina muestran para los tres ensayos mecánicos unos valores inferiores a sus semejantes elaboradas con la fracción fina. Sin embargo, el análisis estadístico realizado muestra que esta relación no es completa, ya que sólo F_{max} (esfera) y el módulo elástico de la galleta presentan relación con D (4:3): CC de -0,5656 y -0,5145 con un grado de significancia del 99 y 95% para F_{max} (esfera) y el módulo elástico respectivamente. El valor negativo de estos coeficientes indica que un aumento en D (4:3) conlleva valores menores de fuerza y módulo elástico, igual que ocurre en la masa. Sin embargo, esta relación no quiere decir necesariamente que las galletas con un menor D (4:3) tengan una mayor resistencia específica, sino que puede deberse a que menores D (4:3) conllevan masas que se expanden menos y dan lugar a galletas mas altas (como ya se comentó en descripción de las características dimensionales) y por tanto con mayor F_{max} (esfera). El hecho de que solo las variables medidas con la sonda esférica presenten relación con la granulometría respalda este hecho.

Dejando de lado las relaciones con las harinas, se puede observar que se repite la tendencia observada en la masa: los menores valores de módulo elástico y de F_{max} para ambos ensayos corresponden a la galleta de arroz corto grueso y la galleta de maíz fino presenta los valores más altos en dos de las propiedades textuales. Esto sugiere que también existen relaciones entre propiedades de textura de la galleta y la masa. La variable F_{max} (blade), que no presenta relación con la granulometría, muestra relación con la pegajosidad de la masa, precisamente la única variable de la masa relacionada con D (4:3). Esto indica que la relación F_{max} (blade)-pegajosidad no es una relación indirecta derivada de una relación de ambas con otra de las muchas propiedades ligadas a la granulometría, sino que es debida a que las masas con mayor pegajosidad en valor absoluto originan galletas con mayor resistencia al corte

debido a la fuerte cohesividad de la masa. También se ha observado una correlación de F_{max} (blade) con F_{max} (esfera) ($CC=0,6002$, con grado de significancia del 99%), lo cual parece indicar que, pese a que las sondas de ambos ensayos realizan un esfuerzo diferente, la resistencia a ambos tipos de esfuerzo va ligada. Esto podría ser debido a que ambas sondas ejercen una combinación de esfuerzo cortante y de compresión, a que la estructura de la galleta posee resistencia a ambos tipos de esfuerzo, o a una combinación de ambos factores. Un modo de esclarecer esto en pruebas posteriores sería repetir estos ensayos trabajando con sondas cuya geometría permita diferenciar más los tipos de esfuerzos ejercidos. Por ejemplo se podría emplear una sonda cilíndrica y una cuchilla más estrecha y afilada, que ejercerán casi en exclusiva esfuerzos de compresión y cortantes respectivamente. Por otro lado, el hecho de que F_{max} (blade) no presente relación con los valores de fuerza máxima y módulo elástico de la masa resulta lógico, ya que estos dos parámetros se miden empleando una sonda cilíndrica que trabaja completamente en compresión.

Al igual que la F_{max} (blade), el módulo elástico de la galleta también muestra relación con un único parámetro de la masa: el módulo elástico ($CC=0,4749$ y grado de significancia del 95%). Esta relación resulta lógica si se tienen cuenta que ambas variables miden la fuerza ejercida frente a la deformación en el tramo rectilíneo de la misma, y ambas emplean sondas que realizan fundamentalmente esfuerzos de compresión. Esto permite suponer que estructuras en la masa resistentes a este tipo de esfuerzo originan estructuras similares en la galleta final.

