



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO REFINADA POR HARINAS MÁS NUTRITIVAS Y LIBRES DE GLUTEN EN MAGDALENAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS

ALUMNO/A: MIGUEL CARREÑO RICO

TUTOR/A ACADEMICO: MARIA DOLORES ORTOLÁ ORTOLÁ

COTUTOR/A: MARISA CASTELLÓ GOMEZ

DIRECTOR EXPERIMENTAL: EVA RIPOLL SEGUER

Curso Académico: 2016/2017

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2017

SUSTITUCION DE HARINA DE TRIGO REFINADA POR HARINAS MÁS NUTRITIVAS Y LIBRES DE GLUTEN EN MAGDALENAS

Carreño, M., Ripoll, E., Castelló, M.L., Ortolá, MD.

RESUMEN

Actualmente, una de las industrias alimentarias más importantes es la de bollería, pero por contener ingredientes alérgenos, no pueden ser consumidos por un sector significativo de la población de forma segura. En este trabajo se desarrollan distintas formulaciones de magdalenas, sustituyendo la harina de trigo refinada convencional por harinas procedentes de semillas libres de gluten y con una mejor composición nutricional (chía, garrofón y lenteja) en diferentes porcentajes (25, 50, 75 y 100%). Concretamente, se han analizado las propiedades reológicas y la cinética de crecimiento de la masa durante el horneado. Además, se han determinado la humedad, la actividad de agua (a_w), las propiedades mecánicas y ópticas y la aceptación sensorial de las magdalenas. Los resultados obtenidos indicaron que un alto grado de sustitución (>50%) de la harina de trigo por las harinas evaluadas afectó a las propiedades reológicas y a la cinética de crecimiento de las masas, así como a la altura final de las magdalenas. Se presentaron valores de humedad y a_w sin grandes diferencias significativas, mientras que las propiedades ópticas de las magdalenas fueron fuertemente influenciadas por el color original de las harinas utilizadas. Desde el punto de vista sensorial, en magdalenas con una sustitución parcial del 50% de la harina de trigo, no se encontraron grandes diferencias significativas con respecto al producto tradicional lo que garantizaría su aceptabilidad en el mercado, especialmente las formuladas con harina de garrofón.

Palabras clave: magdalenas, leguminosas, alérgenos, chia, harinas.

RESUM

Actualment, una de les indústries alimentàries més importants és la de brioixeria, però per contindre ingredients al·lèrgens, no poden ser consumits per un sector significatiu de la població de forma segura. En este treball es desenvolupen distintes formulacions de magdalenes, substituint la farina de blat refinada convencional per farines procedents de llavors lliures de gluten i amb una millor composició nutricional (chia, garrofó i llentilla) en diferents percentatges (25, 50, 75 i 100%). Concretament, s'han analitzat les propietats reològiques i la cinètica de creixement de la massa durant l'enforat. A més, s'han determinat la humitat, l'activitat d'aigua (a_w), les propietats mecàniques i òptiques i l'acceptació sensorial de les magdalenes. Els resultats obtinguts van indicar que

un alt grau de substitució (>50%) de la farina de blat per les farines avaluades va afectar les propietats reològiques i a la cinètica de creixement de les masses, així com a l'altura final de les magdalenes. Es van presentar valors d'humitat i a sense grans diferències significatives, mentres que les propietats òptiques de les magdalenes van ser fortament influenciades pel color original de les farines utilitzades. Des del punt de vista sensorial, en magdalenes amb una substitució parcial del 50% de la farina de blat, no es van trobar grans diferències significatives respecte al producte tradicional el que garantiria la seua acceptabilitat en el mercat, especialment les formulades amb farina de garrofó.

Paraules clau: magdalenes, lleguminoses, al·lèrgens, chía, farines.

ABSTRACT

Nowadays, bakery is one of the most important food industries, but many of its products contain allergens so they can not be consumed by a significant segment of society. In this work, several formulations of muffins are developed, replacing the conventional refined wheat flour by other flours milled from gluten-free seeds and with a better nutritional composition (chia, lima bean and lentil) in different percentages (25, 50, 75 and 100%). Specifically, the rheological and kinetic properties of the dough growth during baking have been analyzed. Furthermore, moisture, water activity, mechanical and optical properties and sensory acceptance of muffins have been determined. Results suggested that a high degree of substitution (> 50%) of the wheat flour by the evaluated flours affected the rheological and kinetic properties of the doughs and the muffins final height. No significant differences were recorded in moisture and water activity, while the optical properties of the muffins were strongly influenced by the original color of flours used. From the sensorial point of view, no significant differences were found in muffins with a partial replacement of 50% of the wheat flour compared with the traditional product, assuring their future acceptability in the food market.

Keywords: muffins, legumes, allergens, chia, flours.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LA BOLLERÍA A NIVEL ECONÓMICO Y SOCIAL

En la sociedad actual, el consumo por persona y año de productos procedentes del sector de bollería, pastelería, galletas, cereales y productos navideños crece y ocupa un lugar relevante en la cesta de la compra de todos los hogares. En concreto, se destinan el 4,21% de su presupuesto para alimentación y bebidas a la compra de esta categoría, lo que supone un gasto por persona y año de 64,41€ y un consumo per cápita de 14,13 kg, con un crecimiento del 2,3%. De los 14,13 kilogramos consumidos, la bollería y pastelería es el sector que más contribuye con 6,15 kilos por persona y año (MAPAMA, 2016). En la Figura 1 se muestra la relevancia económica y el volumen de compra de los diferentes productos pertenecientes a este sector y como se refleja en la misma, la bollería/pastelería es la categoría con mayor porcentaje en volumen en kg (43,5%) y en valor económico en € (48,6%).

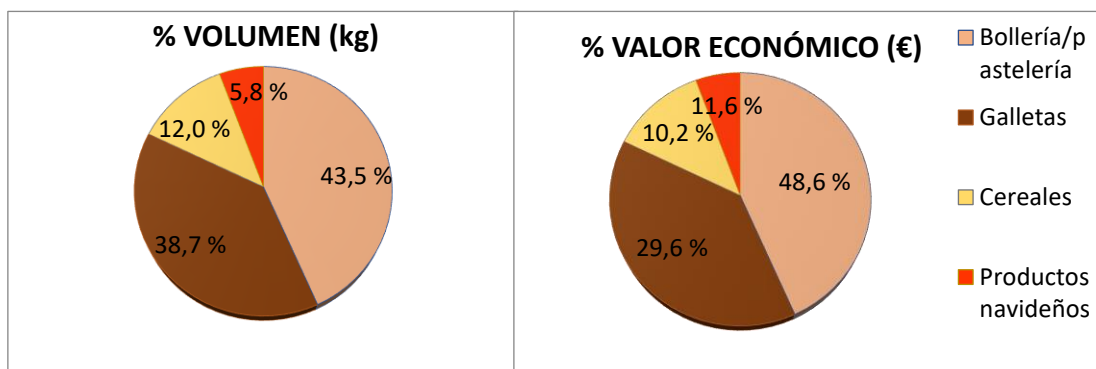


FIGURA 1. Volumen y valor económico de las distintas categorías en España (MAPAMA, 2016).

