



**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES
REOLÓGICAS DE LAS MASAS DE HARINA
DE ALPISTE Y SU APLICABILIDAD A LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS
HORNEADOS.**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2017/18

Alumno: Laura Tejedor Pérez

Tutores: Felicidad Ronda Balbás y Pedro A. Caballero

Directora: Marina Villanueva Barrero

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MATERIALES Y METODOS.....	5
2.1. Materiales.....	5
2.2. Métodos	6
2.2.1. Formulación	6
2.2.2. Preparación de las masas	7
2.2.3. Comportamiento reológico de las masas	7
2.2.4. Preparación de panes	8
2.2.5. Preparación de bizcochos	9
2.2.6. Medida de las propiedades físicas de panes y bizcochos	9
2.2.7. Análisis sensorial de panes y bizcochos	10
2.2.8. Análisis estadístico.....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
3.1. Comportamiento reológico de las masas.....	11
3.1.1. Ensayos oscilatorios	11
3.1.2. Barrido de esfuerzos	11
3.1.3. Barrido de frecuencias	12
3.1.4. Ensayos de deformación progresiva y relajación (Creep-recovery)...	13
3.2. Propiedades físicas de los panes.....	16
3.2.1. Pérdida de peso y volumen específico	16
3.2.2. Propiedades del color de la corteza y de la miga	17
3.2.3. Alveolado	18
3.2.4. Características de la textura	19
3.2.5. Envejecimiento de los panes	20
3.3. Propiedades físicas de los bizcochos	21
3.3.1. Pérdida de peso y volumen específico	21
3.3.2. Propiedades del color de la corteza y de la miga	22
3.3.3. Alveolado	23
3.3.4. Características de la textura	24
3.4. Análisis sensorial de panes y bizcochos	24
3.4.1. Panes	24
3.4.2. Bizcochos	25
4. CONCLUSIONES	26
5. BIBLIOGRAFÍA	28
6. ANEXO	31

RESUMEN

En los últimos años se han incrementado las investigaciones sobre la elaboración de pan sin gluten con el objetivo principal de mejorar la calidad nutricional y organoléptica de estos productos para personas con intolerancia al gluten.

El alpiste es un cereal que se ha destinado casi exclusivamente para alimentación de aves ornamentales. Sin embargo, su elevado valor nutricional y la ausencia de gluten, lo convierten en un cereal con un alto potencial para el enriquecimiento de alimentos o la sustitución de la harina habitualmente utilizada en productos horneados. En el presente estudio se han elaborado masas, panes y bizcochos sin gluten sustituyendo harina de arroz por harina de alpiste a dosis del 15%, 30%, 50% y 70% en masas y panes, y a dosis del 30%, 50%, 75% y 100% en bizcochos. Se analizó el comportamiento reológico de las masas con el objeto de determinar sus propiedades viscoelásticas. Asimismo, se evaluaron las propiedades físicas de panes y bizcochos, y se realizó un análisis sensorial de los mismos. Los resultados obtenidos revelaron que a mayor dosis de alpiste, las masas disminuyeron su consistencia, mostraron menores módulos elásticos y viscosos, valores más bajos de capacitancia elástica instantánea y retardada, y menores valores de viscosidad. Los panes elaborados con alpiste mostraron menor volumen específico, mayor dureza de la miga y oscurecimiento del color de la corteza y de la miga. Por su parte, los bizcochos obtuvieron mayor volumen específico, menor dureza de la miga en las elaboraciones con 70 y 100% de alpiste y un oscurecimiento tanto de la miga como de la corteza. Aunque ambos productos obtuvieron una elevada aceptación sensorial, en los panes la aceptación global fue aumentando conforme se incrementaba la dosis. Los bizcochos mostraron valores algo más altos de aceptación global, siendo el bizcocho con un 50% de alpiste el mejor valorado sensorialmente.

El alpiste para consumo humano se revela como una alternativa para la elaboración de productos horneados sin gluten con una calidad sensorial adecuada y un elevado valor nutricional. No obstante, es necesario profundizar en el estudio de las propiedades funcionales y tecnológicas de este nuevo ingrediente con el objeto de optimizar la formulación de los productos.

Palabras clave: pan sin gluten, alpiste, productos horneados, comportamiento reológico.

ABSTRACT

In recent years, research has increased into the production of gluten-free bread with the main aim of improving the nutritional and organoleptic quality of these products for people with gluten intolerance.

Canaryseed is a cereal that has been used almost exclusively for feeding ornamental birds. However, its high nutritional value and the absence of gluten make it a cereal with a high potential for food fortification or the replacement of flour commonly used in baked goods. In the present study, gluten-free doughs, breads and biscuits have been made by replacing rice flour with canaryseed flour at a dosage of 15%, 30%, 50% and

70% in doughs and breads, and at a dosage of 30%, 50%, 75% and 100% in biscuits. The rheological behaviour of the masses was analysed in order to determine their viscoelastic properties. The physical properties of breads and biscuits were also evaluated and a sensory analysis was performed. The results obtained revealed that the higher the dose of canaryseed, the lower the consistency, the lower the elastic and viscous modulus, the lower the instantaneous and delayed elastic capacitance and the lower the viscosity. Breads made with canaryseed showed less specific volume, more crumb hardness and darker crust and crumb color. On the other hand, the biscuits obtained a higher specific volume, less hardness of the crumb in the elaborations with 70 and 100% of canaryseed and a darkening of both the crumb and the crust. Although both products obtained a high sensory acceptance, in the breads the overall acceptance increased as the dose increased. The biscuits showed slightly higher values of global acceptance, with the cake with 50% canaryseed being the best rated sensory cake.

Canaryseed for human consumption is an alternative for the production of gluten-free baked goods with an adequate sensory quality and high nutritional value. However, further study of the functional and technological properties of this new ingredient is necessary in order to optimise the formulation of the products.

Keywords: gluten-free bread, canaryseed, baked goods, rheological behaviour.

1. INTRODUCCIÓN

El alpiste (*Phalaris canariensis*. L) es una gramínea originaria de la región Mediterránea que se cultiva en muchas zonas de climas templados de todo el mundo y se destina principalmente a la alimentación de aves ornamentales. En la actualidad, Canadá es el mayor productor de alpiste del mundo, aunque esta semilla también se cultiva en Argentina, Australia, Hungría, Norte de África del Norte, Oriente medio y en los Estados Unidos (Irani, et al., 2016).

Pertenece a la familia de las *Poáceas*, subfamilia *Pooideae* y a la tribu *Aveneae*, por lo que se trata de un cereal. Cuenta con alrededor de 20 especies, algunas de las cuáles son consideradas malezas, pudiéndose explotar para la producción de grano o como especies forrajeras y *Phalaris canariensis* particularmente es un cereal (Nicora y Rúgolo, 1984; Clayton and Renvoize, 1986).

Es una especie herbácea anual, que crece en climas templados.

Se caracteriza por unas flores en forma de espiguillas (igual que otras plantas de la familia de las gramíneas, los cereales), que se alzan a través de finas cañas huecas que pueden medir entre 50-60 cm hasta 1 m, y que constituyen el tallo de la planta.



Figura 1: Ilustración de la planta de alpiste (USDA-NRCS, 2013).

Las hojas de la planta son lanceoladas, envainadas, planas, angostas y de hasta 40 cm de largo. Los tallos o cañas, igual que sucede con otras plantas de su misma familia, presentan nudos o macollos, que son una especie de anillos fibrosos estructurales de las gramíneas.

Cada tallo o caña termina en una inflorescencia en forma de espiga de forma ovalada o compacta, que mide de 2 a 5 cm de largo por 2 a 3 cm de ancho y que es de color verde, a veces ligeramente púrpura.

Alrededor de las espiguillas se disponen pequeños granos estériles (no semillas) de hasta 1 mm de largo, llamados glumas. Entre éstas se disponen las semillas propiamente dichas.

Lo que se conoce como semilla o grano de alpiste, es en realidad su fruto llamado cariópse. Este es el fruto típico de los cereales. El grano de alpiste es un grano vestido, ya que está recubierto por dos láminas llamadas glumelas o cáscaras. El color de la semilla con cáscara es brillante y amarillo dorado, mientras que el alpiste descascarillado es de color marrón oscuro, propio del salvado que le recubre (Maximiliano, 2014).

En el pasado, el grano de alpiste no fue considerado como un cereal viable para el consumo humano debido a los efectos nocivos asociados a los pelos silíceos que cubren la cáscara de la semilla. Estos pelos son altamente irritantes para la piel humana o los pulmones y se han relacionado con el cáncer de esófago (Putnam et al., 1996; O'Neill et al., 1980). En 1997, la variedad CDC María se registró en Canadá como el primer grano de alpiste carente de dichos pelos, eliminando así el potencial riesgo para la salud asociado a las variedades mencionadas anteriormente (Hucl et al., 2001). El registro de dicha variedad supuso el comienzo para la realización de diferentes estudios sobre la composición fisicoquímica y nutricional de los granos de alpiste y de sus potenciales usos alimentarios e industriales.

Lo más destacable de este cereal, es que a pesar de ser tan pequeño, contiene una gran densidad de nutrientes, lo que le otorga un especial interés de cara a para enriquecer diferentes alimentos. La semilla de alpiste presenta una composición única, así como una estructura similar a la de otros gramos de la misma familia (*Poaceae*), como el trigo, la avena, la cebada y el arroz. Los granos poseen una capa de salvado que rodea al endospermo y al germen. El endospermo constituye la mayor proporción de los granos y está compuesto por gránulos de almidón y cuerpos discretos de proteínas embebidos en una matriz proteica (Abdel-Aal et al., 2011). En cuanto a su valor nutricional, el análisis de la composición química de las semillas de alpiste muestra que poseen un alto valor nutritivo, con altos porcentajes en hidratos de carbono (60%), proteína (20%), grasa (8%) y fibra dietética (7%), además de presentar un alto contenido en aminoácidos esenciales como cisteína, triptófano y fenilalanina (Abdel-Aal et al., 1997).

Las harinas obtenidas de la molienda del grano de alpiste presentan una capacidad de formación de masa característica, lo que las hace adecuadas para ser mezcladas con otras harinas, como la de trigo o la de arroz. Su elevado contenido en almidón,

proteína, aceites y fibra, hace que esta harina muestre un alto potencial para la elaboración de productos alimenticios (Hucl et al., 2001).

Trabajos recientes, han evaluado el empleo de los granos de alpiste y los derivados de su molienda en la elaboración de una amplia gama de productos alimenticios, incluyendo panes y tortillas, crackers, muffins, pastas, barras de cereales y fideos spaghettis. Los resultados obtenidos fueron muy prometedores y se observó que las harinas de alpiste podrían reemplazar a las del trigo, hasta en un 35%, para la elaboración de alimentos con una calidad aceptable (Patterson, 2010).