A diferencia de los otros dos parámetros texturales de las galletas, el valor de F_{max} (esfera) presenta relación con los tres parámetros de la masa estudiados. Los CC obtenidos son 0,5552, 0,5800 y -0,5327 para F masa, módulo elástico y pegajosidad respectivamente, con grados de significancia del 99% para los dos primeros y del 95% para el tercero. La correlación con la F_{max} de la masa se explica siguiendo el razonamiento desarrollado en el párrafo anterior para la relación entre los módulos elásticos de la masa y la galleta. Por otro lado, resulta lógico suponer que si la F_{max} (esfera) tiene relación con el módulo elástico de la galleta, y éste está correlacionado con el de la masa, debe existir una correlación indirecta entre el módulo elástico de la masa y F_{max} (esfera). Por último, la relación entre F_{max} (esfera) y la pegajosidad es debida a que mayores valores absolutos de pegajosidad se traducen en masas que se expanden menos y por tanto galletas más altas, que dan mayores valores de F_{max} (esfera). Esto concuerda con el valor negativo del CC F_{max} (esfera)-pegajosidad,

La tendencia descrita para las propiedades texturales con respecto a la granulometría de las harinas también puede observarse en los valores de humedad de la galleta: el

mayor contenido en humedad corresponde a la galleta de maíz fino y la segunda menor (casi el mismo valor que la menor) corresponde a la de arroz corto grueso. Además, las galletas de harinas finas presentan invariablemente valores de humedad superiores a sus iguales elaboradas con la fracción gruesa, lo cual está en consonancia con los menores valores de % de pérdida de peso tras el horneado que presentan estas galletas. Esto a su vez se explica por la menor expansión que presentan las galletas con un tamaño de partícula menor, lo cual limita la superficie de producto en contacto primero con el aire del horno, y después con el ambiente. La mayor altura de la galleta también reduce el intercambio de humedad con el ambiente, al ser mayor la distancia de difusión que debe recorrer el agua desde el interior hasta la superficie. Este razonamiento está respaldado por la correlación hallada entre el valor de spread y el de humedad de la galleta: se ha obtenido un CC de -0,7370, con un grado de significancia del 99,9%. El valor negativo del coeficiente indica que un aumento de spread, ya sea por aumento de diámetro de la galleta o por reducción de la altura, conlleva una reducción del valor de humedad obtenido. Debido a que esta mayor expansión viene provocada por unas pobres propiedades mecánicas de la masa, resulta evidente que existirán correlaciones de la humedad con todas estas variables. Los CC hallados son -0,5531, 0,4948 y -0,6427 para las relaciones con la pegajosidad, el módulo elástico y la granulometría, con grados de significancia de 99, 95 y 99% respectivamente. Por último, cabe destacar la poca variabilidad en los valores de humedad de la galleta una vez descartados los datos de las galletas de arroz grueso. Los valores oscilan únicamente entre el 0,98 % del trigo y el 2,34 % del maíz fino. Pese a que en términos relativos supone un valor mayor al doble, en términos absolutos apenas existe diferencia. Además, esta diferencia se torna menor cuando repeticiones realizadas de igual modo proporcionaron valores muy diferentes en función de las condiciones ambientales.

Finalmente, en lo referente al crumbliness, se puede ver como existen cuatro únicos grupos diferenciados de galletas. Uno formado por maíz precocido fino, teff, trigo y trigo sarraceno, con valores muy bajos que oscilan entre 0,83 y 1,66%; otro grupo con valores entre 2,50 y 3,16% formado por el maíz precocido grueso y las dos galletas de maíz; otro formado por las galletas de arroz largo, con valores de 5,12 y 5,29%; y por último la galleta de arroz corto grueso, que presenta un valor de 7,19%, un 35% superior a cualquier otra galleta. Solo tres de las cuatro galletas que tienen fracción gruesa y fina presentan un valor menor para la primera. Sin embargo, esta variable también presenta correlaciones similares a las que se han ido describiendo para el resto de parámetros. Además, el contenido en humedad de la galleta va a jugar un papel crucial en la cantidad de migas generadas en la rotura de la galleta, por la

tendencia quebradiza de los alimentos más secos. Por tanto, resulta lógico pensar que también va a existir una relación entre este parámetro y aquellos parámetros de los que depende el % de humedad. Efectivamente, se han hallado correlaciones con la humedad de la galleta (CC=-0,4591), con el spread (CC=0,5924), con la granulometría (CC=0,4935) y con la pegajosidad (CC=0,5176), todas ellas con un grado de significancia del 95%, a excepción del spread, con un 99%.

