



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

SUSTITUCIÓN DE PROTEINA DE HUEVO POR PROTEINA DE CHÍA EN MAGDALENAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERIA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Juan María López Yubero

TUTORA ACADEMICA: María Dolores Ortolá Ortolá

COTUTORA: María Luisa Castello Gómez

DIRECTORA EXPERIMENTAL: Susana Rubio Arráez

Curso Académico: 2016-2017

VALENCIA, 13 de septiembre de 2017

SUSTITUCION DE PROTEINA DE HUEVO POR PROTEINA DE CHÍA EN MAGDALENAS

López, J.M., Rubio-Arráez, S., Castelló, M.L., Ortolá, M.D.

RESUMEN

Debido al significativo segmento de la población con intolerancia a las proteínas del huevo y el gran mercado que constituye el sector de la bollería industrial, el objetivo de este trabajo fue estudiar la posibilidad de sustituir total o parcialmente dicho componente por un mucílago extraído de semillas de chía. De esta forma, diferentes formulaciones de magdalenas fueron elaboradas con un reemplazo del 25, 50, 75 o 100% del huevo por mucílago con semillas o mucílago al que previamente se eliminaron las mismas. Para cada formulación se analizaron las propiedades reológicas de la masa, durante la fase de horneado se caracterizó la cinética de aumento de la masa y en el producto horneado se determinó la humedad, a_w , altura de la magdalena, propiedades ópticas y propiedades mecánicas. Los resultados ponen de manifiesto que con una sustitución del 50% del huevo por el mucílago, con o sin semillas, no existen diferencias significativas en los parámetros analizados con unas magdalenas control (100% huevo). Además, esto se corrobora con el análisis sensorial llevado a cabo también en el estudio. Sin embargo, las magdalenas formuladas con mucílago tienen una mayor actividad de agua, lo que podría desencadenar problemas de vida útil y almacenamiento.

PALABRAS CLAVE: magdalenas, huevo, chía, mucílago.

RESUM

A conseqüència del significatiu segment de la població amb intolerància a les proteïnes de l'ou i el gran mercat que constituïx el sector de la brioixeria industrial, l'objectiu d'este treball va ser estudiar la possibilitat de substituir totalment o parcialment este component per un mucílag extret de llavors de chía. D'esta manera, diferents formulacions de magdalenes van ser elaborades amb un reemplaçament del 25, 50, 75 o 100% de l'ou per mucílag amb llavors o mucílag al què prèviament es van eliminar les mateixes. Per a cada formulació es van analitzar les propietats reològiques de la massa, durant la fase d'enfornat es va caracteritzar la cinètica d'augment de la massa i en el producte enfornat es va determinar la humitat, a_w , altura de la magdalena, propietats òptiques i propietats mecàniques. Els resultats posen de manifest que amb una substitució del 50% de l'ou pel mucílag, amb o sense llavors, no hi ha diferències significatives en els paràmetres analitzats amb

unes magdalenes control (100% ou) . A més, açò es corrobora amb l'anàlisi sensorial dut a terme també en l'estudi. No obstant això, les magdalenes formulades amb mucílag tenen una major activitat d'aigua, la qual cosa podria desencadenar problemes de vida útil i emmagatzemament.

PARAULES CLAU: magdalenes, ou, chía, mucílag.

ABSTRACT

Due to the significant segment of population with intolerance to egg protein and the great market of the industrial bakery sector, the aim of this study was to check the possibility of replacing partially or totally the amount of egg by chia mucilage with or without seeds. Thus, different formulations of muffins dough were prepared with a level of egg replacement of 25, 50, 75 o 100% by chia mucilage with seeds or mucilage in which seeds were previously removed. For each formulation rheological properties of dough were analyzed. During bakery stage, increasing of dough height was characterized and in the bakery product aw, height, optical and mechanical properties were analyzed. The results show that muffins with a replacement of 50% of egg by mucilage, with or without seed, did not imply significant differences in the analyzed parameters in comparison with the control muffins (100% egg). Besides, this is supported with the sensorial analysis carried out in the study. However, muffins formulated with mucilage had the highest water activity, which could develop shelf life and storage problems.

KEYWORDS: muffins, egg, chia, mucilage.

1. INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual, la bollería industrial es un producto consumido de forma habitual por los diferentes sectores de la población, siendo el consumo en dichos productos en España de 5,99 kg por persona al año. En cuanto al volumen y la preferencia de consumo (FIGURA 1), dentro del sector de la pastelería, la bollería/pastelería es el subsector más importante, ya que conforma el 43,3% sobre el volumen total del mercado, seguido de las galletas con un 38,7% y el resto de productos en porcentajes minoritarios (MAPAMA, 2016).

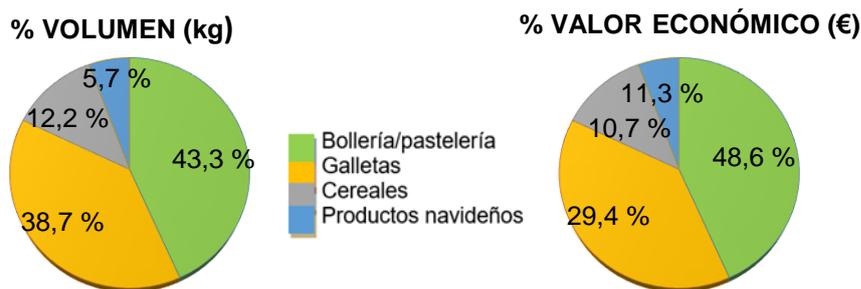


FIGURA 1. Volumen y valor económico de los segmentos de la pastelería en España (MAPAMA, 2016).