Es importante mencionar que el alpiste no contiene gluten lo que permite utilizar sus granos y su harina para la alimentación de personas con enfermedad celíaca o alergias al trigo común. La enfermedad celíaca, es una enfermedad inflamatoria crónica del intestino delgado debida a una respuesta inmunológica específica frente al gluten. Esta sensibilidad al gluten, es mayor en aquellos países en los que el trigo es el cereal principal en la dieta. El gluten es una mezcla de proteínas de almacenamiento que se encuentran presentes en cereales como trigo, centeno y cebada y que se clasifican en dos grupos: las gluteninas que son polímeros insolubles estabilizados por puentes disulfuro, y las gliadinas que son proteínas solubles en disoluciones de alcohol y agua (Cabrera- Chavez et al., 2010).

La ingestión de estas proteínas desencadena reacciones inmunológicas en los pacientes celíacos, que origina la inflamación de las vellosidades presentes en el intestino delgado, dificultando la absorción de nutrientes. Como consecuencia de ello, provoca alteraciones digestivas a los individuos que la padecen, pudiendo generar retraso en el crecimiento por una mala absorción de nutrientes, y originando la destrucción de las vellosidades si no se trata adecuadamente. Hoy en día, aproximadamente el 1% de la población padece la enfermedad celiaca (Mustalahti et al., 2010); esta enfermedad se ha convertido en un trastorno de la vida cotidiana, que es padecida no solo por la población europea sino también por la población a nivel mundial (Catassi et al., 2009). El único tratamiento eficaz para la enfermedad celíaca es mantener una estricta dieta libre de gluten, lo que conduce a la recuperación de la mucosa intestinal (Farrell et al., 2002; Green et al., 2003).

Algunos de los problemas a los que se enfrentan las personas celíacas son la escasa variedad en productos de panadería y repostería sin gluten, siendo los existentes de una baja calidad textural y sensorial (Gallagher et al., 2004). Además, el elevado precio que tienen estos productos suponen una dificultad adicional para esta población específica (Arendt et al., 2008). A su vez, la mayoría de los panes comerciales sin gluten están elaborados con almidón, lo que hace que estos panes tengan un bajo valor nutricional debido a la falta de fibra, vitaminas y micronutrientes, pudiendo contribuir a, generar desequilibrios nutricionales en las dietas celíacas (Kinsey et al., 2008).

Numerosas investigaciones se han centrado en la sustitución del gluten por ingredientes capaces de imitar sus propiedades funcionales, ya que el gluten tiene un papel fundamental en la elaboración de las masas al retener el gas producido durante

la fermentación (Mariotti et al., 2013). Sin embargo, la mayoría de los productos desarrollados no tienen la calidad nutricional y organoléptica deseada.

La mayoría de las investigaciones en el desarrollo de productos sin gluten se han centrado en la sustitución de las harinas de trigo por distintas mezclas de harinas y almidones de cereales y tubérculos. Trabajos en los que se ha utilizado harina de arroz, almidón de mandioca y maíz en la elaboración de panes sin gluten, muestran como los panes elaborados con almidón de maíz fueron los que mayor volumen presentaron, mientras que el pan elaborado con harina de arroz presentó los mejores parámetros en cuanto a la textura de la miga, el color de la corteza y en su evaluación sensorial (López, et al., 2004). Estudios similares, comprobaron un incremento de la dureza de los panes al combinarse la harina de arroz con el almidón de maíz y que disminuía en las mezclas de almidón de maíz con almidón de mandioca (Schamne et al., 2010). En los últimos años se han incrementado las investigaciones en las que se han elaborado panes sin gluten con mezclas de harina de arroz y pseudocereales como harina de trigo sarraceno, amaranto y quínoa. Los resultados de estos estudios revelan que los panes elaborados con pseudocereales presentan un mayor volumen, un mayor oscurecimiento del color tanto de la corteza como de la miga, a causa de su elevado contenido de fibra, y una textura de la miga más suave y elástica que los de harina de arroz (Álvarez-Jubete et al., 2010). La utilización de estos pseudocereales aumenta el valor nutricional de los panes (Hager et al., 2012), ya que poseen cantidades importantes de minerales, vitaminas, flavonoides y otros oligoelementos (Chlopicka et al., 2012). Sin embargo, los estudios que promueven el empleo de alpiste como materia prima para la elaboración de productos horneados sin gluten, son prácticamente inexistentes.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del empleo de harina de alpiste en la formulación de productos horneados sin gluten, tanto productos de panificación como de repostería industrial. Para ello, se evaluó el efecto de la inclusión de este cereal en sendas fórmulas básicas de harina de arroz empleadas para la elaboración de pan y bizcocho tradicional, analizándose diversos parámetros de calidad de los productos. De manera complementaria, se profundizó en el estudio de las propiedades viscoelásticas de las masas elaboradas con harina de alpiste con el fin de evaluar el efecto de la adición de este ingrediente en los procesos de elaboración de los productos sin gluten.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

La harina de alpiste se obtuvo a partir de una partida de grano de alpiste para consumo humano producida en Canadá (Legumbres Imperial, S. A., Illescas, Toledo). Para ello se molió el grano con un molino de piedra FIDIBUS MEDIUM (Komo, Austria) (la separación entre las piedras del molino se mantuvo en la posición tres), obteniéndose una sémola gruesa con cascarilla. La sémola obtenida fue sometida a un proceso de fraccionamiento y limpieza en una limpiadora/seleccionadora de cereales NSM (Tripette&Renaud, Francia) con objeto de eliminar la cascarilla. La sémola resultante fue tamizada manualmente con un tamiz nº 12 de 1 mm de luz de malla. La

sémola limpia obtenida fue sometida a un proceso de final de molienda integral en un molino Perten Instruments 3100. La harina obtenida (9,5% de humedad, 3,1% de cenizas y 17,6% de proteína) se homogenizó y envasó al vacío en bolsas de polietileno de diferentes pesos y finalmente se congeló a -80°C hasta su uso.

Para la elaboración de las masas y de los panes sin gluten se emplearon también los siguientes ingredientes: harina de arroz NPU de variedad índica (12,1% de humedad, X% de cenizas y 0,5% de proteína, tamaño de partícula X) suministrada por Herba Ricemills, S.L.U (Sevilla, España), sal, azúcar (Azucarera Ebro) y aceite de girasol (Coosur Premium) provenientes del mercado local, hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) suministrado por Dow Chemical (Midland, EEUU), levadura seca Saf-Instant (Lesaffre, Lille, Francia; ésta fue empleada únicamente en la elaboración de los panes) y agua procedente de la red sanitaria de Valladolid.

En el caso de la elaboración de bizcochos sin gluten se utilizó a demás de la harina de arroz, harina de alpiste, azúcar y aceite mencionados anteriormente, huevo líquido, impulsor químico Royal Baking Powder y yogur natural (Activia, Danone) adquiridos en mercado local.

2.2. Métodos

2.2.1. Formulación

En el caso de los panes, se realizaron numerosos ensayos preliminares con la finalidad de maximizar el volumen, mejorar la apariencia y minimizar la dureza del producto. Se probó a mezclar harina de alpiste con almidón de maíz, harina de maíz y harina de arroz. También se optimizó la dosis de HPMC y la dosis de agua para todas las pruebas realizadas. Finalmente se utilizó harina de arroz, HPMC en gel y una dosis de agua del 92% ya que fueron las condiciones con las que mejores resultados se obtuvieron.

Para la elaboración de las masas y de los panes, se empleó la siguiente fórmula en base a 100 g de harina: 5% de azúcar, 1,5% de sal, 2,35% de HPMC (previamente hidratado), 6% de aceite, 3% de levadura y 92% de agua. Se establecieron distintas dosis de harina de alpiste que sustituyeron en porcentajes de 0, 15, 30, 50 y 70% la harina de arroz empleada. Se realizaron cinco panificaciones con seis repeticiones en cada una de ellas, realizándose un total de 30 elaboraciones.

La fórmula utilizada para la realización de los bizcochos sin gluten fue igualmente optimizada en ensayos previos, correspondiendo a una elaboración de bizcocho tradicional. La fórmula final en base a 100 g de harina fue la siguiente: 90,69% de huevo, 100,04% de azúcar, 41,23% de yogur, 37,66% de aceite y 5,21% de impulsor. Se sustituyó la harina de arroz en porcentajes de 0, 25, 50, 75 y 100%, dando como resultado 15 elaboraciones, ya que todas las elaboraciones se realizaron por triplicado.

3.2.2. Preparación de las masas

Previamente a la elaboración de las masas, se realizó la mezcla de harina de alpiste y de arroz mediante un mezclador rotativo modelo MR2L durante 10 minutos para las elaboraciones que lo requerían.

Para la realización de las masas utilizadas en los ensayos reológicos se pesaron 100 g de harina, 5 g de azúcar, 1,5 g de sal, 2,35 g de HPMC en gel y 6 g de aceite en un vaso de precipitados y se añadieron a la panificadora AutoBakery (Funaj, China) a la velocidad inicial durante un minuto para su mezcla. Posteriormente se incrementó la velocidad de la hélice, incorporándose el agua requerida en base a la humedad de la harina o mezcla de harinas utilizada. Transcurridos 8 minutos, finalizó el proceso de amasado, se repartió la masa en varios recipientes de plástico herméticos y finalmente se dejó reposar durante 30 minutos antes de los ensayos.

2.2.3. Comportamiento reológico de las masas.

Para evaluar reológicamente las masas se realizaron ensayos dinámicos-oscilatorios de barrido de esfuerzos, barrido de frecuencias y ensayos de creep-recovery. Los ensayos se realizaron mediante un reómetro Kinexus Pro + (Malvern Instruments Ltd, Malven, Reino Unido), con una geometría de placas paralelas y superficie serrada (40mm de diámetro de acero inoxidable) con una separación de 3mm entre las placas.

Los ensayos de barrido de esfuerzos y barrido de frecuencias se realizaron conjuntamente y por duplicado (utilizando masas diferentes para que la evolución de la masa fuera lo más similar posible).

Los ensayos de barrido de esfuerzos se realizaron en el rango de 0,1 y 1000 Pa y a una frecuencia de 1 Hz, manteniendo una temperatura constante de 25°C, gracias a un módulo Peltier KNX2002 C25P, apoyado con un baño de recirculación KNX2002 (Marven Instruments Ltd., Marven, Reino Unido). El resultado de estos ensayos nos permitió localizar el esfuerzo máximo, (τ_{max}), que era capaz de soportar la estructura de la masa antes de romperse (al producirse un descenso del módulo elástico G' y el aumento de la tangente del ángulo de desfase o $\tan \delta$), estableciéndose la zona viscoelástica lineal (LVR) para las masas.

Los ensayos de barrido de frecuencias se realizaron en el intervalo de 10 a 0,1 Hz a un esfuerzo constante en la región viscoelástica lineal (LVR). Los módulos viscoso y elástico, así como la tangente del ángulo de desfase ($\tan \delta$) obtenidos en los barridos de frecuencia se ajustaron a ecuaciones potenciales del tipo:

$$\begin{aligned} (1) \quad G'(\omega) &= G'_{\omega 1} \cdot \omega^a \\ (2) \quad G''(\omega) &= G''_{\omega 1} \cdot \omega^b \\ (3) \quad \tan \delta(\omega) &= \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \left(\frac{G''}{G'} \right)_{\omega 1} \cdot \omega^{(b-a)} = (\tan \delta)_{\omega 1} \cdot \omega^c \end{aligned}$$

Los coeficientes $G'_{\omega 1}$, $G''_{\omega 1}$ y $(\tan \delta)_{\omega 1}$ representan los módulos de elasticidad y viscosidad y la tangente del ángulo de desfase a una frecuencia constante de 1 Hz.