3.4. Evaluación sensorial

Tabla 7: Resultados obtenidos en la evaluación sensorial

| Harina | Aspecto visual | Olor | Sabor | Textura | Valoración global |
|---------------------|----------------|-------|-------|---------|-------------------|
| Arroz corto fino | 5,87b | 5,56a | 5,54b | 5,13b | 5,65b |
| Maíz precocido fino | 6,84c | 6,30b | 6,41c | 5,03b | 6,27c |
| Trigo | 5,89b | 6,19b | 5,75b | 5,87c | 5,92bc |
| Trigo sarraceno | 5,37a | 5,40a | 4,49a | 4,32a | 4,76a |

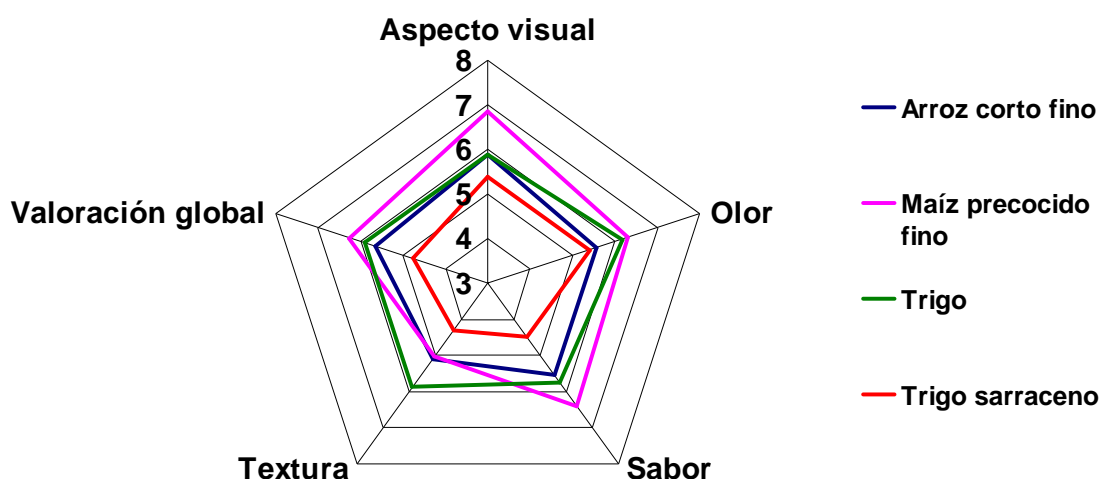


Figura 1: Representación gráfica mediante gráfico radial de los resultados recogidos en la tabla 7.

En la tabla 7 se recogen los datos obtenidos en el análisis sensorial realizado, que a su vez, se encuentran representados en la figura 1. La evaluación de los catadores muestra diferencias significativas entre las galletas para todos los parámetros analizados. Se puede observar como el trigo sarraceno obtiene las menores calificaciones en todas las propiedades, mientras que el maíz precocido fino, por el contrario, recibe la mejor puntuación para todas excepto la textura, atributo en el que el trigo es mejor valorado. Esto concuerda con lo expuesto por Doescher et al. (1987), que definió la expansión como un parámetro de calidad en la textura de las galletas: de las cuatro galletas evaluadas, han obtenido la mayor puntuación en este parámetro las dos galletas con mayor valor de spread. Por su parte, Piazza & Masi (1997) relacionaron la aceptación de la textura por parte del consumidor con una baja humedad. Esto concuerda con los datos obtenidos, ya que el orden de las puntuaciones dadas por los consumidores coincide con el orden inverso de contenido

de humedad de las galletas. Por último, Hosney (1994) relacionó una textura de calidad para el consumidor con un mordisco tierno. Los resultados del test sensorial también sostienen esta afirmación, ya que las puntuaciones otorgadas ordenan las galletas en el mismo orden que los valores de F_{max} (esfera). También resulta interesante observar que las puntuaciones otorgadas por los panelistas para el parámetro olor concuerdan en orden con los valores de OAC de las galletas. Esto parece indicar que un mayor valor de OAC conlleva una menor cantidad libre de grasa en la matriz de la galleta, lo cual permite percibir con mayor claridad los olores propios de la galleta. Finalmente, cabe reseñar que solo la galleta de trigo sarraceno obtiene una calificación inferior al 5, siendo la crítica más habitual en esta galleta su extraño sabor, muy diferente al que está acostumbrado el consumidor habitual de galletas.