1.2. POSIBLES ALTERNATIVAS AL USO DE HARINA DE TRIGO CONVENCIONAL

La harina de trigo convencional presenta una pobre composición nutricional y contiene alérgenos, como es el caso del gluten, que afecta a un sector cada vez más significativo de la sociedad. La sustitución parcial o total de ésta por otras harinas alternativas, procedentes de semillas de leguminosas, supone una mejora en la composición nutricional del producto final, en este caso magdalenas. Las harinas procedentes de legumbres (*Lens culinaris* y *Phaseolus lunatus*) y semillas de chía (*Salvia hispanica*) contienen un alto contenido proteico y son ricas en fibra, minerales y vitaminas esenciales para una dieta equilibrada. Además, son fuente rica en polifenoles con una gran capacidad antioxidante y presentan bajos índices glucémicos. Tienen un alto contenido en lisina, aminoácido esencial para el ser humano, pero son deficientes en aminoácidos azufrados (p. ej. metionina), mientras que la harina de trigo contiene un adecuado nivel de aminoácidos azufrados y es deficiente en lisina. Por lo

tanto, la combinación de ambos tipos de harina sería una solución óptima para mejorar el balance total de aminoácidos (Torres-González, et al., 2014).

Además, cabe destacar que el garrofón valenciano, es una legumbre autóctona de la región de la Comunidad Valenciana, de gran riqueza nutricional y que se conoce principalmente por ser un tradicional ingrediente de la paella valenciana. Su uso se limita prácticamente a este plato y a algunos guisos más, pero su consumo puede ser mucho más amplio. En este trabajo se muestra otra posible aplicación de este producto local.

En la Tabla 1 se presentan las composiciones nutricionales de las semillas utilizadas en este trabajo:

TABLA 1. Composición nutricional de las distintas semillas con las que se elaboraron las harinas. (USDA Food Composition Database, 2017).

Semillas	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Minerales totales	Energía (Kcal/100g)
Trigo	11,7	2 0,37(saturadas)	61	10,3	0,97	314
Chía	24,6	30,74 3,33 (saturadas)	7,72	34,4	2,26	486
Garrofón	21,46	0,69 0,16 (saturadas)	44,38 8,5 (azúcares)	19	2,44	338
Lenteja	24,63	1,06 0,15(saturadas)	52,65 2 (azúcares)	10,7	1,06	352

Valores referidos en g/100g.

Como se puede ver en la Tabla 1, las harinas obtenidas a partir de semillas de leguminosas y de chía tendrán un mayor contenido proteico, en fibra y en micronutrientes (minerales y vitaminas) que la de trigo. Por otra parte, el contenido en carbohidratos será menor.

Teniendo en cuenta los aspectos comentados, el objetivo de este trabajo fue estudiar la viabilidad de diferentes niveles de reemplazo de la harina de trigo por harinas procedentes de semillas libres de gluten como son la chía, el garrofón y la lenteja. Para ello, se analizaron las propiedades reológicas y la cinética de crecimiento de la masa, así como la actividad de agua, la altura, las propiedades ópticas y mecánicas y la aceptación sensorial de las magdalenas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. OBTENCIÓN DE HARINAS, FORMULACIONES Y PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS MAGDALENAS

Semillas secas de lenteja castellana y garrofón valenciano procedentes de un mercado local, se molieron con un molinillo Moulinex y con un robot de cocina (Thermomix, TM31, Vorwerk, Wupertal, Germany), respectivamente. La harina de chía fue suministrada por Q'Omer BioActive Ingredients S.L. Éstas fueron almacenadas en refrigeración hasta su uso.

En este trabajo, se desarrollaron doce formulaciones diferentes de masa de magdalenas, variando el porcentaje de sustitución de la harina de trigo refinada convencional (25, 50, 75 y 100 % (p/p)) por las harinas de leguminosas (lenteja o garrofón) o de chía, que se compararon con una formulación control (100% harina de trigo).

La elaboración de las magdalenas se llevó a cabo utilizando 21,7% (p/p) de huevo, azúcar, aceite de girasol y harinas (harina de trigo/harina de leguminosas o chía). También, se utilizó 10,8% de leche entera y un 2,3 % de gasificantes (bicarbonato sódico, ácido málico y ácido tartárico). En cada una de las formulaciones, durante 20 minutos se mezclaron los huevos, el azúcar y el bicarbonato sódico a máxima velocidad en una batidora eléctrica (Kenwood, modelo KM240 serie, Reino Unido). A continuación, se añadió a la mezcla el aceite, la harina o mezcla de harinas, la leche y los ácidos tartárico y málico y se batió durante 10 minutos a mínima velocidad. Una vez obtenida la masa, se rellenaron los moldes de papel (60x35 mm) con 65 g de masa. Por último, se hornearon durante 25 minutos a una temperatura de 145°C y un nivel de ventilación medio en un horno (Rational AGD-86899 Landsberg a. Lech, Germany).

2.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

2.2.1. Actividad del agua (a_w)

La a_w se analizó con un higrómetro de punto de rocío AquaLab (Decagon Devices, Inc., model 4TE, Pullman, Washington, USA) a 25 °C. Se realizaron tres repeticiones para cada formulación del producto ya horneado.

2.2.2. Humedad

El porcentaje de humedad de la masa y de la magdalena se determinó por el método gravimétrico AOAC (2000) por duplicado para todas las formulaciones.

2.2.3. Cinética de altura de horneado

Se analizó la cinética de altura de horneado con el objetivo de evaluar la velocidad de crecimiento de la masa. Para ello, se utilizaron dos vasos Pyrex, con una escala graduada en cm que fueron llenados con una cantidad fija de masa (65 g), registrando la evolución de la altura cada 2 minutos durante el horneado (145°C, nivel de ventilación medio) hasta altura constante.

2.2.4. Altura de las magdalenas

Una vez horneadas y después de dejarlas enfriar el tiempo necesario, se midió la altura (mm) de cada una de las magdalenas con ayuda de un pie de rey.

2.2.5. Propiedades mecánicas

La dureza y cohesividad de las magdalenas se determinaron por quintuplicado en cada formulación, mediante un estudio de doble compresión TPA (Texture Profile Analysis) en un texturómetro (Analizador de textura TA.XT.plus, Microsystems estable, Godalming, Reino Unido), utilizando una sonda con 40 mm de diámetro en su base circular. Se realizó una deformación hasta el 50 % a una velocidad de 1 mm/s y un intervalo de 30 segundos entre ambas compresiones. Para ello, se obtuvieron cilindros de 40 mm de altura y 40 mm de diámetro con un sacabocados y un posterior corte horizontal de la parte superior para eliminar la corteza.

2.2.6. Propiedades reológicas

Las propiedades reológicas de las masas batidas se analizaron mediante un reómetro (RheoStress 1, Haake) con un sistema de medida placa-placa con ranura entre las placas de 1 mm. Se realizaron dos ensayos para cada formulación: estacionario y oscilatorio. En el ensayo estacionario se estudió su comportamiento al flujo. Para ello, los resultados se modelizaron con la ecuación de Oswald-De Waele (ecuación 1).

$$\tau = \tau_0 + \kappa \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Donde:

τ (Pa): Tensión de cizallamiento

τ_0 (Pa): Tensión umbral para que el fluido comience a fluir

κ (Pa·sⁿ): Índice de consistencia

$\dot{\gamma}$ (s⁻¹): Velocidad de cizallamiento

n: Índice de fluidez

Por otro lado, el ensayo oscilatorio permite caracterizar la viscoelasticidad de las masas. En este caso, se consideran los términos del módulo de almacenamiento (G') y del módulo de pérdidas (G'') establecidos por las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

$$G' = a \cdot \omega^b \quad (2)$$

Donde:

a (Pa^b)= Módulo de almacenamiento a baja frecuencia.