Los parámetros “a”, “b” y “c” son constantes experimentales que cuantifican el grado de dependencia de estos módulos y de la tangente de pérdida con la variación de frecuencia; ω es la frecuencia angular (rad^{-1}) (Ronda et al., 2011; 2013).

Los ensayos de deformación progresiva y relajación (*creep-recovery*) se realizaron dentro de la zona viscoelástica lineal mediante la aplicación sobre la muestra de un esfuerzo instantáneo constante de 50 Pa que se mantuvo constante en la etapa inicial durante 60 segundos, estudiándose posteriormente la recuperación de la masa durante 180 segundos. Los ensayos se realizaron por triplicado y manteniendo una temperatura constante de 25°C. Los resultados de *creep-recovery* se expresaron en términos de capacitancia elástica [J (1/Pa)], la cual se define como la deformación en función del esfuerzo aplicado.

Los resultados del ensayo de deformación progresiva (*creep*) se ajustaron al Modelo de Burgers de cuatro parámetros en términos de capacitancia mecánica (Lazaridou et al., 2007; Van Bockstaele et al., 2011; Ronda et al., 2013).

$$(4) \quad J_c(t) = J_0 + J_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\lambda_1}\right) \right) + \frac{t}{\mu_0}$$

Donde, $J_c(t)$ es la capacitancia elástica en el ensayo de deformación progresiva, J_0 es la capacitancia elástica instantánea y J_1 es la capacitancia elástica retardada, λ_1 es el tiempo de retardo y μ_0 la viscosidad en estado estacionario.

En la fase de recuperación (*recovery*) se empleó una ecuación similar para correlacionar la capacitancia en el ensayo de recuperación $J_r(t)$. El Modelo de Burgers viene dado en este caso por la siguiente ecuación:

$$(5) \quad J_r(t) = J_{max} - J_{r0} + J_{r1} \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\lambda_1}\right) \right)$$

Donde $J_r(t)$ es la capacitancia elástica en la zona de recuperación, J_{max} es la máxima capacitancia obtenida al final del ensayo de deformación progresiva, y J_{r0} , es la capacitancia correspondiente a la recuperación elástica instantánea, J_{r1} es la capacitancia debida a la recuperación elástica retardada, y λ_1 es el tiempo de retardo (Lazaridou et al., 2007; Ronda et al., 2013).

2.2.4. Preparación de los panes

Para la fabricación de los panes se pesaron 600 g de harina, que se mezclaron con el resto de ingredientes siguiendo las proporciones indicadas con anterioridad.

El proceso de amasado se realizó en la amasadora KitchenAir Professional (KPM5) utilizando el gancho amasador. En primer lugar, se pesaron en una balanza TE 610 de Sartorius AG (Germany) los ingredientes sólidos (también el HPMC en gel) y se mezclaron a velocidad 2 durante dos minutos. A continuación se pesó el aceite y se mezcló de nuevo a velocidad 2 durante dos minutos, homogeneizándose el contenido de la amasadora con ayuda de una espátula. Manteniéndose la velocidad 2, se

incorporó la levadura, previamente disuelta en agua, y el resto de agua requerida para cada elaboración. Seguidamente se mezclaron todos los ingredientes a velocidad 4 durante 8 minutos, parando a los 4 minutos para homogeneizar la mezcla manualmente. Una vez finalizado el proceso de amasado se vertió rápidamente 180g de masa en moldes de aluminio (125x75x40mm). La fermentación se llevó a cabo a 28°C y a una humedad relativa de 85% durante 40 minutos en una fermentadora Sveba Dahlin. A continuación se hornearon las masas en un horno también Sveba Dahlin (previamente precalentado) con convección de aire y giro continuo de la bandeja de horneado, durante 20 min a 170°C. Finalizado el proceso de horneado, los panes se desmoldaron tras un reposo de 60 minutos. Dos de las piezas se reservaron para seguidamente analizar en fresco sus propiedades físicas y el resto se introdujeron en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4°C hasta su análisis. Todas las elaboraciones se realizaron por duplicado.

2.2.5. Preparación de los bizcochos

Para la elaboración de las masas de bizcochos se pesaron 182 g de harina que se mezclaron con el resto de ingredientes siguiendo las proporciones indicadas con anterioridad.

La amasadora utilizada fue la misma que la empleada en la elaboración de pan, pero provista de un accesorio de varillas que permite una mejor incorporación de aire en la masa para obtener la esponjosidad característica de los bizcochos. El proceso de batido se llevó a cabo durante 8 minutos, divididos en tres tiempos, el primero a velocidad 2 durante 1 minuto, después 4 minutos a velocidad 4 y finalmente 3 minutos a velocidad 6. Una vez terminado el amasado, se vertieron 180 g de masa en moldes de aluminio (125x75x40mm) y se introdujeron en el horno, previamente calentado, durante 18 minutos a 180°C. Los bizcochos se desmoldaron y se dejaron enfriar durante 60 minutos. A continuación se realizó el análisis de las propiedades físicas de dos de las piezas.

2.2.6. Medida de las propiedades físicas de panes y bizcochos.

La pérdida de peso tanto de panes como de bizcochos se evaluó mediante la diferencia entre el peso inicial de la masa en cada elaboración (180g) y el peso de los panes después del horneado, una vez extraídos los moldes.

El volumen específico de los panes y bizcochos enteros se determinó utilizando un medidor de volumen de pan, Bread Volumen Tester JMTY (Hangzhou, China) que se basa en el método de desplazamiento de semillas (método 10-05 de la AACC. El volumen se evaluó en los productos fresco, (a día 0), determinándose en dos bizcochos y dos panes de cada elaboración.

Los índices de simetría, uniformidad y volumen de los bizcochos se obtuvieron según el método AACC 10-91.01, tomando cinco medidas, con un pie de rey digital, en dos rebanadas de cada elaboración tomadas de la parte central de las piezas.

Para evaluar el aspecto de los productos se tomaron fotografías de frente y de lado de los panes y de los bizcochos, así como de las rebanadas centrales de todos los

productos elaborados. Se utilizó una cámara Canon IXUS 285 HS (Alcobendas, Madrid). Las fotografías se realizaron con iluminación artificial de luz blanca sobre un fondo blanco con una escala horizontal y vertical. También se escanearon las rebanadas (en escala de color y en escala de grises) mediante un escáner HP Scanjet 93110 para poder observar mejor el alveolado de la miga de panes y bizcochos.

El color de los panes y bizcochos se evaluó tomando medidas de la corteza y de la miga. Para medir el color de la corteza se realizaron cuatro medidas en cuatro zonas diferentes del producto y para la miga se realizaron dos medidas, una por una cara de rebanada y otra por la contraria. Se utilizó el colorímetro PCE-CSM5 (Tobarra, Albacete) y el software CQCS3. Los resultados se expresaron en las coordenadas del sistema CIE L*, a*, b* y CIE L*, C* y h* con el iluminante patrón D65 y el Observador 10°.

La textura tanto de panes como de bizcochos se estableció mediante ensayos TPA (análisis de perfil de textura) de doble compresión, utilizando un texturometro universal TA-XT2 de Stable Microsystems (Godalming, Reino Unido) provisto de una sonda cilíndrica de 20 mm de diámetro. El ensayo se realizó sobre dos rebanadas tomadas de la parte central de la muestra de 2 cm de espesor. Se evaluó la textura de dos panes y de dos bizcochos de cada elaboración. La velocidad de ensayo fue de 1 mm/s con un tiempo de espera de 30 segundos entre la primera y la segunda compresión. Los resultados obtenidos fueron registrados por el software "Texture Expert" de donde se extrajeron los resultados de los parámetros texturales como la dureza (fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares, N), o la elasticidad (tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante,) para cada una de las formulaciones. La dureza de la miga se determinó tanto para panes y bizcochos frescos a día 0, como para panes almacenados durante 7 días a 4 °C, a los cuales se les realizó un estudio de la cinética de envejecimiento de la miga en los días 1, 2,3 y 7 con respecto al día en que se elaboraron.

2.2.7. Análisis sensorial de panes y bizcochos

Se realizó una cata de diferentes fórmulas de los panes y bizcochos para obtener información sobre los atributos organolépticos característicos de los productos, de cara a establecer una relación entre los distintos porcentajes de los ingredientes presentes y las propiedades sensoriales del pan y bizcocho sin gluten. Para ello se realizó una prueba afectiva de grado de satisfacción. La prueba se llevó a cabo por medio de una escala hedónica estructurada que contaba con 9 puntos (siendo el 1, "me disgusta muchísimo", 5 "ni me gusta ni me disgusta", y 9 "me gusta muchísimo"). Los parámetros que se evaluaron en panes y bizcochos fueron, el aspecto exterior e interior, aroma, sabor, retrogusto, dureza y aceptación global de cada muestra catada. En esta cata participaron 60 catadores no entrenados con edades comprendidas entre 18 y 64 años. En el Anexo 1 se muestra la ficha de cata utilizada.

La prueba se realizó sobre 3 muestras de panes, con un porcentaje de harina de alpiste de 0%, 30% y 70 % y sobre tres muestras de bizcochos con 0%, 50% y 100% de harina de alpiste. Además se incluyó en la ficha de cata un cuestionario para recabar información acerca del perfil de los catadores y sus hábitos alimenticios en relación con el consumo de productos sin gluten.

2.2.8. Análisis estadísticos de los datos

Con el objeto de evaluar el efecto de la presencia y la dosis de harina de alpiste sobre los diferentes parámetros analizados se realizó un análisis simple de varianza ANOVA, utilizando el programa Statgraphics Centurion XVII.II-X64 (Bistream, Cambridge, MN, USA). Se empleó el test de Fisher (LSD) para evaluar las diferencias significativas entre las muestras con un nivel de significación del 95% ($p < 0,05$). Así mismo, se utilizó el mismo programa estadístico para realizar los ajustes de los ensayos de deformación progresiva y relajación (*creep-recovery*) mediante herramientas de regresión no lineal.

3. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

3.1. REOLOGÍA DE LAS MASAS

3.1.1. Ensayos oscilatorios.

Las propiedades viscoelásticas de las masas panarias elaboradas a base de harina de alpiste en diferentes dosis (15%, 30%, 50%, 70%) y la masa control elaborada a base de harina de arroz se estudiaron mediante pruebas oscilatorias dinámicas. Los valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros reológicos de los barridos de esfuerzos y frecuencias, se recogen en la Tabla 1.