Habitualmente, los panelistas describieron las galletas como de sabor agradable pero una textura en general demasiado dura, que penaliza las características de las galletas, con lo que esta podría ser una posible vía de mejora. Otra crítica habitual es el excesivo dulzor en todas las galletas es su excesivo dulzor, que en parte enmascara las características propias de cada harina. Estas dos críticas podrían ser fácilmente solventadas reduciendo el tiempo o temperatura de horneado, y la cantidad de azúcar empleado en la elaboración de la masa en futuras elaboraciones.

3.5. Análisis de conglomerados

Con el objetivo de establecer semejanzas entre las distintas galletas elaboradas, se ha realizado un análisis de conglomerados, también llamado cluster o dendograma. Este análisis agrupa las galletas por subgrupos en función de las variables analizadas y cuantifica las diferencias por medio de una distancia, que da idea de lo similares que son dos galletas. En este análisis se incluyeron las variables de masas y galletas.

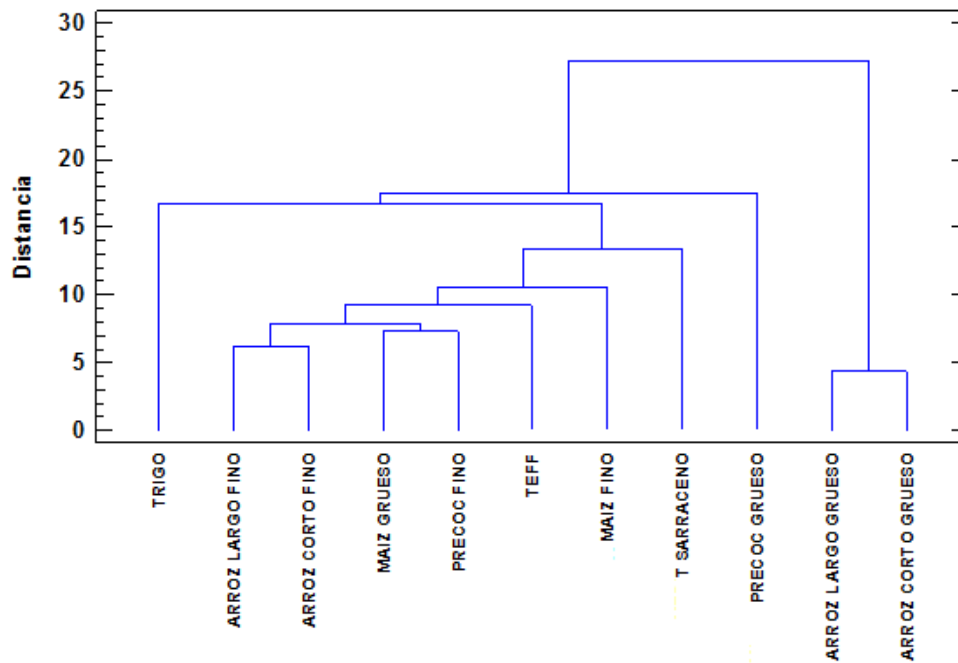


Figura 2: Análisis de conglomerados de las galletas elaboradas en base a las variables de masa y galleta analizadas