ω (rad·s⁻¹)= Velocidad angular.

b= Índice de la ley de potencia para el módulo de pérdidas.

$$G'' = c \cdot \omega^d \quad (3)$$

Donde:

c (Pa^d)= Módulo de pérdida a baja frecuencia.

ω (rad·s⁻¹) = Velocidad angular.

d= Índice de la ley de potencia para el módulo de pérdidas.

2.2.7. Propiedades ópticas

Para analizar las propiedades ópticas del interior y exterior de las magdalenas se usó un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM 3600d, Tokio, Japón). Los resultados fueron expresados según el sistema de referencia CIE $L^*a^*b^*$ con el iluminante D65 y un ángulo de visión de 10° . Se determinaron la luminosidad L^* , la coordenada a^* y la coordenada b^* . El color exterior se midió directamente de la parte superior de cada una de las doce magdalenas que se horneaban por formulación, mientras que el color interno se analizaba por quintuplicado ayudándose de los mismos cilindros de magdalenas descritos anteriormente, antes de realizar la medida de textura.

2.2.8. Análisis sensorial

Se estudió el grado de aceptación de cuatro formulaciones, siendo una de ellas la muestra control y las otras tres las que contenían un grado de sustitución del 50% de cada una de las harinas estudiadas. El análisis sensorial se realizó en un laboratorio de catas, según recoge la norma (ISO 8589,1988), en el Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD). El panel sensorial estuvo compuesto por 44 catadores con edades comprendidas entre 18 y 65 años. Las muestras fueron presentadas a los catadores simultáneamente y codificadas con números de tres dígitos y aleatorios. Los atributos analizados fueron: aspecto, color interno y externo, aroma, esponjosidad, tacto, textura, esponjosidad en boca, sabor y retrogusto según una escala hedónica de nueve puntos (ISO 4121:2003 y UNE-87025:1996). También se evaluaron estos parámetros según el test Just About Right (JAR) para conocer si preferirían mayor o menor intensidad de los atributos analizados.

2.2.9. Análisis estadístico

El tratamiento estadístico, de todos los resultados obtenidos de las pruebas experimentales citadas anteriormente, se realizó con el programa Statgraphics Centurión versión XVI.I (2013). Se llevó a cabo el Análisis de la Varianza (ANOVA simple y en algunos casos multifactorial) para evaluar el efecto del grado de sustitución en las formulaciones sobre los diferentes parámetros analizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE LAS MASAS

Como se ha comentado en el apartado de materiales y métodos, las propiedades reológicas de las masas fueron estudiadas mediante el uso de dos tipos de ensayo: estacionario y oscilatorio. En la Tabla 2, se presentan los valores de los parámetros obtenidos siguiendo los modelos Ostwald-De Waele (k, n y η) y Ley de la Potencia (a, b, c, d y $\tan(G''/G')$) para los ensayos estacionario y oscilatorio, respectivamente. Como se puede observar en los parámetros del modelo del ensayo estacionario, las masas con un índice de consistencia (k) más similar a la masa elaborada con harina de trigo fueron la de harina de lenteja con un grado de sustitución del 50 y 100% y la de garrofón con un 50%. Es destacable el mayor efecto en las propiedades reológicas de la incorporación de chíá respecto a las leguminosas, provocando un aumento proporcional en el índice de consistencia, así como en la viscosidad aparente (η) y una disminución en el índice de fluidez (n). En contraposición, la harina de garrofón supuso un aumento en el índice de fluidez a medida que se aumentaba su concentración, sin provocar cambios en la viscosidad aparente, mientras que el aumento en la incorporación de la harina de lenteja no modificó significativamente el índice de fluidez ni la viscosidad aparente.

En cuanto al ensayo oscilatorio, los valores obtenidos del modelo de la Ley de la Potencia, ponen de manifiesto que predomina el comportamiento elástico de las distintas masas ($\tan G''/G' < 1$), a excepción de las formuladas con harina de trigo y harina de lenteja al 25 y 50%. En las masas con chíá, a medida que se aumentó la concentración de ésta su comportamiento fue más elástico, ya que se registraron valores mayores del módulo de almacenamiento (G') que del módulo de pérdidas (G''). No se registraron diferencias significativas entre un 75 y un 100% de sustitución. Las diferencias entre los valores G' y G'' de las masas con chíá fueron las más evidentes. Esto posiblemente se deba al alto contenido en fibra (~30%) que contiene este tipo de harina y su capacidad de ligar agua (Gularte et al., 2012) limitando la cantidad de agua disponible para la formación de la red de gluten junto a las proteínas de la harina de trigo (Kohajdová et al., 2013). Con la harina de garrofón también predominó un comportamiento elástico, aunque cuanto mayor fue el grado de sustitución más se acercó a un comportamiento viscoelástico, como es el caso del 100% de porcentaje de reemplazo. Las masas con harina de lenteja al 25 y 50% se comportaron como un semilíquido, mientras que con un 75 y 100% de reemplazo adoptaron un comportamiento elástico. La diferente naturaleza del espectro de proteínas presentes en las harinas de leguminosas y su incompatibilidad con las proteínas de la harina de trigo modificó las propiedades reológicas de las masas elaboradas (Matos et al., 2014).

TABLA 2. Parámetros obtenidos según los modelos *Ley de Potencia* y *Ostwald de Waele* para los ensayos oscilatorio y estacionario, respectivamente.