3.1.1.1. Barridos de esfuerzos.

En la Figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, el barrido de esfuerzos realizados con una frecuencia de 1 Hz de las masas control y de la masa de harina de alpiste a dosis del 50%. Estos ensayos permitieron establecer la región viscoelástica lineal (LVR), mediante la localización de los valores de esfuerzos máximos, τ_{max} , que se recogen en la Tabla 1. En esta zona se produce el descenso del módulo elástico (G') y del módulo viscoso (G'') y un incremento de la tangente ($\tan(\delta)$), hasta el punto de entrecruzamiento de las curvas G' y G'' ($G' = G''$) o crosslink. A valores de esfuerzos inferiores al punto de entrecruzamiento, el módulo elástico (G') estuvo siempre por encima del módulo viscoso (G''), denotando un comportamiento elástico predominante en todas las masas estudiadas. A partir de este punto los valores del módulo viscoso (G'') fueron superiores a los del módulo elástico (G').

Los esfuerzos máximos a partir de los cuales las masas experimentaron una destrucción de su estructura interna oscilaron entre 4 y 7 Pa. Las masas con menores valores de τ_{max} fueron las que contenían un 50% de alpiste. Las que mayores valores de τ_{max} obtuvieron fueron las masas control.

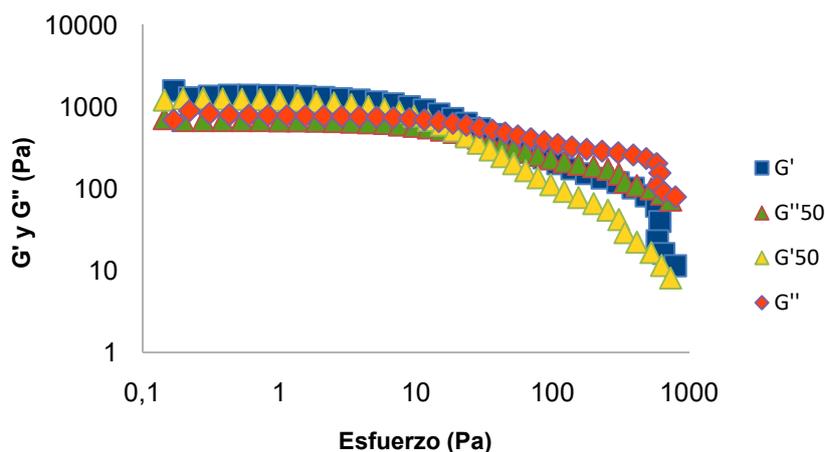


Figura 2: Barrido de esfuerzos de la masa Control y de la masa con una dosis del 50% de alpiste. Los los cuadrados azules y los rombos rojos representan el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') respectivamente para la masa control. Los triángulos amarillos y los triángulos verdes el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') respectivamente para la masa del 50%.

Los efectos de la dosis de alpiste en los valores de τ_{\max} se evaluaron mediante un análisis de varianza (Tabla 1). La presencia de alpiste provocó en todas las masas una disminución de τ_{\max} , llegando a ser este descenso significativo ($p < 0,05$) entre la masa con 50% de alpiste y la masa control.

En cuanto al punto de corte de los módulos viscoelásticos ($G' = G''$) se observó como la masa con 70% de alpiste tardó más en pasar de un comportamiento predominantemente elástico a un comportamiento viscoso, mostrando diferencias estadísticamente significativas con las masas de 15% y 30%.

A la vista de los resultados se puede concluir que el empleo de harinas de alpiste dio lugar a una disminución del esfuerzo necesario para la ruptura de la estructura de la masa, resultando en todos los casos inferiores a los correspondientes a la masa control.

3.1.1.2. Barrido de frecuencias.

En la tabla 1, podemos observar los valores de los parámetros G'_{w1} , G''_{w1} , $(\tan\delta)_{w1}$, y de los exponentes a, b y c obtenidos mediante el ajuste potencial de las gráficas obtenidas de los ensayos de barrido de frecuencias para una frecuencia de 1 a 10 Hz. Los elevados valores de R^2 denotan el buen ajuste de los valores experimentales a la ley de la potencia.

En todos los casos las curvas obtenidas en los ensayos revelaron el comportamiento típico de los sólidos viscoelásticos, con valores del módulo elástico G'_{w1} más altos que los valores del módulo viscoso G''_{w1} y con valores de la $(\tan\delta)_{w1}$ siempre inferiores a 1, lo que indica un comportamiento predominantemente elástico de las masas (Gujral y Rosell, 2004).

Los efectos de la dosis de harina de alpiste en los parámetros extraídos del barrido de frecuencias se evaluaron mediante un análisis de varianza (Tabla 1). Se obtuvieron

unos valores del módulo elástico G'_{w1} comprendidos entre 1015 y 2227 Pa y del módulo viscoso G''_{w1} entre 659 y 1108 Pa, presentando la masa elaborada con el 50% de alpiste los valores inferiores. Los mayores resultados de G' y G'' se obtuvieron para las dosis control y del 70%. La adición de harina de alpiste disminuye los valores del módulo elástico G'_{w1} y del módulo viscoso G''_{w1} , a excepción de la dosis del 70%, aunque en ningún caso estas diferencias fueron significativas. En general, el descenso de estos valores induce a una disminución de la consistencia de las masas. Resultados opuestos a los obtenidos en estudios anteriores, donde el remplazó de harina de arroz por harina de trigo sarraceno produjo un incremento en los valores del módulo elástico y del módulo viscoso, que condujo a una estructura más fortalecida (Plaza, 2016; Karéne, 2016).

Tabla1. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros reológicos del barrido de frecuencias, correspondiente a las masas control y las masas elaboradas con harina de alpiste.

Dosis Alpiste	G'_{w1}	a	G''_{w1}	b	tan	c	τ_{max} (Pa)	G1=G2 (Pa)
0	1899 a	0,33 ab	1108 a	0,33 a	0,60 ab	-0,002 a	7,8 b	28,4 bc
15	1098 a	0,39 b	770 a	0,40 b	0,67 ab	0,044 a	5,7 ab	14,9 a
30	1097 a	0,38 b	760 a	0,38 b	0,70 b	0,003 a	6,0 ab	18,9 ab
50	1015 a	0,36 ab	659 a	0,39 b	0,65 ab	0,031 a	4,2 a	21,5 abc
70	2227 a	0,24 a	809 a	0,37 b	0,40 a	0,136 a	5,8 ab	32,7 c
ES	417	0,04	192	0,01	0,08	0,047	0,7	3,1

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). G' : módulo elástico; G'' : módulo viscoso; tan δ : tangente de pérdida; a, b, c: parámetros experimentales. E.S: Error estándar agrupado.

Los valores de $(\tan \delta)_{w1}$ oscilaron entre 0,40 y 0,70. Las masas con una dosis del 30% mostraron los mayores valores de $(\tan \delta)_{w1}$ indicando un aumento de la relación G''_{w1}/G'_{w1} y, por consiguiente, un incremento en el comportamiento viscoso de las mismas. Por el contrario masas con dosis del 70% fueron las que menores valores de $(\tan \delta)_{w1}$ mostraron, lo que se traduce en un comportamiento más elástico de la masa en relación al módulo viscoso.

El exponente “a” osciló entre valores de 0.24 y 0,39. La adición de alpiste produjo un incremento de “a”, a excepción de la masa elaborada con el 70% que mostró un descenso en los valores de este exponente. El exponente “b” osciló entre los valores 0,33 y 0,40. Al igual que para el exponente “a”, las masas mostraron valores más altos del exponente “b” al incrementar la adición de harina de alpiste, resultando este aumento estadísticamente significativo ($p < 0,05$) entre todas las masas y la masa control.

3.1.2. Ensayos de deformación progresiva y relajación (Creep-recovery)

Se llevaron a cabo ensayos de deformación-relajación progresiva o *creep-recovery* con aplicación de esfuerzos de 50 Pa, siempre dentro de la zona viscoelástica lineal, LVR, que se mantuvieron durante 60 segundos para que la masa alcanzase el flujo estacionario. Todas las curvas obtenidas mostraron un comportamiento viscoelástico

típico de masas sin gluten similares a las obtenidas por otros autores (Sivaramakrishnan et al., 2004, Lazaridou et al., 2007, Ronda et al., 2013).

La representación de la capacitancia elástica frente al tiempo, t , muestra la deformación que experimenta la masa y como se recupera una vez que se deja de aplicar el esfuerzo. Los resultados de estos ensayos se ajustaron al modelo de Burgers obteniéndose los valores de los parámetros de ajuste que se recogen en la Tabla 2.

Los valores de la capacitancia elástica instantánea (J_0), capacitancia elástica retardada (J_1) y el tiempo de retardo (λ_1) de la fase de creep para masas con dosis de 50 y 70% de alpiste no pudieron ser analizados ya que no fue posible realizar el ajuste al modelo de Burgers mediante regresión no lineal, debido a que estas masas no presentaron una componente elástica cuantificable y sólo manifestaron comportamiento viscoso. Por este motivo, de estas masas sólo se aporta los parámetros la viscosidad estacionaria, obtenida a partir de la pendiente de la curva J frente t , en la zona de deformación progresiva a esfuerzo constante.

La incorporación de alpiste a las masas, hizo disminuir los valores de capacitancia elástica (J) en la fase de creep, lo que demuestra un incremento de la resistencia de la masa a la deformación. Este descenso únicamente fue significativo ($p < 0,05$) en el caso de la capacitancia elástica retardada (J_1) para las dosis del 15 y 30%. En la fase de recovery, los valores de capacitancia elástica instantánea (J_0) para las masas del 15, 50 y 70% de alpiste aumentaron, indicando una menor capacidad de recuperación de las masas para un esfuerzo dado. Este aumento fue significativo ($p < 0,05$) sólo para la dosis del 70%. Los valores de capacitancia elástica retardada (J_1) disminuyeron, al igual que ocurre en la fase de creep, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al control.

El incremento de la dosis de alpiste hizo disminuir el tiempo de retardo en todos los casos de forma significativa ($p < 0,05$) tanto en la fase de creep como en la de recovery. Por este motivo, se pudo concluir que la adición de alpiste aumentó la respuesta elástica de las masas.

Los valores de viscosidad estacionaria (μ_0) oscilaron entre 771 y 114 Pa·s. A medida que aumentó la dosis de alpiste, las viscosidades disminuyeron de forma significativa ($p < 0,05$), evidenciando una disminución de la consistencia de las masas. Cabe destacar que la masa del 70% mostro los valores más bajos de viscosidad, mientras que la masa control presentó los valores más elevados.

Los porcentajes de recuperación de la masa, o lo que es lo mismo, el grado en el que la masa recupera su estado inicial tras la liberación del esfuerzo, oscilaron entre el 0,61 y 5%. En general, las masas con mayor cantidad de alpiste en su fórmula mostraron una menor recuperación. Destaca la masa elaborada con un 70% de alpiste por ser la que menores valores de recuperación obtuvo.