El análisis de este gráfico muestra la gran semejanza existente entre las dos galletas de arroz de granulometría gruesa y la gran diferencia que presentan con cualquier otra galleta. Esto concuerda con lo que se ha observado a lo largo de todo el estudio, ya que estas galletas presentan valores extremos de diámetro, altura, L^* , textura de masa y galletas, crumbliness y humedad de galleta, muy cercanos entre sí, pero a menudo muy alejados del resto de galletas. También resultan muy semejantes entre sí las galletas elaboradas con las fracciones finas de arroz. Esa semejanza radica en los valores próximos de pegajosidad de la masa, peso de la galleta, pérdida de peso, dimensiones y color que presentan. También aparecen muy próximas en la figura 2 las galletas de maíz grueso y las de maíz precocido fino, debido a que presentan valores similares de peso de galleta, pérdida de peso, spread, L^* , b^* y módulo elástico de la masa. A su vez existe semejanza entre estas últimas cuatro galletas mencionadas, ya que comparten valores cercanos de peso, pérdida de peso, spread y L^* . A medida que se sube a lo largo de dendrograma, más galletas se van incorporando al conglomerado, y menores son las semejanzas entre ellas. Las galletas de arroz fino, maíz grueso y precocido fino, teff, maíz fino y trigo sarraceno presentan una semejanza menor, basada principalmente en las dimensiones y el peso. Por el contrario, la galleta de trigo y la de maíz precocido grueso aparecen representadas en la figura 2 bastante alejadas de este grupo de galletas. En el caso del trigo, esta diferenciación se debe principalmente a que presenta mayores valores de peso, pérdida de peso, diámetro y spread que éstas y valores muy alejados de F_{max} (esfera) y de humedad. Por el contrario, la galleta de maíz precocido grueso basa su diferencia con estas galletas en

los bajos valores de las propiedades de textura de masa, mucho más cercanos a los valores de las masas de arroz grueso que a las demás; en el bajo valor de peso de la galleta y en los altos valores de a^* y b^* .

La figura 2 es de gran ayuda no solo para ver las semejanzas entre galletas. También resulta muy útil para evaluar la influencia de la granulometría en el producto final. A través de él, se puede ver como la galleta que más se ve afectada por la distribución de partículas de la harina es la de arroz, ya sea de grano corto o grueso, ya que las galletas elaboradas con ambas fracciones se encuentran muy distanciadas como consecuencia de sus distintas dimensiones, peso, color, humedad y propiedades mecánicas, ya sean de la masa o de la galleta final. También las galletas de maíz precocido difieren mucho en función de la fracción empleada. En este caso, las diferencias radican en sus propiedades mecánicas, tanto de masas como de galleta, y en la humedad y el crumbliness de la galleta, pero no en el aspecto final, ya que las dimensiones y color de ambas son muy similares. Por último, las galletas que menos se ven influidas por la granulometría de la harina empleada es la de maíz, aunque esto puede ser debido a que en la fracción gruesa de esta harina se eliminaron las partículas con $D_p > 150 \mu\text{m}$, tal y como se indicó en materiales y métodos. Estas galletas apenas presentan diferencias, siendo las más importantes las relativas a textura de masa y a F_{max} (esfera) y F_{max} (blade).

4. Conclusiones

La granulometría de la harina empleada resulta un factor clave para alcanzar las propiedades físicas deseadas en el producto final. Prácticamente todos los parámetros evaluados muestran una correlación con el tamaño de partícula de la harina, con lo que la influencia de ésta es muy extensa. De un modo general, harinas con un tamaño de partícula mayor producen masas menos resistentes que se expanden más durante el horneado, lo que da lugar a su vez a galletas más extensas, bajas y oscuras y con una menor humedad final. Además, se ha podido comprobar que las diferencias entre dos galletas con el mismo origen pero distinta granulometría serán más evidentes cuanto más diferentes sean las distribuciones de partículas de cada fracción.

El estudio también revela que ninguna de las galletas elaboradas presenta una gran semejanza con la galleta control de trigo, lo que da idea de la dificultad de desarrollar productos libres de gluten capaces de sustituir los productos tradicionales. Esto puede ser debido principalmente a la función desarrollada por el gluten del trigo, cuya importancia es manifiesta incluso en productos como éste, en el cual la red de gluten no llega a formarse. Sin embargo, pese a la falta de sustitutos similares, una de las 3 galletas alternativas evaluadas sensorialmente por potenciales consumidores obtuvo

una calificación superior a la galleta control de trigo. La galleta de maíz precocido fino obtuvo mejor puntuación en 4 de los 5 parámetros evaluados, siendo precisamente la textura el único en el que la galleta de trigo obtuvo mejor puntuación, lo que refuerza la hipótesis de la gran importancia del gluten en las propiedades de la galleta final.