Tipo Harina	Formulación	Modelo ley de Potencia				Modelo de Ostwald de Waele			
		G'		G''		tan (G''/G')	k	n	η (Pa.s) ($\nu=50$ s ⁻¹)
		a	b	c	d				
Chía	CONTROL	49 ± 9 ^{aAα}	0,57 ± 0,07 ^{cAβ}	52 ± 8 ^{aAα}	0,56 ± 0,09 ^{dBχ}	1,81 ± 0,08 ^{dEδ}	14,98 ± 0,11 ^{aAχ}	0,627 ± 0,003 ^{cBα}	4,2 ± 0,5 ^{aAα}
	25%	432 ± 86 ^{ab}	0,37 ± 0,05 ^b	247 ± 38 ^a	0,394 ± 0,014 ^c	0,68 ± 0,03 ^c	33 ± 2 ^a	0,611 ± 0,015 ^c	8,2 ± 0,6 ^b
	50%	1344 ± 139 ^c	0,276 ± 0,007 ^{ab}	588 ± 47 ^a	0,265 ± 0,007 ^b	0,461 ± 0,006 ^b	80 ± 6 ^b	0,529 ± 0,012 ^b	12,1 ± 0,6 ^c
	75%	5705 ± 409 ^c	0,22 ± 0,03 ^a	1921 ± 80 ^b	0,16 ± 0,03 ^a	0,33 ± 0,02 ^a	141 ± 28 ^c	0,46 ± 0,04 ^a	27,9 ± 1,1 ^d
Garrofón	100%	9799 ± 1298 ^d	0,20 ± 0,08 ^a	4105 ± 1100 ^c	0,121 ± 0,015 ^a	0,36 ± 0,08 ^a	190 ± 41 ^d	0,42 ± 0,05 ^a	43 ± 3 ^c
	25%	172 ± 22 ^A	0,343 ± 0,013 ^A	99 ± 8 ^A	0,408 ± 0,012 ^{AB}	0,37 ± 0,03 ^A	10,2 ± 1,7 ^A	0,68 ± 0,04 ^B	5,1 ± 0,4 ^{AB}
	50%	1991 ± 451 ^B	0,35 ± 0,16 ^A	872 ± 326 ^B	0,36 ± 0,12 ^A	0,6 ± 0,1 ^B	15 ± 6 ^A	0,64 ± 0,08 ^B	5,8 ± 1,3 ^B
	75%	204 ± 239 ^A	0,44 ± 0,17 ^A	108 ± 88 ^A	0,52 ± 0,15 ^{AB}	0,71 ± 0,09 ^C	10,7 ± 0,4 ^A	0,701 ± 0,006 ^B	5,2 ± 0,9 ^{AB}
Lenteja	100%	141 ± 82 ^A	0,44 ± 0,12 ^A	90 ± 28 ^A	0,56 ± 0,04 ^B	1,0 ± 0,2 ^D	170 ± 108 ^B	0,2 ± 0,2 ^A	13,1 ± 0,6 ^C
	25%	41 ± 8 ^{α}	0,56 ± 0,04 ^{β}	44 ± 3 ^{α}	0,511 ± 0,006 ^{$\beta\chi$}	1,7 ± 0,1 ^{χ}	8,6 ± 0,4 ^{α}	0,722 ± 0,003 ^{β}	4,8 ± 0,3 ^{α}
	50%	59 ± 20 ^{α}	0,59 ± 0,07 ^{β}	68 ± 9 ^{α}	0,49 ± 0,02 ^{$\beta\chi$}	1,8 ± 0,3 ^{δ}	14,1 ± 0,7 ^{χ}	0,701 ± 0,003 ^{β}	6,8 ± 0,5 ^{β}
	75%	171 ± 95 ^{β}	0,37 ± 0,06 ^{α}	102 ± 32 ^{β}	0,44 ± 0,03 ^{$\alpha\beta$}	0,45 ± 0,04 ^{α}	11 ± 2 ^{β}	0,72 ± 0,05 ^{β}	5,0 ± 0,2 ^{α}
	100%	356 ± 41 ^{χ}	0,31 ± 0,03 ^{α}	181 ± 19 ^{χ}	0,36 ± 0,04 ^{α}	0,60 ± 0,03 ^{β}	13,4 ± 1,2 ^{χ}	0,707 ± 0,012 ^{β}	6,1 ± 0,6 ^{β}

Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia del 95%.

3.2. CINÉTICA DE CRECIMIENTO DURANTE EL HORNEADO

En la Figura 2 se representan las curvas de variación de la altura durante el horneado, donde se aprecia que la evolución de la altura en esta fase sigue un comportamiento sigmoideal, que se puede ajustar al modelo de Gompertz modificado (ecuación 4). En la Tabla 3, se muestran los valores de los parámetros del modelo:

$$\Delta A = \frac{\Delta A_{m\acute{a}x}}{(1+e^{-k(t-t_c)})} \quad (4)$$

Siendo ΔA la variación relativa de altura, $\Delta A_{m\acute{a}x}$ la variación de altura relativa máxima, k la pendiente del cambio (min^{-1}) y t_c el tiempo en el punto de inflexión (minutos).

En la Tabla 3, se muestra que el parámetro de variación de altura máxima ($\Delta A_{m\acute{a}x}$) registró valores menores en las masas formuladas con las harinas alternativas que en la muestra control. En las masas elaboradas con harina de chía y garrofón la disminución de este parámetro fue progresiva cuanto mayor fue el grado de sustitución, siendo más destacable este efecto en las masas con harina de chía. En las elaboradas con harina de lenteja este parámetro no varió significativamente por efecto del porcentaje de harina considerado. Respecto al parámetro k , los valores registrados con la harina de chía fueron similares a la muestra control para las formulaciones al 25 y 100%, aunque para el 50 y 75% sí se observaron diferencias significativas. En las formulaciones con harina de lenteja no se registraron diferencias significativas en este parámetro con la muestra control, sólo un ligero aumento en la del 75%. En las elaboradas con harina de garrofón, su valor fue aumentando progresivamente cuanto mayor fue el porcentaje de sustitución.

Por último, el parámetro ' t_c ' en la formulación del 25% de harina de chía mostró un valor muy similar al de la muestra de referencia, mientras que con porcentajes de sustitución superiores al 25% se registró antes el punto de inflexión con valores similares para todas ellas. En las formulaciones con harina de lenteja los valores de ' t_c ' fueron menores que los de la muestra control, pero no se observaron diferencias significativas con el aumento del porcentaje de reemplazo, sólo un ligero descenso en el del 75%. En las elaboradas con harina de garrofón, este tiempo fue disminuyendo progresivamente cuanto mayor fue el porcentaje de sustitución. El punto de inflexión de la curva para el 25% fue muy similar al de la muestra con 100% harina de trigo.

La reducción de la variación de altura relativa máxima ($\Delta A_{m\acute{a}x}$) podría atribuirse en parte a la dilución de la red de gluten (Mohammed et al., 2012) por la adición de las proteínas de las harinas de leguminosas, dando lugar a masas más débiles (Des Marchais et al., 2011). Según estudios de adición de harinas de leguminosas en masas panarias (Mohammed et al., 2012) también se plantea la hipótesis de que las harinas de leguminosas suprimen la cantidad de vapor generado como resultado de la mayor capacidad de absorción de agua de sus proteínas, lo que conduce a un menor volumen del producto horneado.

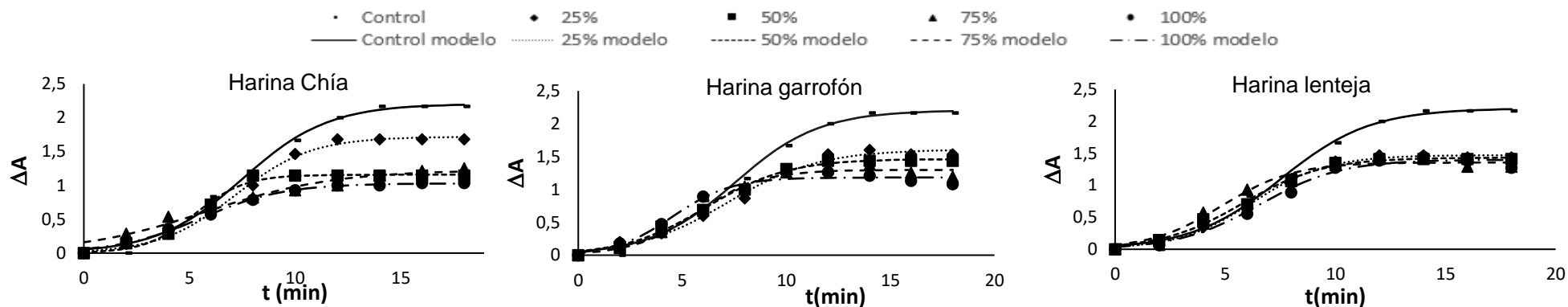


FIGURA 2. Variación de altura relativa (ΔA) en función del tiempo (datos experimentales ajustados al modelo de Gompertz).