Tabla 2. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros de *creep-recovery*, correspondiente a las masas control y las masas elaboradas con harina de alpiste

Dosis	Ensayo de deformación progresiva					Ensayo de relajación			
	J_0 (10^{-4}) (Pa ⁻¹)	J_1 (10^{-3}) (Pa ⁻¹)	λ_1 (s)	μ_0 (Pa·s)	J_{max} (Pa ⁻¹)	J_0 (10^{-3}) (Pa ⁻¹)	J_1 (10^{-3}) (Pa ⁻¹)	λ_1 (s)	PR (%)
0	8,15 a	10,22 a	2,20 b	771,27 c	0,09 a	1,69 a	2,59 b	12,22 d	5,01 d
15	7,51 a	9,17 b	1,01 a	311,15 b	0,21 ab	1,82 a	1,88 a	9,81 c	1,87 c
30	3,10 a	6,75 b	0,50 a	252,65 ab	0,25 abc	1,69 a	1,91 a	8,30 b	1,52 bc
50	nd	nd	nd	172,74 a	0,34 bc	1,93 ab	1,71 a	6,59 a	1,11 ab
70	nd	nd	nd	114,61 a	0,39 c	2,22 b	1,80 a	5,76 a	0,61 a
ES	1,91	0,55	0,23	46,39	0,07	9,89E-05	9,1E-05	0,55	0,26

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

J_0 : capacitancia instantánea, J_1 : capacitancia elástica retardada, λ_1 : tiempo de retardo; μ_0 : viscosidad estacionaria; J_{max} : máximo valor alcanzado en la fase de *creep*; PR: porcentaje de recuperación. E.S: Error estándar agrupado.

3.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PANES

3.2.1. Pérdida de peso y volumen específico.

La pérdida de peso de los panes durante el horneado da una idea de la capacidad de retención de agua de los ingredientes que los constituyen. En la tabla 3 se pueden observar los valores del porcentaje de pérdida de peso y el volumen específico de los panes elaborados con harina de alpiste a diferentes dosis. Los resultados obtenidos de estos parámetros fueron evaluados mediante un análisis de varianza (Tabla 3). Las elaboraciones que mayores pérdidas de agua presentaron fueron los panes constituidos con un 50 y 70% de alpiste, mientras que el pan elaborado una dosis del 30% fue el que menor cantidad de agua perdió, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ellos y respecto al pan control.

En cuanto al volumen específico se pudo observar como los panes control mostraron mayor volumen que los panes elaborados con harina de alpiste, siendo el pan elaborado con la dosis del 30% el que menor volumen presentó. Entre los panes elaborados con harina de alpiste, el pan constituido con un 70% fue el que mayor volumen específico obtuvo. . Todas las elaboraciones presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto al pan control y a su vez entre ellas.

Tabla 3: Valores medios y grupos homogéneos para el volumen específico y la pérdida de peso de los panes elaborados según la dosis de alpiste.

Dosis Alpiste (%)	Perdida peso (%)	Vol.Específico (ml/g)
0	19,9 b	4,79 e
15	20,5 b	2,46 a
30	18,3 a	2,63 b
50	22,3 c	2,67 c
70	23,7 c	3,01 d
ES	0,5	0,01

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). E.S: Error estándar agrupado.

En los panes elaborados con harina de alpiste, se observó que al incrementar la adición de alpiste el volumen de los panes aumentó de forma significativa entre todas las elaboraciones. En general, los panes elaborados con alpiste presentaron menor volumen específico que los panes de arroz debido a que al término de de la fermentación las masas caían, perdían el volumen y una vez finalizado el proceso de horneado los panes presentaban un aspecto hundido y con la corteza abierta, con grietas. La dificultad que presentan las masas de pan de alpiste en retener el gas de la fermentación y el menor volumen resultante en los panes obtenidos podría deberse al elevado contenido de lipasas presentes en la harina de alpiste. Asimismo, el elevado porcentaje de fibra y proteína presentes en la harina de alpiste, podría determinar una importante competencia por el agua presente en la formulación, impidiendo el correcto desarrollo de las masas durante el proceso de panificación. Por otra parte, estudios previos realizados con diversas harinas han demostrado que el tamaño de partícula de la harina es determinante a la hora de elaborar panes sin gluten con un desarrollo adecuado (De la Hera et al, 2013). El reducido tamaño de partícula de la harina de

alpiste ($D_{50} = 34,1\mu\text{m}$) podría condicionar la creación de una estructura suficientemente resistente como para retener el gas producido durante la fermentación, fundamentalmente en las etapas finales del proceso.

La sustitución parcial de harina de trigo por harina de alpiste ha sido previamente propuesta por Abdel-Aal et al (2011). En este trabajo se observaron también reducciones del volumen de los panes como consecuencia del empleo de harina de alpiste, concluyéndose, factible la sustitución de un 25% de la harina de trigo por harina de alpiste sin que modifique significativamente el volumen del pan. Por otro lado, otros estudios realizados en matrices con gluten han conducido a resultados similares cuando se sustituyó parcialmente la harina de trigo por harina de otros cereales como soja, cebada, y espelta (Tariqul Islam et al., 2007); Gill et al., 2002; Kohajdova y Karovicova., 2008).

3.2.2. Propiedades del color de la corteza y de la miga.

La tabla 4 muestra las coordenadas cromáticas de la miga y la corteza de los panes obtenidos en este estudio. Como se puede comprobar, los panes elaborados con harina de alpiste presentaron valores más bajos de luminosidad que el pan control, constatándose que la adición de harina de alpiste a las masas produjo un oscurecimiento de la corteza conforme aumentaba la dosis de alpiste. Este descenso resultó estadísticamente significativo ($p < 0,05$) para todas las dosis con respecto al pan control. Este oscurecimiento de la corteza puede deberse al incremento en el porcentaje de proteína de la masa como consecuencia de la adición de harina de alpiste que, junto con los hidratos de carbono, generan en el horneado las reacciones de Maillard, responsables del color de la corteza de los panes (Miñarro et al., 2010). Gallaguer & Gormley, (2002) concluyeron que el oscurecimiento de la corteza de los panes es deseable en panes sin gluten, los cuales tienden a tener cortezas más claras que los panes de trigo (Ylimaki et al., 1988), por lo que añadir harina de alpiste a los panes sin gluten sería una forma de mejorar su aspecto y mejoraría así su aspecto externo.

Según el diagrama cromático establecido por las coordenadas a^* y b^* , el tono de la corteza de estos panes estaría comprendido entre tonos amarillentos y tonos rojizos, estando el pan control más cercano al amarillo y los panes que contienen alpiste más cercanos al rojo. Ambas coordenadas presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al control.

Tabla 4: Valores medios y grupos homogéneos para el color de la corteza y de la miga de los panes elaborados según la dosis de alpiste.

Dosis Alpiste (%)	CORTEZA			MIGA		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	66,1 b	15,7 b	31,5 c	74,5 d	0,4 a	4,6 a
15	45,4 a	9,8 a	20,1 ab	56,5 c	3,2 b	10,1 b
30	45,9 a	9,8 a	21,7 b	52,4 b	3,6 c	11,6 c
50	43,0 a	9,4 a	19,3 a	50,2 b	4,4 d	12,7 d
70	38,9 a	10,4 a	17,1 a	45,9 a	4,8 e	12,8 d
ES	2,8	0,4	0,9	1,4	0,1	0,2

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). L*: luminosidad; a^* y b^* : coordenadas cromáticas. ES: error estándar agrupado.

Respecto a los datos de la miga, se observó que al igual que ocurría en la corteza, los panes elaborados con harina de alpiste mostraron menores valores de luminosidad (Tabla 4), presentando así una miga más oscura que el pan elaborado con arroz. El aumento de la dosis de alpiste provocó un descenso de la luminosidad, resultando esta diferencia significativa ($p < 0,05$) respecto al control para todas las elaboraciones e incluso entre ellas, a excepción de las dosis del 30 y 50% que sólo muestran diferencias con el pan control. La valores de la coordenada a^* mostraron un aumento estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en todas las dosis respecto el control, e incluso entre ellas. La coordenada b^* presentó un aumento significativo ($p < 0,05$) en todas las elaboraciones respecto al control y también entre ellas. El color de la miga de los productos se vio influenciada por el color de la harina de alpiste adicionada, caracterizada por una coloración intensa como consecuencia de su naturaleza integral. El porcentaje de adición de harina también determinó la intensidad en la modificación de los parámetros cromáticos de la miga del pan. En general, se observó que la miga tanto de los panes de alpiste como la miga del pan control se encuentran entre los tonos amarillo y rojo, situándose más cerca de los tonos rojizos la miga de los panes con harina de alpiste que la miga de los panes control. Estudios previos han demostrado que la sustitución de harina de trigo por harina de alpiste provoca descensos significativos en el valor de L^* , indicando que el remplazo por harina de alpiste da como resultado un color de miga más oscuro (Abdel-Aal et al., 2011).

3.2.3. Alveolado de la miga

Con el propósito de observar mejor las diferencias que presenta la densidad alveolar y el tamaño de los alveolos de cada una de las migas estudiadas en función de la dosis de sustitución aplicada se escanearon las rebanadas centrales de cada una de las elaboraciones (Figura 3).

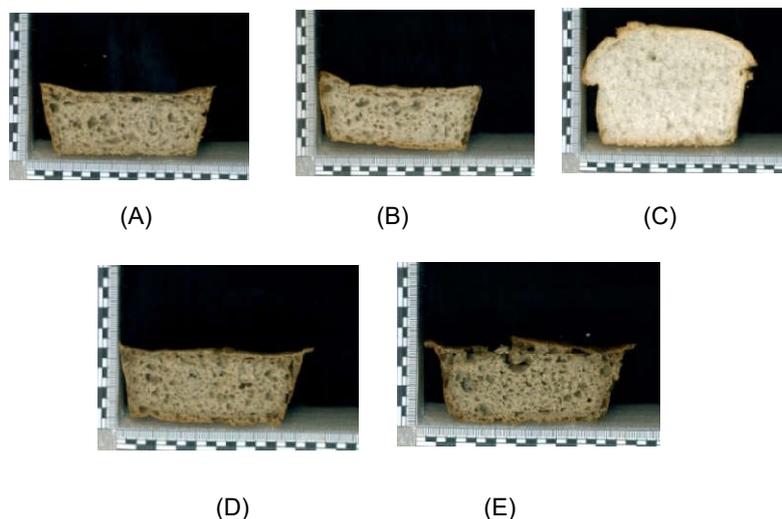


Figura 3: Sección transversal central de las rebanadas del pan control (A), pan elaborado con un 15% de harina de alpiste (B), 30% de harina de alpiste (C), 50% de harina de alpiste (D) y 70% de harina de alpiste (E).

La miga de los panes control presentó mayor densidad alveolar y menor tamaño de alvéolos, a diferencia de las migas de los panes elaborados con harina de alpiste en las que se pudo evidenciar una menor densidad alveolar y un mayor tamaño de los alvéolos. Se ha observado que la presencia de alvéolos medianos en los panes

contribuye a un aumento en la terneza de la miga (Mariotti et al., 2013), efecto que concuerda con los panes elaborados con harina de alpiste, los cuales se caracterizaron por un tamaño elevado de los alvéolos y una mayor dureza de la miga.