En futuras investigaciones, se debería estudiar la adición de distintos compuestos, como proteínas o gomas, en las galletas de maíz precocido fino con el fin de emular las características de la galleta de trigo. Otra posible vía de investigación es la combinación de distintos tipos de harinas que logren en conjunto recrear las propiedades de la galleta control.

5. **Bibliografía**

- American Association of Cereal Chemists. (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: American Association of Cereal Chemists.
- Baltasvias, A., Jurgens, A., & van Vliet, T. (1997). Rheological properties of short doughs at small deformation. *Journal of Cereal Science* 26, 289–300.
- Barrera, G. N., Pérez, G. T., Ribotta, P. D., & León, A. E. (2007). Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. *European Food Research and Technology* 225, 1–7.
- Calderón de la Barca, A. M., Rojas-Martínez, M. E., Islas-Rubio, A. R., Cabrera-Chávez, F. (2010). Gluten-Free Breads and Cookies of Raw and Popped Amaranth Flours with Attractive Technological and Nutritional Qualities. *Plant Foods for Human Nutrition* 65, 241–246
- Catassi, C., Kryszak, D., Bhatti, B., Sturgeon, C., Helzlsouer, K., Clipp, S.L., Gelfond, D., Puppa, E., Sferruzza, A., Fasano, A. (2010). Natural history of celiac disease autoimmunity in a USA cohort followed since 1974. *Annals of Medicine* 42, 530-538.
- Chevallier, S., Colonna, P., Buléon, A., DellaValle, G. (2000a). Physicochemical behaviors of sugars, lipids, and gluten in short dough and biscuit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 1322–1326.
- Chevallier, S., Colonna, P., Della Valle, G., Lourdin, D. (2000b). Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. *Journal of Cereal Science* 31, 241–252.
- Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyart, B., Trystram, G. (2002). Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of Cereal Science*. 35, 1–10.
- Davis, E. A. (1995). Functionality of sugars: physicochemical interactions in foods. *The American Journal of Clinical Nutrition* 62, 170S-177S.
- Doescher, L. C., Hoseney, R. C., Milliken, G. A. (1987). A mechanism for cookie dough setting. *Cereal Chemistry* 64, 158–163.
- Donelson, J. R. & Gaines, C. S. (1998). Starch-water relationships in the sugarsnap cookie dough system. *Cereal Chemistry* 75, 660–664.
- Eid, M., Abougabal, A., Zeid, Ahmed. (2013). Celiac disease: do not miss that diagnosis. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* 44, 727–735
- Finney, K. F., Yamazaki, W. T., & Morris, V. H. (1950). Effects of varying quantities of sugar, shortening, and ammonium bicarbonate on the spreading and top grain of sugar-snap cookies. *Cereal Chemistry* 27, 30–41.
- Gaines, C. S. & Finney, P. L. (1989). Effect of selected commercial enzymes on cookie spread

and cookie dough consistency. *Cereal Chemistry* 66, 73–78.