TABLA 3. Parámetros obtenidos ($\Delta A_{\text{máx}}$, k y t_c) según el modelo de Gompertz para la cinética de altura de horneado de las magdalenas.

Tipo de harina	Formulación	$\Delta A_{\text{máx}}$	k (min^{-1})	t_c (min)
Chía	Control	$2,20 \pm 0,06^e$	$0,49 \pm 0,05^B$	$7,5 \pm 0,2^e$
	25%	$1,72 \pm 0,05^e$	$0,561 \pm 0,006^{BC}$	$7,18 \pm 0,09^\delta$
	50%	$1,16 \pm 0,02^a$	$0,9 \pm 0,1^E$	$5,3 \pm 0,2^{a\beta}$
	75%	$1,23 \pm 0,06^{ab}$	$0,33 \pm 0,05^A$	$5,8 \pm 0,6^\beta$
	100%	$1,03 \pm 0,03^a$	$0,51 \pm 0,03^B$	$5,5 \pm 0,2^\beta$
Garrofón	25%	$1,60 \pm 0,05^d$	$0,46 \pm 0,05^B$	$7,2 \pm 0,3^\delta$
	50%	$1,463 \pm 0,003^c$	$0,51 \pm 0,03^B$	$6,16 \pm 0,12^{\beta\chi}$
	75%	$1,2980 \pm 0,0013^b$	$0,652 \pm 0,004^C$	$5,7 \pm 0,1^\beta$
Lenteja	100%	$1,18 \pm 0,02^a$	$0,72 \pm 0,02^D$	$4,55 \pm 0,05^\alpha$
	25%	$1,47 \pm 0,08^c$	$0,59 \pm 0,06^b^C$	$6,2 \pm 0,4^{\beta\chi}$
	50%	$1,4338 \pm 0,0006^c$	$0,5476 \pm 0,0004^B$	$5,8 \pm 0,1^\beta$
	75%	$1,36 \pm 0,01^b$	$0,616 \pm 0,007^C$	$4,8 \pm 0,2^\alpha$
	100%	$1,40 \pm 0,05^{bc}$	$0,55 \pm 0,09^B$	$6,6 \pm 0,3^\chi$

Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia del 95%.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO HORNEADO

3.3.1. Humedad, actividad del agua (a_w) y altura

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de humedad de las masas; así como la humedad, la actividad de agua y la altura de los productos horneados, en función del grado de sustitución de la harina de trigo por harina de chía, garrofón o lenteja.

TABLA 4. Humedad de la masa y producto horneado (magdalena) y actividad del agua y altura de las magdalenas.

Tipo de harina	Formulación n	Masa		Magdalena	
		Humedad	Humedad	a_w	Altura (mm)
	CONTROL	0,278±0,008 ^{ab}	0,228±0,014 ^B	0,807 ± 0,007 ^α	53,6 ± 1,8 ^d
Chía	25%	0,269±0,003 ^a	0,24±0,02 ^B	0,8026±0,0001 ^α	56,9 ± 0,6 ^e
	50%	0,272±0,003 ^{ab}	0,145±0,013 ^A	0,810 ± 0,007 ^α	52,5 ± 1,1 ^d
	75%	0,270± 0,007 ^a	0,151±0,009 ^A	0,871±0,013 ^χ	47 ± 2 ^c
	100%	0,272±0,014 ^{ab}	0,254±0,006 ^{BC}	0,893± 0,006 ^{χδ}	41 ± 2 ^a
Garrofón	25%	0,265±0,017 ^a	0,262±0,002 ^{BC}	0,849±0,004 ^{βχ}	50 ± 2 ^{cd}
	50%	0,273±0,004 ^{ab}	0,23 ± 0,03 ^B	0,903 ± 0,006 ^δ	45,7 ± 1,2 ^{bc}
	75%	0,276±0,001 ^{ab}	0,21 ± 0,02 ^B	0,87 ± 0,02 ^χ	47,1 ± 1,2 ^c
	100%	0,293± 0,003 ^b	0,23 ± 0,01 ^B	0,8955±0,0014 ^{χδ}	45,5 ± 1 ^{bc}
Lenteja	25%	0,288±0,006 ^b	0,286±0,005 ^C	0,857±0,002 ^{βχ}	52,29 ± 1,01 ^d
	50%	0,269±0,001 ^a	0,23 ± 0,02 ^B	0,865 ± 0,006 ^{βχ}	48,6 ± 0,6 ^c
	75%	0,27 ± 0,02 ^{ab}	0,23 ± 0,04 ^B	0,868 ± 0,013 ^χ	42,8 ± 1,5 ^b
	100%	0,280±0,004 ^{ab}	0,226±0,018 ^B	0,882 ± 0,015 ^{χδ}	40 ± 2 ^a

Letras iguales indican grupos homogéneos con un nivel de significancia del 95%.

No hay diferencias significativas en los valores de humedad de las masas, lo que constata que todas las harinas utilizadas en el estudio tienen valores de humedad muy similares (Mesías et al., 2016 y Kojajdová et al., 2013) aportando prácticamente la misma cantidad de agua.

En el producto horneado, el valor de humedad en formulaciones con harina de lenteja y garrofón fue mayor que el de la muestra control con un 25% de sustitución. Sin embargo, a partir de porcentajes de reemplazo superiores no se apreciaron diferencias significativas con la muestra de referencia. En el producto horneado con chía, se alcanzó un valor de humedad cercano al de la muestra control cuando la formulación contenía un 25% ó 100% de chía y muy inferior para las magdalenas con un 50 y 75% de chía. Las posibles diferencias serán debidas al efecto que tienen las harinas estudiadas sobre la capacidad de retención de agua de las mismas.

Por otra parte, los valores de actividad de agua (a_w) para el 25 y 50% de chía fueron similares al de la muestra control. Para porcentajes superiores de sustitución, se registró un mayor contenido de agua libre. En las magdalenas elaboradas con harinas de lenteja y garrofón se alcanzaron en todas las

formulaciones mayores valores de a_w que en la muestra control. Este hecho se debe a la mayor capacidad de retención de agua que presentan las harinas de leguminosas por su contenido proteico y fibra (Kojajdová et al., 2013), estando esta agua no ligada a la estructura.