3.2.4. Características de la textura de la miga

En la tabla 5 se muestran los valores de dureza y elasticidad de los panes obtenidos tras un análisis de varianza. Como se puede observar, los panes de harina de alpiste demostraron tener mayor dureza que el pan control, destacando especialmente el aumento de dureza de la miga del pan elaborado con un 15% de alpiste. En general todas las elaboraciones mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto al control. Después del horneado los panes elaborados con distintas dosis de alpiste no mostraron una miga esponjosa, sino una textura quebradiza muy diferente a la miga esponjosa de los panes elaborados con arroz. Estos resultados se corresponden a los obtenidos en los ensayos oscilatorios y en los ensayos de deformación relajación pues mayores valores de módulos elásticos (G') y bajos valores de capacitancias se traducen en menor elasticidad de las masas y ésta, a su vez, en mayor compactación y dureza de la miga de los productos elaborados a partir de las mismas (Mancebo et al., 2015). Por lo general la dureza de los panes sin gluten es elevada y su elasticidad reducida, lo que limita la posibilidad de migas esponjosas (Dana et al. 2014).

Tabla 5: Valores medios y grupos homogéneos para la dureza y la elasticidad de los panes elaborados según la dosis de alpiste.

Dosis Alpiste (%)	Dureza	Elasticidad
0	0,9 a	0,82 b
15	8,5 c	0,87 b
30	4,6 b	0,72 a
50	3,9 b	0,82 b
70	4,9 b	0,79 ab
ES	0,9	0,04

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

En cuanto a los valores de elasticidad, el análisis de varianza mostró únicamente un descenso significativo ($p < 0,05$) respecto al control en del pan con el 30% de alpiste, el resto de elaboraciones presentaron unos valores de elasticidad similares a los obtenidos para el pan control. Un pan de alta calidad con un buen grado de frescura está relacionado con unos valores elevados de elasticidad; sin embargo, un pan con bajos valores de elasticidad tiende a desmigajarse cuando se le rebana (McCarthy, et al., 2005), comportamiento que fue apreciado en los panes elaborados con un 30% de alpiste.

3.2.5. Envejecimiento de los panes.

En la figura 4, se muestra la cinética de envejecimiento de los panes establecida a lo largo de siete días de almacenamiento a 3°C. Como se puede observar en la tabla 6,

tras 24h de la elaboración de los panes las muestras incrementaron su dureza, siendo este incremento mucho más acusado para el pan control y los panes con dosis de sustitución del 15 y 30%. Mientras que el aumento de la dureza en las elaboraciones con 50 y 70% de alpiste fue menor. Durante el resto de días de envejecimiento los panes fueron incrementando la dureza de sus migas, a excepción del pan con un 30% de harina de alpiste, el cual presentó el día siete un descenso en el valor de la dureza. Los valores de elasticidad el primer día de envejecimiento fueron similares a los de los panes recién horneados, a partir del segundo día la elasticidad de la miga de todos los panes descendió.

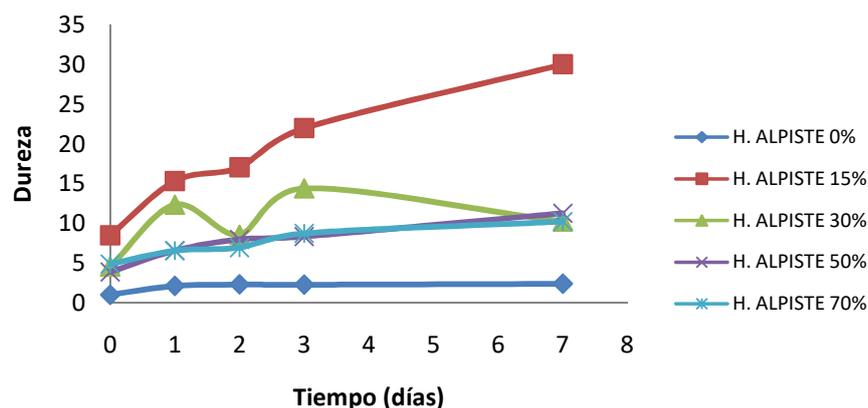


Figura 4: Evolución del envejecimiento de los panes durante siete días.

La principal causa del endurecimiento de los panes es la retrogradación del almidón, pero además el contenido de humedad y la transferencia de humedad entre los componentes del pan se cree que son también factores importantes que contribuyen al envejecimiento del producto. Rogers, et al (1998) afirmaron que la retrogradación del almidón se incrementa cuando el contenido de humedad de los panes es mayor. Como los panes sin gluten tienen altos niveles de humedad debido al empleo de hidrocoloides en su formulación, la retrogradación del almidón puede progresar más rápidamente durante el almacenamiento. Sciarini et al., (2010) que elaboraron panes con mezclas de almidón de maíz y harinas de arroz y soja también comprobaron que, debido a la retrogradación del almidón, con el paso del tiempo se incrementaban los valores de dureza de los panes; sin embargo éstos investigadores concluyeron que la adición a las mezclas de harina de soja, retrasaba el endurecimiento de los panes, ya que las proteínas de la soja parecen tener una alta capacidad de retener agua y esto podría interferir en la retrogradación del almidón. Los resultados obtenidos en el presente estudio, no concuerdan con los obtenidos por Sciarini et al., (2010). El elevado porcentaje de proteína y fibra presente en la harina de alpiste, no fue capaz de ralentizar el proceso de envejecimiento de la miga del pan, de tal manera que los panes control fueron los que menor tasa de endurecimiento presentaron a lo largo del período estudiado.

Las proteínas presentes en la harina alpiste y su alto contenido en fibra no provocan ese retraso en el endurecimiento de los panes elaborados, se observa como son los panes control los que menor endurecimiento sufren.

Tabla 6: Valores medios y grupos homogéneos para la dureza y la elasticidad de los panes elaborados según la dosis de alpiste durante su envejecimiento.

Dosis Alpiste (%)	Dureza D1 (N)	Dureza D2 (N)	Dureza D3 (N)	Dureza D7 (N)	Elasticidad D1	Elasticidad D2	Elasticidad D3	Elasticidad D7
0	2,12	2,29	2,28	2,39	0,82 b	0,51 ab	0,42 a	0,39 a
15	15,33	17,05	22,00	30,04	0,87 b	0,76 c	0,50 a	0,54 a
30	12,36	8,56	14,42	10,26	0,72 a	0,45 a	0,34 a	0,36 a
50	6,56	7,99	8,35	11,28	0,82 b	0,40 a	0,33 a	0,40 a
70	6,55	6,93	8,73	10,21	0,81 ab	0,70 bc	0,57 a	0,36 a
ES	0,93	0,80	1,22	1,25	0,03	0,07	0,07	0,08

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

3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS BIZCOCHOS.

3.3.1. Pérdida de peso, volumen específico y factores de forma

En la tabla 7 se pueden observar los valores de porcentaje de pérdida de peso, volumen específico y factores de forma de los bizcochos elaborados con diferentes dosis de harina de alpiste. Estos resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza. En general, se pudo observar que la adición de harina de alpiste tiende a incrementar la pérdida de peso de los bizcochos elaborados con la misma, siendo la elaboración con el 50% de alpiste la que presentó un mayor descenso, frente al bizcocho con un 75% que mostró la menor pérdida de peso. En los valores de pérdida de peso solamente se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras realizadas con un 25%, un 50% y el control.

Tabla 7: Valores medios y grupos homogéneos para la pérdida de peso, el volumen específico y los factores de forma de los bizcochos elaborados según la dosis de alpiste.

Dosis Alpiste (%)	Pérdida peso (%)	Vol. Específico (ml/g)	I. Simetría (mm)	I. Uniformidad (mm)	I. Volumen (mm)
0	8,82 a	2,30 a	4,32 a	-0,55 ab	124,1 a
25	12,12 bc	2,50 b	5,43 a	0,14 b	134,5 b
50	12,48 c	2,48 b	9,95 b	0,00 ab	147,5 c
75	9,38 a	2,82 c	3,09 a	-3,34 a	166,7 d
100	10,41 ab	3,05 d	3,33 a	1,48 b	176,5 e
ES	0,50	0,04	1,37	1,43	1,7

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

La sustitución de harina de arroz por harina de alpiste condujo a bizcochos de mayor volumen específico. Se observó que al incrementar la dosis de harina de alpiste, el volumen de los bizcochos aumentó. Este aumento de volumen alcanzó niveles significativos ($p < 0,05$) para todas las muestras, observándose incrementos de hasta un 33% respecto al control para el bizcocho elaborado con un 70% de harina de alpiste. Este aumento en el volumen específico de los bizcochos puede deberse al reducido tamaño de la harina de alpiste ($D_{50} = 34,1\mu\text{m}$) ya que el tamaño de partícula tiene un efecto determinante en la elaboración de bizcochos sin gluten. Estudios previos con harinas de arroz, han demostrado que harinas con tamaño de partícula

pequeño producen mayor volumen y mayor índice de simetría en los bizcochos (De la Hera, 2013).

En cuanto a los factores de forma, el análisis de varianza ANOVA, permitió concluir que la dosis de alpiste no tuvo un efecto significativo sobre el índice de uniformidad. Sobre el índice de simetría únicamente la dosis de 50% de harina de alpiste presentó un aumento estadísticamente significativo ($p < 0,05$), mientras que sobre el índice de volumen el incremento de la dosis de harina de alpiste ejerció un efecto significativo en todas las elaboraciones. Los valores del índice de volumen del bizcocho elaborado únicamente con harina de alpiste aumentaron hasta un 42% respecto al bizcocho control.

3.3.2. Propiedades del color de la corteza y de la miga

La tabla 8 muestra los resultados obtenidos tras el análisis de varianza de los parámetros cromáticos de la miga y la corteza obtenidos para las diferentes elaboraciones de bizcochos. Como se puede observar, la adición de harina de alpiste condujo a un descenso significativo ($p < 0,05$) en la luminosidad de la corteza de los bizcochos. El bizcocho con un 50% de harina de alpiste fue el que presentó un mayor descenso en el valor de luminosidad, en torno a un 31% respecto al control. El empleo de porcentajes superiores al 50% de harina de alpiste no dio lugar a descensos adicionales en la luminosidad de la corteza. En general, la adición de harina de alpiste a las masas disminuyó notablemente la luminosidad de la corteza de los bizcochos, produciendo así un oscurecimiento de la misma.

Las coordenadas cromáticas a^* y b^* indican que el tono de la corteza estaría comprendido entre tonos rojizos y amarillentos, encontrándose los bizcochos elaborados con harina de alpiste más cercanos al rojo mientras que el bizcocho elaborado con harina de arroz más próximo al amarillo. Ambas coordenadas presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al control y as u vez entre las diferentes elaboraciones. Se observó que la adición de harina de alpiste disminuía el valor de de estos dos parámetros cromáticos a medida que se aumentaba la dosis.

Tabla 8: Valores medios y grupos homogéneos para el color de la corteza y de la miga de los bizcochos elaborados según la dosis de alpiste.

Dosis Alpiste (%)	CORTEZA			MIGA		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	52,9 c	18,2 d	28,3 c	75,4 d	2,42 a	16,2 b
25	48,9 b	17,3 c	26,8 b	65,2 c	4,56 b	15,1 a
50	40,5 a	15,5 b	23,9 a	52,1 a	4,96 c	14,8 a
75	41,3 a	15,4 ab	23,7 a	58,4 b	5,39 d	15,1 a
100	42,6 a	15,1 a	24,1 a	52,9 a	5,65 e	14,9 a
ES	1,0	0,1	0,4	0,7	0,1	0,1

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). L*: luminosidad; a^* y b^* : coordenadas cromáticas. ES: error estándar agrupado.