- Gaines, C. S., Donelson, J. R., & Finney, P. L. (1988). Effect of damaged starch, chlorine gas, flour particle size, and dough holding time and temperature on cookie dough handling properties and cookie size. *Cereal Chemistry* 65, 384–389.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (3-4), 143- 52.
- Green, P. H. R., & Cellier, C. (2007). Medical progress: Celiac disease. *New England Journal of Medicine* 357 (17), 1731-1743.
- Green, P. H. R., & Jabri, B. (2003). Coeliac disease. *Lancet*, 362(9381), 383-391.
- Gobetti, M., Rizzello, G.M., Di Cagno, R., De Angelis, M., 2007. Sourdough lactobacilli and celiac disease. *Food Microbiology* 24, 187-196.
- Ghotra, B. S., Dyal, S. D., & Narine, S. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International* 35, 1015–1048.
- Hadnađev, T. R. D., Torbica, A. M., Hadnađev, M. S. (2012) Influence of Buckwheat Flour and Carboxymethyl Cellulose on Rheological Behaviour and Baking Performance of Gluten-Free Cookie Dough. *Food and Bioprocess Technology* 6, 1770–1781
- Hill, I. D., Dirks, M. H., Liptak, G. S., Colletti, R. B., Fasano, A., Guandalini, S., Hoffenberg, E. J., Horvath, K., Murray, J. A., Pivor, M., & Seidman, E. G. (2005). Guideline for the diagnosis and treatment of celiac disease in children: Recommendations of the North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* 40 (1), 1-19.
- Hosney, R. C. & Rogers, D. E. (1994). Mechanism of sugar functionality in cookies. Pp 203–225. In: *The Science of Cookie and Cracker Production*. Faridi, H., Eds., AACC, St-Paul, Minnesota, USA.
- Hosney, R. C. (1994). *Principles of Cereal Science and Technology*, second ed. AACC, St-Paul, Minnesota, USA.
- Ivarsson, A., Persson, L.A., Nyström, L., Ascher, H., Cavell, B., Danielsson, L., Dannaeus, A., Lindberg, T., Lindquist, B., Stenhammar, L., Hernell, O., (2000). Epidemic of coeliac disease in Swedish children. *Acta Paediatrica* 89, 165-171.
- Kaldy, M. S., Rubenthaler, G. I., Kereliuk, G. R., Berhow, M. A., and Vandercook, C. E. (1991). Relationships of selected flour constituents to baking quality in soft white wheat. *Cereal Chemistry* 68, 508–512.
- Kaur, M., Sandhu, K., S., Arora, A., Sharma, A. (2014). Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. *LWT - Food Science and Technology* xxx (2014), 1-5
- Lai, H.-M. & Lzin, T.-C. (2006). Bakery Products: Science and Technology. pp. 3–65. In: *Bakery Products: Science and Technology*. Hui, Y. H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.-K., and Cross, N., Eds., Blackwell Publishing, Ames, USA.
- Lin, M.J.Y., Humbert, E.S., Sosulski, F.W., (1974). Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science* 39, 368–370
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J.-M., Allaf, K., & Patras, C. (1998). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering* 35, 23–42.
- Manley, D. (2000). *Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*, Third edition. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Miller, R. A. & Hosney, R. C. (1997). Factors in hard wheat flour responsible for reduced cookie spread. *Cereal Chemistry* 74, 330–336.

- Moroni, A.V., Dal Bello, F. & Arendt, E.K., (2009). Sourdough in Gluten-Free Bread-Making: An Ancient Technology to Solve a Novel Issue?. *Food Microbiology* 10, vol. 26, no. 7, 676-684.
- 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
- Pareyt, B., Wilderjans, E., Goesaert, H., Brijs, K., and Delcour, J. A. 2008. The role of gluten in a sugar-snap cookie system: A model approach based on gluten-starch blends. *Journal of Cereal Science* 48, 863-869.
- Prandi, B., Mantovani, P., Galaverna, G., Sforza, S. (2014). Genetic and environmental factors affecting pathogenicity of wheat as related to celiac disease. *Journal of Cereal Science* 59, 62-69
- Pauly, A., Pareyt, B., Lambrecht, A. M., Fierens, E., Delcour, J. A. (2013). Flour from wheat cultivars of varying hardness produces semi-sweet biscuits with varying textural and structural properties. *LWT - Food Science and Technology* 53, 452-457
- Piazza, L. & Masi, P. (1997). Development of crispness in cookies during baking in an industrial oven. *Cereal Chemistry* 74, 135–140.
- Rai, S., Kaur, A. & Singh, B. (2014). Quality characteristics of gluten free cookies prepared from different flour combinations. *Journal of food science and technology*. 51(4), 785–789.
- Schober, T. J., O'Brien, C. M., McCarthy, D., Darnedde, A., Arendt, E. K.(2003). Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of gluten-free Biscuits. *European Food Research and Technology* 216, 369-376.
- Tonutti, E., Bizarro, N. (2014). Diagnosis and classification of celiac disease and gluten sensitivity. *Autoimmunity Reviews* 13, 472–476.
- Torbica, A., Hadnađev, M., Hadnađev, T. D. (2012). Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International* 48, 277–283.
- Uthayakumaran, S., Gras, P.W., Stoddard, F.L., Bekes, F. (1999). Effect of varying protein content and glutenin-to-gliadin ratio on the functional properties of wheat dough. *Cereal Chemistry* 76, 389-394.
- Wade, P. (1988) *Biscuits, cookies and crackers: The principles of the craft*, Vol. 1, London (UK) and New York (USA): Elsevier Applied Science.
- West J, Logan RF, Hill PG, Lloyd A., Lewis, S., Hubbard, R., Reader, R., Holmes, G. K. T., Hhaw, K-T. (2003) Seroprevalence, correlates, and characteristics of undetected celiac disease in England. *Gut* 52,960–965.
- Wieser, H., 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* 24, 115-119.
- Ylimaki, G., Hawrysh, Z. J., Hardin, R. T., & Thomson, A. B. R. (1991). Response-surface methodology in the development of rice flour yeast breads - sensory evaluation. *Journal of Food Science* 56 (3), 751-755.