Para todas las formulaciones elaboradas con las distintas harinas de leguminosas (garrofón y lenteja) y chíá los valores de altura fueron acordes con el estudio de cinética anteriormente descrito, a pesar de las diferentes condiciones de ensayo. Así, la altura alcanzada por las magdalenas control siempre fue mayor que en el resto de los casos. Solo para 25% de sustitución de las tres harinas, los valores fueron similares al de la magdalena control. De acuerdo con Serna (2005) las harinas de leguminosas son deficientes en metionina y gliadinas. Por una parte, las gliadinas aportan las características elásticas en la formación del gluten, mientras que la metionina (aminoácido que contiene azufre) contribuye a la formación de enlaces disulfuro. La deficiente presencia de estos dos aminoácidos pudo causar indirectamente que la capacidad de retención de gas de la mezcla de harinas fuera menor que en el control y que la formación de la estructura de gluten fuera inadecuada. Consecuentemente, el uso de estas harinas en la formulación provocó un descenso en la altura de las magdalenas.

Por último, cabe mencionar la modificación en las características morfológicas que sufrieron las magdalenas con altos porcentajes de sustitución (75 y 100%) de harina de trigo por harinas de lenteja y garrofón. El volumen de las magdalenas se vio disminuido al final del horneado. En otros estudios sobre incorporación de harina de lenteja en tartas (de la Hera et al., 2012) se encontró un comportamiento similar. Tras la fase de horneado el mayor contenido proteico de la harina de lenteja impide la formación de una adecuada estructura, por lo que la misma no es capaz de soportar la estructura de almidón, que es el principal componente estructural de la fórmula tras la gelatinización.

3.3.2. Propiedades ópticas

En la Figura 3 se representa la ubicación en los planos cromáticos b^*-a^* del color tanto de la parte externa como de la parte interna de las magdalenas estudiadas. También se muestran los valores de luminosidad y diferencia total de color (ΔE).

Se observó que la adición de harina de chíá y harina de lenteja a la formulación afectó significativamente ($P < 0.01$) a los parámetros de luminosidad y coordenadas a^* y b^* con respecto a la muestra control. En las magdalenas formuladas con harina de chíá y harina de lenteja los valores de b^* y de luminosidad tanto en el interior como en el exterior fueron inferiores a los registrados en la muestra control.

En ambos parámetros se registraron menores valores conforme se aumentó el grado de sustitución. Los valores de a^* para las formulaciones con harina de chíá fueron inferiores en la parte interna, siendo menores cuanto mayor grado de sustitución y no sufrieron grandes diferencias significativas en el exterior. En magdalenas elaboradas con harina de lenteja, los valores de a^* fueron superiores en la parte interna e inferiores en la parte externa. En las magdalenas formuladas con adición de harina de garrofón, los valores de a^* y b^* no se vieron afectados.

Analizando los valores de luminosidad (L^*) de las magdalenas con harina de garrofón, se observó en el interior una ligera disminución conforme se aumentaba el porcentaje de reemplazo, aunque los resultados fueron significativamente similares. Para los registrados en la parte externa se apreció también una ligera disminución conforme se aumentó el grado de sustitución, exceptuando la formulación al 50% donde se obtuvo el valor más bajo.

Con relación a la diferencia total de color (ΔE), las mayores diferencias se obtuvieron en la sustitución de las formulaciones elaboradas con harina de chíá, seguido por las de lenteja y por último las de garrofón. Con la harina de chíá se contemplaron grandes diferencias significativas desde el porcentaje más bajo de sustitución (25%) y fueron aumentando conforme se incrementó dicho reemplazo. Se registraron mayores diferencias en la parte externa que interna. En las formulaciones con harina de lenteja ocurre lo mismo (con valores más bajos que la chíá) hasta que se llegó a un porcentaje de reemplazo del 75% en el que ya no se aprecian diferencias significativas con reemplazos superiores (100%), tanto en el interior como exterior de las muestras. En las magdalenas elaboradas con harina de garrofón, los valores de la parte externa no se vieron modificados, mientras que los de la parte interna si mostraron la mayor diferencia de color en la muestra del 50%.

Se podría concluir que el color de la parte interna y externa de las magdalenas estuvo fuertemente influenciado por el color inicial de las harinas, lo cual concuerda con estudios previos en bizcochos elaborados a partir de harinas de legumbres (Gularte et al., 2012).

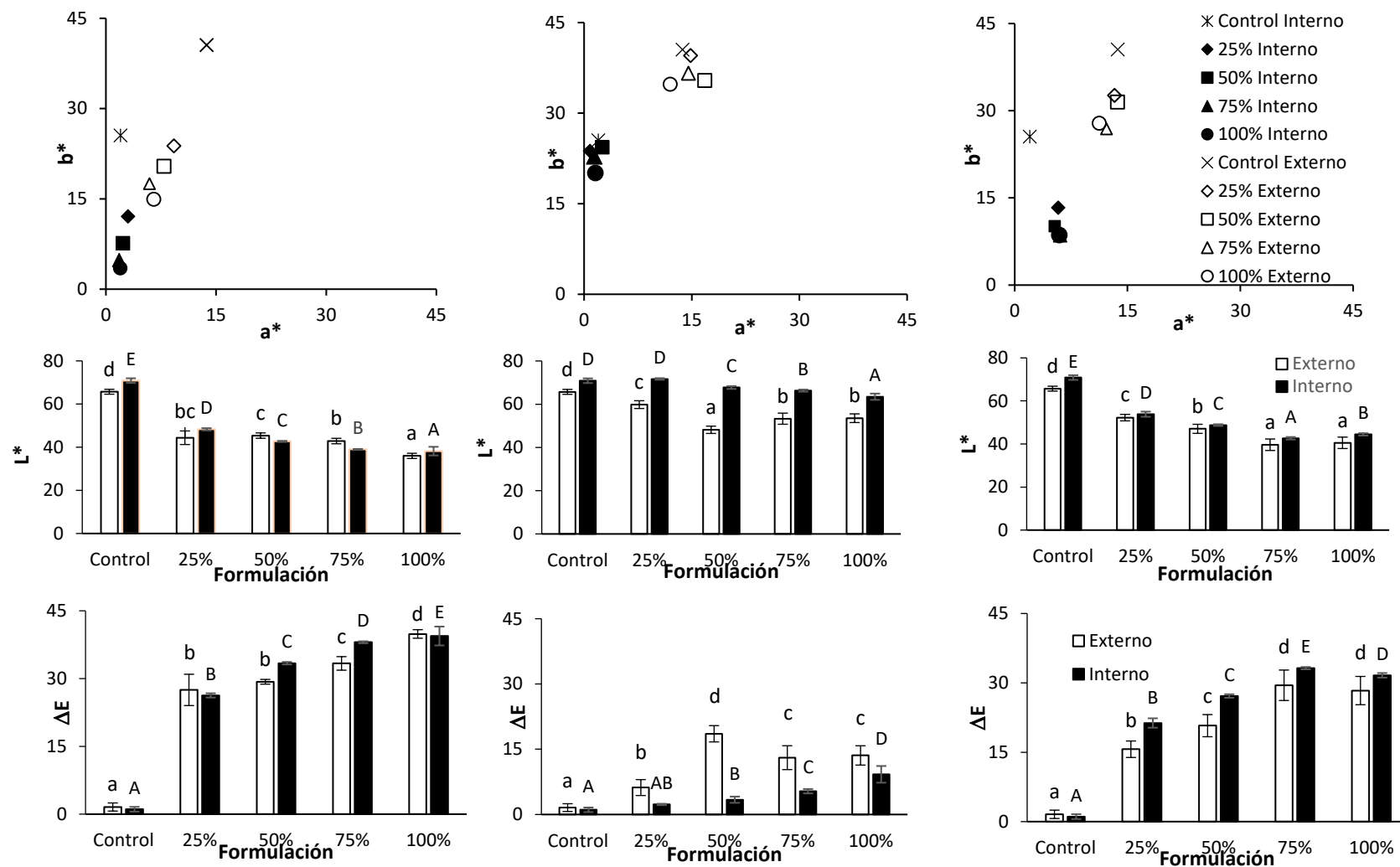


FIGURA 3. Planos cromáticos b^*-a^* , luminosidad (L^*) y diferencia total de color (ΔE) de la parte exterior e interior de las magdalenas ordenados como harina de chía, garrofón y lenteja de izquierda a derecha.