Los datos de color de la miga, siguen una tendencia similar a los datos de la corteza. Los bizcochos elaborados con harina de alpiste tuvieron luminosidades

significativamente ($p < 0,05$) menores que los bizcochos control, presentando una miga más oscura. La coordenada a^* presentó un aumento estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en todas las dosis respecto el control, e incluso entre ellas. Mientras que la coordenada b^* mostró un descenso significativo ($p < 0,05$) en todas las elaboraciones respecto al control. Como resultado la miga de estos bizcochos mostró un tono amarillo rojizo, con mayor presencia de tonos rojos. El color de la miga de los bizcochos se vio influenciada por el color intenso de la harina de alpiste debida a su naturaleza integral. El porcentaje de adición de harina también determinó la intensidad en la modificación de los parámetros cromáticos de la miga del pan. Efectos similares fueron obtenidos en estudios anteriores donde se la sustitución de harina de trigo por harina de maíz provocó descensos significativos en el valor de L^* , mostrando que el remplazo por harina de alpiste da como resultado un color de miga más oscuro (Abdel-Aal, et al, 2011).

3.2.3. Alveolado de la miga

En la figura 5 se muestran imágenes escaneadas de todas las elaboraciones, incluida el control, donde se puede observar la densidad alveolar y el tamaño de alveolo de cada una de las muestras.

En general todos los bizcochos que contenían alpiste en su formulación mostraron un volumen más elevado como consecuencia de una mayor retención de gas durante el horneado. Por esta razón la miga de los bizcochos elaborados con harina de alpiste presentó mayor densidad alveolar que la miga del bizcocho control. En cuanto al tamaño de alveolo, la miga de todas las elaboraciones presentó alveolos de pequeño tamaño; a pesar de ello se observó que las elaboraciones con el 50, 75 y 100% de harina de alpiste presentaron algunos alvéolos de gran tamaño, aunque su miga estaba constituida mayoritariamente por alveolos pequeños. La alta densidad alveolar y el pequeño tamaño de los alveolos hicieron que los bizcochos elaborados con harina de alpiste presentaran un incremento de la terneza de la miga. El aumento en la densidad alveolar de los bizcochos de alpiste puede deberse al pequeño tamaño de partícula ($D_{50} = 34,1\mu\text{m}$) de esta harina. Estudios realizados con diferentes harinas sin gluten han demostrado que harinas finas producen una distribución del aire en burbujas más pequeñas y uniformes en los bizcochos (De la Hera, 2013)



(A)

(B)

(C)

(D)

(E)

Figura 5: Sección transversal central de las rebanadas del bizcocho control (A), bizcocho elaborado con un 25% de harina de alpiste (B), 50% de harina de alpiste (C), 75% de harina de alpiste (D) y 70% de harina de alpiste (E).

3.2.4. Características de la textura de la miga.

La tabla 9 muestra los valores de dureza y elasticidad obtenidos mediante un análisis de varianza. Como se puede observar, los bizcochos elaborados con 25 y 50% de harina de alpiste presentaron un incremento de la dureza de la miga respecto el bizcocho control, mostrando únicamente diferencias estadísticamente ($p < 0,05$) la elaboración del 25% de alpiste. Asimismo, la adición de harina de alpiste en porcentajes superiores, produjo un descenso en la dureza de la miga de los bizcochos. La dureza de la miga de los bizcochos elaborados con el 75 y 100% de alpiste descendió significativamente ($p < 0,05$), siendo esta disminución de hasta un 53% en la muestra con el 100%.

En cuanto a los valores de elasticidad, se puede observar como la adición de harina de alpiste condujo a un descenso significativo ($p < 0,05$) en la elasticidad de la miga de los bizcochos. La elaboración con el 100% de alpiste mostró la caída máxima de elasticidad correspondiente a un 10,5% respecto al bizcocho control. Los bizcochos con el 50, 75 y 100% de harina de alpiste, tendían a desmigarse cuando se rebanaban; este comportamiento puede deberse a sus bajos valores de elasticidad ya que el grado de frescura de un pan está relacionado con valores de elasticidad elevados; sin embargo bajos valores de elasticidad provocan esos efectos (McCarthy, et al., 2005)

Tabla 9: Valores medios y grupos homogéneos para la dureza y la elasticidad de los panes elaborados según la dosis de alpiste.

Dosis Alpiste (%)	Dureza	Elasticidad
0	4,5 c	0,86 c
25	5,4 d	0,78 ab
50	4,9 cd	0,81 b
75	3,1 b	0,81 b
100	2,1 a	0,77 a
ES	0,3	0,01

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

3.4. ANALISIS SENSORIAL DE PANES Y BIZCOCHOS

3.4.1 Panes

En la Tabla 10 y en la Figura 10 se muestran los diferentes atributos sensoriales evaluados en la cata de los panes elaborados con las dosis de harina de alpiste de 0, 30 y 70%. Como se puede observar las puntuaciones más bajas en relación al aspecto visual de los panes, tanto exterior como interior, fueron para los panes elaborados con el 70% de harina de alpiste. En cuanto a los parámetros de aroma, sabor y retrogusto se observó que el pan que recibió la mayor puntuación fue el elaborado con el 70% de harina de alpiste, mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al control; a su vez, el aroma también presentó diferencias estadísticamente significativas respecto al resto de elaboraciones. En el caso de la aceptación global, el pan que consiguió una

mayor puntuación fue el elaborado con la dosis más alta de harina de alpiste, mostrando un incremento del 14% respecto al pan control, que resultó estadísticamente significativo ($p < 0,05$). A través de los resultados obtenidos se pudo comprobar que el volumen del pan no es el único parámetro que los consumidores valoran, sino que el color y el sabor son atributos muy valorados por los consumidores. Cabe destacar que todas las elaboraciones evaluadas sensorialmente obtuvieron una puntuación superior a 6 puntos, por encima del punto intermedio, lo que significa que todas ellas gustaron en gran medida a los catadores.

Tabla 10: Valores medios y grupos homogéneos para los atributos sensoriales de los panes elaborados según la dosis de alpiste

Dosis Alpiste (%)	Aspecto exterior	Aspecto interior	Aroma	Sabor	Retrogusto	Dureza	Aceptación global
0	7,82 b	6,80 a	5,53 a	5,75 a	5,84 a	6,16 a	6,11 a
30	6,13 a	6,61 a	6,07 b	6,69 b	6,30 ab	6,54 a	6,70 b
70	6,15 a	6,54 a	7,32 c	6,77 b	6,41 b	6,52 a	6,95 b
ES	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

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

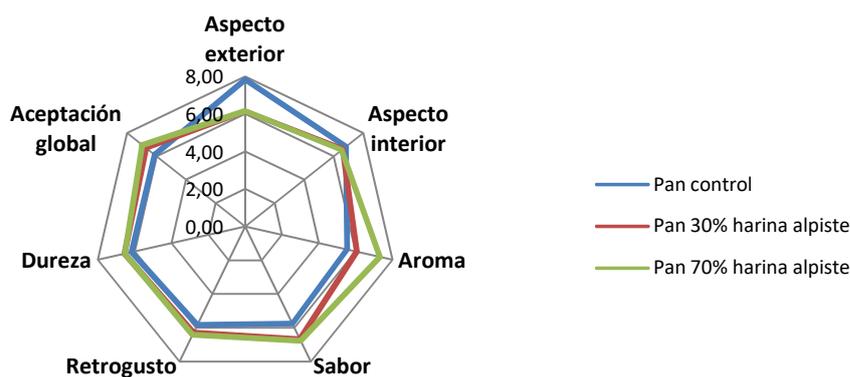


Figura 6: Gráfico radial de los atributos sensoriales de los panes elaborados con dosis de 0, 30 y 70% de harina de alpiste

3.4.2. Bizcochos

Los resultados obtenidos del análisis sensorial de los bizcochos elaborados con 0, 50 y 100% de harina de alpiste se evaluaron con un análisis de varianza, ANOVA, y se muestran en la Tabla y Figura 11. Los bizcochos elaborados con un 50% de harina de alpiste fueron los mejor valorados respecto a su aspecto exterior, mientras que los bizcochos elaborados con harina de arroz obtuvieron mayores puntuaciones en el aspecto interior. Como se puede apreciar en la tabla 11, los atributos de aroma, sabor, retrogusto y dureza el bizcocho elaborado con el 50% fue el que consiguió la mayor puntuación, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto al bizcocho control y al que poseía 100% de harina de alpiste. En cuanto a la

aceptación global se observó que el bizcocho mejor valorado fue el elaborado con el 50% de harina alpiste, seguido por el control y finalmente el del 100%. Los valores de aceptación global obtenidos para los bizcochos fueron algo superiores a los resultados obtenidos para los panes e indican valores comprendidos entre 7 y 7,5, lo que demuestra la gran aceptación que obtuvo el producto por parte de los catadores.

Tabla 11: Valores medios y grupos homogéneos para los atributos sensoriales de los bizcochos elaborados según la dosis de alpiste

Dosis Alpiste (%)	Aspecto exterior	Aspecto interior	Aroma	Sabor	Retrogusto	Dureza	Aceptación global
0	7,16 a	7,30 b	6,67 ab	7,15 a	6,87 a	7,05 ab	7,17 ab
50	7,39 a	7,02 b	7,03 b	7,69 b	7,38 b	7,25 b	7,51 b
100	7,20 a	6,56 a	6,27 a	6,98 a	6,93 a	6,67 a	6,98 a
ES	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

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

A pesar de que más del 70% de los catadores no conocía el alpiste como cereal para consumo humano y el 56% no consumen productos integrales de forma habitual, los resultados obtenidos del análisis sensorial nos hacen pensar que estos productos elaborados con este nuevo cereal tendrían una buena aceptación por parte de los consumidores.

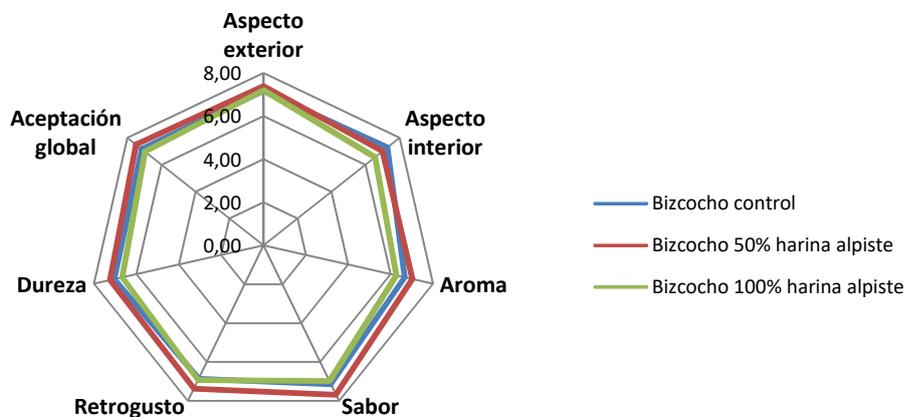


Figura 7: Gráfico radial de los atributos sensoriales de los bizcochos elaborados con dosis de 0, 50 y 100% de harina de alpiste

4. CONCLUSIONES

La incorporación de harina de alpiste en las formulaciones de productos horneados sin gluten, constituye una herramienta de gran interés para mejorar la calidad nutricional de la dieta de la población celiaca. Sin embargo, el presente estudio ha revelado que la sustitución de la harina de arroz por harina de alpiste en porcentajes variables,

modificó el comportamiento reológico de las masas elaboradas. Los resultados obtenidos mostraron que a mayor dosis de alpiste, las masas disminuyeron su consistencia, se caracterizaron por tener módulos elásticos y viscosos inferiores, valores más bajos de capacitancia elástica instantánea y retardada, y menores valores de viscosidad. La modificación de las propiedades viscoelásticas de las masas tras la inclusión de harina de alpiste en la fórmula cualitativa, hacen recomendable la optimización de diversos parámetros de proceso antes de abordar la elaboración de productos sin gluten. Este es el caso de la hidratación de las masas, la dosis de hidrocoloide empleado o la temperatura y el tiempo de fermentación y horneado.