6. Anejos

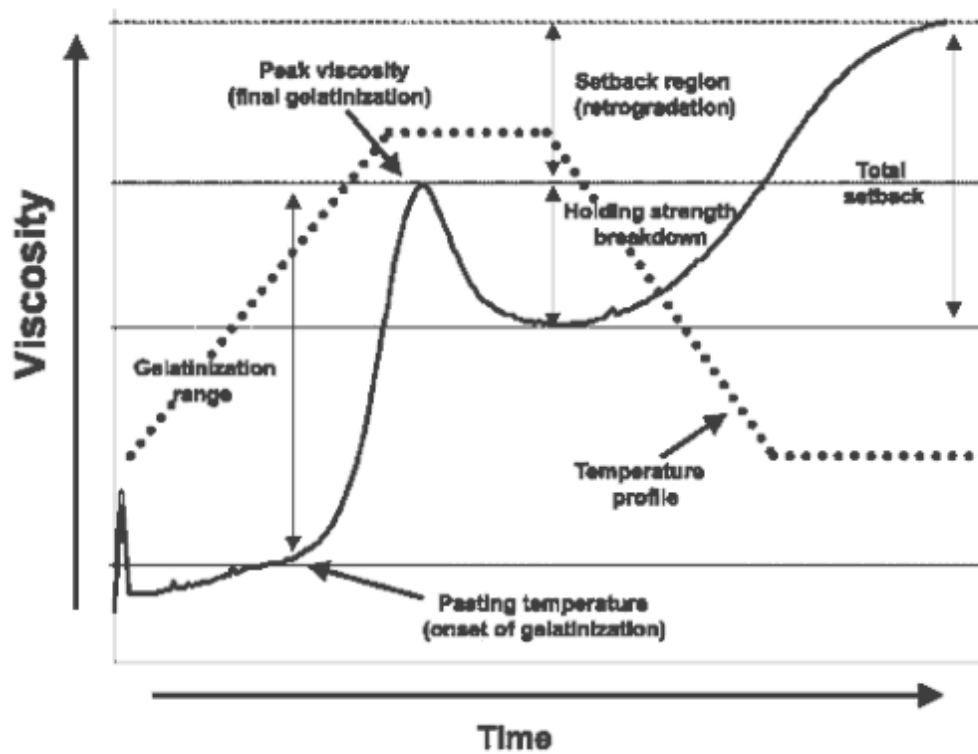


Figura 1 de Anejos: Gráfica viscosidad- tiempo resultante del ensayo RVA. En él se representan gráficamente los distintos parámetros evaluados en el estudio: Temperatura de Gelatinización (Pasting Temperature), Viscosidad Máxima (Peak Viscosity), Estabilidad (Breakdown) y Retrogradación (Setback)

Tabla 1 de Anejos: Imágenes de las distintas galletas obtenidas en el estudio. Cada segmento blanco o negro de la escala representa 0,5 cm.



Trigo



Arroz largo fino



Arroz largo grueso



Maíz fino



Maíz grueso



Arroz corto fino



Arroz corto grueso



Teff



Maíz precocido fino



Maíz precocido grueso



Trigo sarraceno