3.3.3. Textura de las magdalenas

Se midieron las propiedades mecánicas de dureza y cohesividad de todas las formulaciones estudiadas. En la Figura 4 se representa el efecto de la sustitución de las diferentes harinas en los parámetros analizados.

Como se puede observar en el diagrama de barras referido a la dureza, la harina de chía es la que más afecta, con mucha diferencia con respecto a las otras dos, a esta propiedad. Se observó que las magdalenas eran más duras cuanto mayor fue el grado de sustitución. Este fenómeno, como ya se ha comentado anteriormente, se debe al alto contenido en fibra de la harina de chía que tiene una alta capacidad para ligar agua, lo que limita el agua disponible para los otros ingredientes y que por consiguiente afecta a la textura. Esto también dio lugar a una débil estructura de la miga, tal y como se puede ver en los menores valores de cohesividad registrados al aumentar el porcentaje de reemplazo.

En formulaciones con harinas de lenteja y garrofón no se encontraron grandes diferencias significativas en la dureza, aunque sí que fue aumentando ligeramente conforme se incrementaba el grado de sustitución. Con respecto a la cohesividad, las formulaciones más afectadas fueron las del 100% de sustitución para las dos harinas, y en especial en la harina de garrofón.

Esta propiedad se vio afectada por la deficiencia en gliadinas y metionina que presentan este tipo de harinas, dando lugar a la formación de una estructura interna con baja consistencia (Serna, 2005).

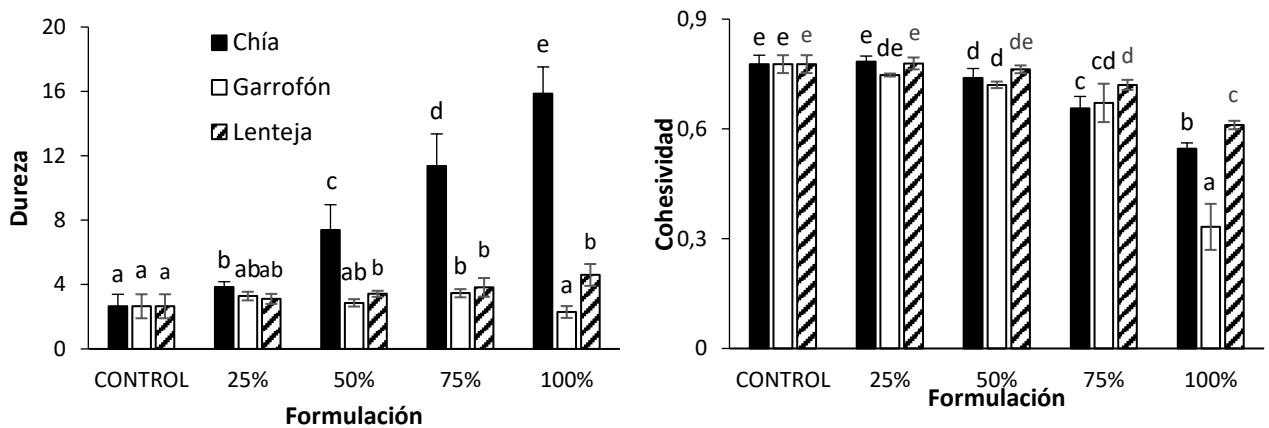


FIGURA 4. Valores de dureza y cohesividad para las diferentes formulaciones estudiadas. Las letras iguales corresponden a los grupos homogéneos por ANOVA multifactorial.

3.3.4. Análisis sensorial

En la Figura 5 se presentan los resultados del análisis sensorial con la escala hedónica de magdalenas elaboradas con diferentes porcentajes de harinas y en la Figura 6 los resultados del análisis sensorial con la escala JUST ABOUT RIGHT, con la que se veía si el panel de catadores preferiría un aumento o disminución de la intensidad del atributo. Como se puede observar en la Figura 5 la magdalena control fue la mejor evaluada,

alcanzando una aceptación muy similar la elaborada con harina de garrofón. Con la harina de lenteja también se obtuvieron muy buenos resultados. Conviene destacar que los atributos más diferenciados por parte de los catadores fueron el color externo, color interno y aroma en el caso de las magdalenas con harina de lenteja y chíá, y en el caso particular de las elaboradas con harina de chíá fueron también el sabor y retrogusto.

Analizando los atributos de aspecto, color interno y externo, el panel sensorial no pudo diferenciar entre las formulaciones Control y la elaborada con harina de garrofón. Incluso en las elaboradas con harina de garrofón, se registró una mayor aceptación en el color interno. En las formuladas con harina de lenteja y chíá sí que se apreciaron diferencias significativas en estos tres atributos, por lo que existe una correlación con las medidas instrumentales de color registradas. Como ya se ha comentado anteriormente, este color más oscuro es fuertemente influenciado por el color original de las semillas y por tanto de las harinas utilizadas. Con relación al resto de atributos (sabor, retrogusto, esponjosidad textura, tacto, aroma) en las muestras con porcentajes de sustitución de harina de lenteja y garrofón no se apreciaron grandes diferencias significativas, mientras que en las elaboradas con harina de chíá sí se apreció un efecto reseñable de los mismos.

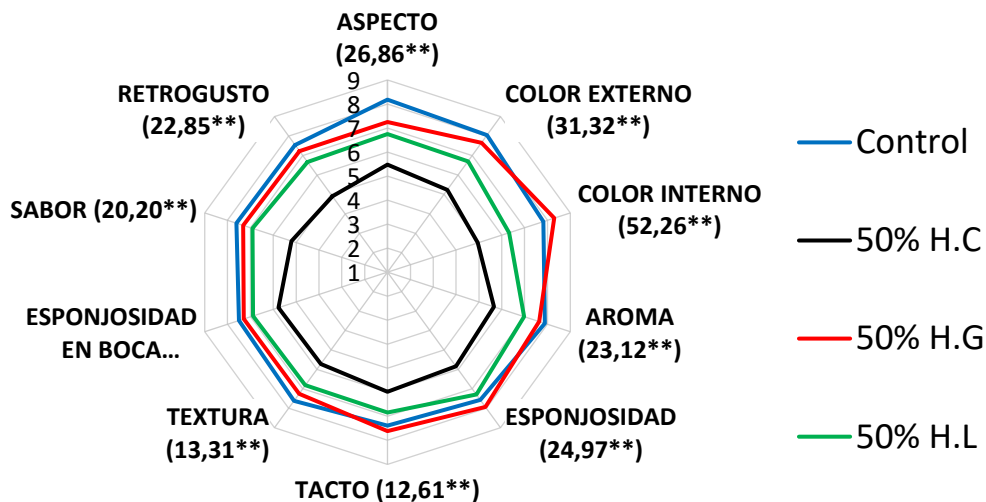


FIGURA 5. Resultados del análisis sensorial con la escala hedónica de magdalenas control y magdalenas elaboradas con un 50% de diferentes harinas (HC: harina de chíá, HG: harina de garrofón, HL: harina de lenteja). Los valores del cociente F-ratio obtenidos del ANOVA para analizar el efecto significativo de las formulaciones sobre los atributos se presentan entre paréntesis. *Nivel de significancia del 95% y **Nivel de significancia del 99%.