Los parámetros de calidad del pan y del bizcocho tradicional sin gluten, también se vieron afectados por la sustitución de harina de arroz por harina de alpiste en la formulación. Los panes elaborados con alpiste mostraron menor volumen específico, mayor dureza de la miga y un oscurecimiento característico del color de la corteza y de la miga. Por su parte, Los bizcochos se caracterizaron por un mayor volumen específico, menor dureza de la miga en las elaboraciones con 70 y 100% de alpiste y un oscurecimiento tanto de la miga como de la corteza. Aunque ambos productos obtuvieron una elevada aceptación sensorial, en los panes la aceptación global fue aumentando conforme se incrementó la dosis, debido a la adecuada valoración del sabor y el aroma de producto por parte de los catadores. Los bizcochos mostraron valores algo más altos en cuanto a su aceptación global, siendo el bizcocho con un 50% de alpiste el mejor valorado sensorialmente.

El alpiste para consumo humano se revela como una alternativa para la elaboración de productos horneados sin gluten con una calidad sensorial adecuada y un elevado valor nutricional. No obstante, es necesario profundizar en el estudio de las propiedades funcionales y tecnológicas de este nuevo ingrediente con el objeto de optimizar la formulación de los productos.

AGRADECIMIENTOS

A Felicidad Ronda y Pedro A. Caballero por el apoyo prestado en el desarrollo de este Trabajo fin de Máster y la elaboración de esta memoria; y muy encarecidamente a Marina Villanueva Barrero por su gran ayuda y dedicación en el desarrollo de dicho trabajo.

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto AGL2015-63849-C2-2-R financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y los Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (MINECO /FEDER), de los proyectos de la Junta de Castilla y León/FEDER (Ref: VA072P17 y VA165G18) y del proyecto de la Comisión Europea, Marie Skłodowska-Curie H2020-MSCA-IF-2015-EF (Ref: 706102).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal, E. M., Hucl, P., Miller, S. S., Patterson, C. A., Gray, D. (2011). Microstructure and nutrient composition of hairless canary seed and its potential as a blending flour for food use. *Food Chemistry*, 125, 410-416.
- Abdel-Aal, E.S.M., Hucl, P., Sosulski, F. W. (1997). Characteristics of Canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) Starch. *Starch/Stärke*, 49, 475-480.
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E.K., Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230, 437-445.
- Arendt, E.K., Morrissey, A., Moore, M.M., Dal Bello, F. (2008). Gluten-free breads. Gluten-free cereal products and beverages. *Academic Press*, 289-311.
- Cabrera- Chávez, F., Calderón de la Barca, A.M (2010). Trends in wheat technology and modification of gluten proteins for dietary treatment of coeliac disease patients. *Journal of Cereal Science*, 52, 337-341.
- Catassi, C., Yachha, S.K. (2009). The epidemiology of celiac disease. The science of gluten-free foods and beverages, *Academic Press*, 1-13.
- Chlopicka, J., et al, (2012). Total Phenolic and Total Flavonoid Content, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Pseudocereal Breads. *LWT - Food Science and Technology*, 5, vol. 46, no. 2, pp. 548-555.
- De la Hera, E., Gómez, M., Rosell, C. M. (2013). Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. *Carbohydrate Polymers*, 98: 421-427.
- De la Hera, E., Martínez, M., Gómez, M. (2013) Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT – Food Science and Technology*, 54: 199-206.
- De la Hera, E., Talegón, M., Caballero., P, Gómez., M (2013). Influence of maize flour particle size on gluten-free bread making. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93: 924-932.
- De la Hera, E., Martínez, M., Gómez, M. (2013) Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. *Food Bioprocess and Technology*, 6: 2280-2288.
- Farrell, R.J., Kelly, C.P. (2002). Celiac sprue. *New England Journal of Medicine*, 346, 180-188.
- Gallagher, E., Gormley, T., & Arendt, E. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161.
- Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal based products. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 143-152.
- Green, P. H. R., Jabri, B. (2003). Coeliac disease. *The Lancet*, 362, 383-391.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooraikul, B., Rosnagel, B. (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science*, 36, 219–237.
- Gujral, H.S., Rosell, C.M. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*, 37, 75-81.
- Hager, A., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., & Arendt, E.K. (2012). Nutritional Properties and Ultra-Structure of Commercial Gluten Free Flours from Different Botanical Sources Compared to Wheat Flours. *Journal of Cereal Science*, 9, vol. 56, no. 2, pp. 239-247.

Hucl, P., Matus-Cadiz, M., Vandenberg, A., Sosulski, F. W., Abdel-Aal, E-S. M., Hughes, G. R., Slinkard, A. E. CDC Maria anual canarygrass. *Can. J. Plant Sci.* 2001, 81, 115–116.

Irani, M., Razavi, M. A., Abdel-Aal, E. S. M., Hucl, P. (2016). Dilute solution properties of canary seed (*Phalaris canariensis*) starch in comparison to wheat starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 123-129.

Karéne, P. (2016). Propiedades tecnológicas de la harina de trigo sarraceno en función de su tamaño de partícula. Aplicación en panificación sin gluten.

Kinsey, L., Burden, S.T., Bannerman, E. (2008). A dietary survey to determine if patients with coeliac disease are meeting current healthy eating guidelines and how their diet compares to that of the British general population. *European Journal of Clinical Nutrition*, 62, 1333-1342.

Kohajdova, Z., Karovicova, J. (2008). Nutritional value and baking application of spelt wheat. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 7, 5–14.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C.G., (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-104.

López, A.C.B., Pereira, A.J.G. and Junqueira, R.G. (2004). Flour Mixture of Rice Flour, Corn and Cassava Starch in the Production of Gluten-Free White Bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 47, no. 1, pp. 63-70.

Mancebo, C., Merino, C., Martínez, M., Gómez, M. (2015) Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. *Journal Food Science Technology*. DOI 10.1007/s13197-015-1769-4

Mariotti, M., Pagani, A., Lucisano, M. (2013). The Role of Buckwheat and HPMC on the Breadmaking Properties of some Commercial Gluten-Free Bread Mixtures. *Food Hydrocolloids*, 30 (1), 393-400.

McCarthy, D., Gallaguer, E., Gormley, T., Schober, T., & Arendt, E. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82, 609-615.

Maximiliano, M. (2014). El cultivo de alpiste. Universidad Nacional del centro de la provincia de Buenos Aires. 158p. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/295912524_El_Cultivo_de_Alpiste_Phalaris_canariensis_L . [Fecha de consulta: 22/08/2018]

Miñarro, B., Normahomed, I., Guamis, B., & Capellas., M. (2010). Influence of unicellular protein on gluten-free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, vol. 231, pp. 171-179.

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

O'Neill, C. H., Hodges, G. M., Riddle, P. N., Jordan, P. W., Newman, R. H., Flood, R. J., Toulson, E. C. (1980). A fine fibrous silica contaminant of flour in the high oesophageal cancer area of North-East Iran. *Int. J. Cancer*, 26, 617–628.

Patterson C.A. (2010). Canaryseed - Food Applications for Canaryseed. *Canaryseed News, ISSUE*, 17, 5-6.

Plaza, M. (2016). Modificación física de harina de trigo sarraceno. Impacto sobre la reología de las masas y la calidad de los panes sin gluten. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Valladolid. Palencia.

Putnam, D. H., Miller, P. R., Hucl, P. (1996). Potential for production and utilization of annual canarygrass. *Cereal FoodsWorld*, 41, 75–83.

Rogers, D., Zeleznak, K., & Lai, C. H. (1988). Effect of native lipids, shortening and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, vol. 65, pp. 398-401.

Ronda, F., Pérez-Quirce, S., Angioloni, A., Collar, C. (2013). Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: A fundamental and empirical rheological approach. *Food Hydrocolloids*, 32, 252-262.

Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P. A., y Pando, V. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 272-277.

Sciarini, L.S., Pérez, G.T., Edel León, A., & Ribotta, P.D. (2012). Partial-Baking Process on Gluten-Free Bread: Impact of Hydrocolloid Addition. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 5, pp. 1724-1732.

Schamne, C., Dutcosky, S. D., & Demiate, I. M. (2010). Obtention and characterization of gluten-free baked products. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, vol. 30, pp. 741-750.

Sivaramakrishnan, H., Senge, B., Chattopadhyay, P.K. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62, 37-45.

Tariqul Islam, A. F. M., Chowdhury, M. G. F., Islam, M. N., Islam, M. S. (2007). Standardization of bread preparation from soy flour. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 2, 15–20.

Ylimaki, G., Hawarysh, Z., Hardin, R., & Thomson, A. (1988). Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: objective measurements. *Journal of Food Science*, 53, 1800-1805.

6. ANEXO

ANEXO 1: Modelo de la ficha de cata

FICHA DE CATA

Ante usted hay cinco muestras de pan para que las valore en cuanto a los atributos establecidos.

Puntúe cada uno de los parámetros solicitados del 1 al 9 en función de la siguiente escala. (Recuerde beber agua entre muestra y muestra).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta muchoísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta muchoísimo

	2841	5036	7898
Color de la corteza			
Color de la miga			
Aroma*			
Sabor			
Retrogusto**			
Dureza			
Aceptación global			

*Aroma: para evaluarlo, abra por la mitad el trozo de pan y huela

**Retrogusto: una vez que lo has tragado, el "sabor" que te queda en la boca

Observaciones (comente las características de cada uno de los panes que más le han llamado la atención)

CUESTIONARIO

Para finalizar, por favor, conteste a las siguientes preguntas, marcando con una cruz la opción elegida.

Sexo: H M

Edad:

- De 18 a 24 años De 25 a 34 años De 35 a 44 años
 De 45 a 54 años De 55 a 64 años Más de 65 años

¿Conocía el alpiste para consumo humano antes de realizar la cata?

- Sí
 No

¿Consume frecuentemente panes o bizcochos integrales?

- Sí
 No

¿Estaría dispuesto a pagar más dinero por un producto enriquecido nutricionalmente?

- Sí
 No

MUCHAS GRACIAS POR REALIZAR LA CATA