Con los resultados obtenidos en la escala JUST ABOUT RIGHT, se apreció que el color externo presentaba una intensidad mayor del que les gustaría a los catadores en las magdalenas con harina de chíá (79,55%), seguidas de las de lenteja (54,55%) y por último las de garrofón (31,82%). En el color interno, los evaluadores (79,55%) preferirían una menor intensidad de color para las magdalenas de chíá, mientras que el sólo 29,2% lo preferiría para las elaboradas con harina de lentejas. Para este atributo, las formuladas con harina de garrofón tuvieron una aceptación prácticamente total por el panel de catadores (93,18%). Respecto a la dureza, los catadores encontraron más

duras de lo que les gustaría las magdalenas elaboradas con harina de chía, seguido de las de lenteja y por último la muestra control. Estas apreciaciones sensoriales se corresponden con las medidas instrumentales. La dureza de las muestras control y sobre todo de garrofón fue bien valorada por los catadores. Por último, en la categoría de probabilidad de compra, más de la mitad de los catadores sí que compraría con certeza la muestra control (75%) y las formuladas con harina de garrofón (58,3%) y lenteja (56,3%). Como se puede observar en la escala, los porcentajes en la categoría “tal vez lo compraría” también son elevados para todas las muestras.

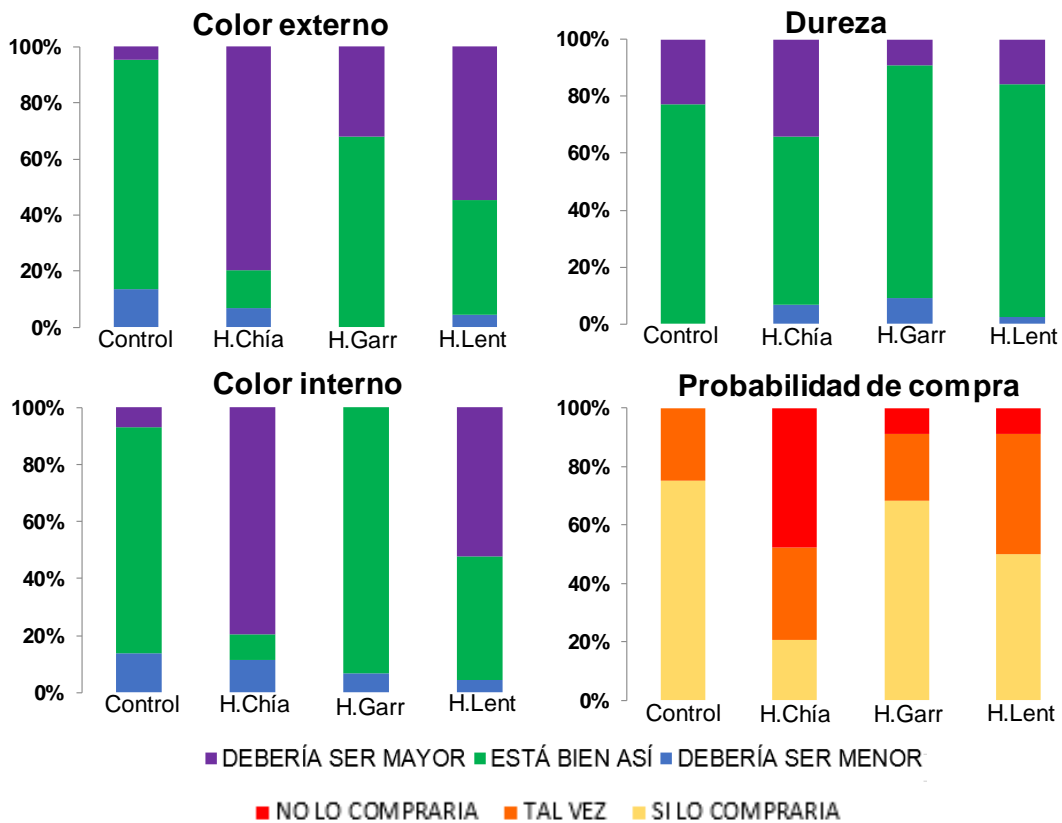


FIGURA 6. Resultados del análisis sensorial con la escala JUST ABOUT RIGHT de magdalenas elaboradas con diferentes porcentajes de harina.

4. CONCLUSIONES

Dados los resultados obtenidos, la sustitución total de la harina de trigo por harinas de leguminosas o de chía modifica prácticamente la totalidad de las propiedades analizadas tanto de las masas como del producto horneado. La sustitución parcial de harina de trigo por porcentajes de 25 o 50% es viable ya que no se registraron grandes diferencias significativas con respecto a las magdalenas elaboradas con la fórmula convencional. No obstante, serían necesarios más estudios para ajustar mejor las proporciones de los otros componentes de la fórmula y compensar así las diferencias registradas. Por último, resaltar la buena aceptación de las magdalenas formuladas con harina de garrafón, lo que puede suponer una revalorización de este producto local.

5. REFERENCIAS

Des Marchais, L. P., Foisy, M., Mercier, S., Villeneuve, S., & Mondor, M. (2011). Bread-making potential of pea protein isolate produced by a novel ultrafiltration/diafiltration process. *Procedia Food Science*, 1, 1425-1430.

de la Hera, E., Ruiz-París, E., Oliete, B., & Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT-Food Science and Technology*, 49(1), 48-54.

Gularte, M. A., de la Hera, E., Gómez, M., & Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT-Food science and technology*, 48(2), 209-214.

Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Magala, M. (2013). Effect of lentil and bean flours on rheological and baking properties of wheat dough. *Chemical Papers*, 67(4), 398-407.

Matos, M. E., Sanz, T., & Rosell, C. M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, 35, 150-158.

Mesías, M., Holgado, F., Márquez-Ruiz, G., & Morales, F. J. (2016). Risk/benefit considerations of a new formulation of wheat-based biscuit supplemented with different amounts of chia flour. *LWT-Food Science and Technology*, 73, 528-535.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Informe del consumo de alimentación en España. Madrid: abril de 2017. Dirección URL: <http://www.mapama.gob.es>

Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 196-202.

Serna Saldívar, S. R. O., & Saldívar, S. R. O. S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*.

Torres-González, M. P., Jiménez-Munguía, M. T., & Bárcenas-Pozos, M. E. (2014). Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8-1

United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. USDA Food Composition Databases. Dirección URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>