La mayor parte de estos productos contienen huevos o productos derivados de éstos, lo que hace que un sector de la población, aproximadamente un 2,5%, al ser alérgicos en mayor o menor medida a las proteínas del huevo, como la ovoalbúmina, la ovotransferrina o la ovomucina entre otras, no puedan consumirlos sin poner en peligro su salud. El único tratamiento actual de la alergia al huevo es evitar su ingestión y los alimentos que lo contienen mediante una dieta de exclusión estricta.

En el sector de la bollería industrial, el huevo es un ingrediente fundamental debido a que su contenido en proteínas y ácidos grasos contribuyen a la formación de la estructura de los alveolos de la masa, permite que se liguén los ingredientes sólidos como la grasa con los líquidos y suaviza la masa y la miga y dan sabor y color. Concretamente la yema de huevo (lecitina) proporciona sabor y ayuda a retener líquido. La composición del huevo es la siguiente: 10,6% de ácidos grasos y un 12,6% de proteínas. Las semillas de chía o *Salvia hispanica* L tienen un contenido en ácidos grasos de un 25% al 35%, son ricas en ácidos grasos poliinsaturados Ω -3, tienen un contenido en proteínas del 17% al 24%, y un contenido en fibra de entre 18% al 22%, lo que las convierte en una posible opción para sustituir el huevo en un producto de bollería, ya que además de su composición, no produce ningún tipo de alergia, solventando así el problema de las alergias en productos de bollería (Borneo *et al.*, 2010).

En este trabajo se evaluó la posibilidad de sustituir total o parcialmente el huevo de gallina por mucílago obtenido por hidratación de semillas de chía, analizando las características reológicas de las masas y las características fisicoquímicas de los productos horneados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Elaboración de las magdalenas, extracción del mucílago de chía y formulaciones

La formulación de las magdalenas se llevó a cabo utilizando 21,7% (p/p) de huevos/mucílago de semillas de chía (21,7%), azúcar (21,7%), harina de trigo (21,7%), aceite de girasol (21,7%), leche entera (10,85%) y gasificante (bicarbonato sódico, ácido málico, ácido tartárico) (2.35%). Todos los ingredientes fueron adquiridos en un comercio local. Primero, se mezclaron las distintas proporciones de huevo/mucílago de semillas de chía, el azúcar y el bicarbonato sódico durante 20 minutos a máxima velocidad en una batidora eléctrica (Kenwood, modelo KM240 serie, Reino Unido). A continuación, se adicionó el aceite, la harina, la leche y los ácidos tartárico y málico y se mezclaron durante 10 minutos a mínima velocidad. Tras el mezclado y batido, se rellenaron los moldes de papel (60x35 mm) con 65 g de masa. Por último, las magdalenas se hornearon 25 minutos a 145 °C y una velocidad media de aire (horno Rational AGD-86899 Landsberg a. Lech, Germany).

Para obtener el mucílago se hidrataron semillas de chía con agua mineral a 80°C en una proporción 1/10 (p/p), durante 120 minutos. En algunas formulaciones se utilizó este mucílago con semillas directamente como sustitutivo del huevo. Para otras formulaciones, del mucílago se separaron las semillas por centrifugación (centrífuga Eppendorf, Modelo 5804 R) a 11000 rpm, 40°C durante 20 min.

En la TABLA 1 se presentan las nueve formulaciones de magdalenas que se estudiaron en este trabajo sustituyendo parte o todo el contenido de huevo por mucílago de chía con o sin semillas.

TABLA 1. Nomenclatura de las formulaciones estudiadas según el porcentaje de huevo y mucílago, con semillas (MC) y sin semillas (MS).

Formulación	% Huevo	% Gel de semillas de chía
Control	100	0
25% MC	75	25
50% MC	50	50
75% MC	25	75
100% MC	0	100
25% MS	75	25
50% MS	50	50
75% MS	25	75
100% MS	0	100

2.2. Determinaciones analíticas

2.2.1. PARAMETROS REOLOGICOS DE LA MASA

Se estudiaron las propiedades reológicas de todas las masas de magdalenas mediante un reómetro (RheoStress 1, Haake). Se utilizó un sistema de medida placa-placa con una ranura entre las placas de 1 mm para las masas control y MS, y de 2 mm para las masas MC. Se realizaron dos ensayos: el estacionario y el oscilatorio de las masas. Se usó el modelo de Herschel-Bulkley (Ecuación 1), ya que este modelo puede describir el comportamiento de fluidos Newtonianos y no Newtonianos independientes del tiempo.

$$\tau = \tau_0 + \kappa * \gamma^n \quad (1)$$

Donde:

τ (Pa) = Tensión de cizallamiento;

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

κ (Pa·sⁿ) = Índice de consistencia;

γ (s⁻¹) = Velocidad de cizallamiento;

n = Índice de fluidez.

Para el ensayo oscilatorio se consideraron los términos del módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdidas (G'') en la región viscoelástica lineal, siguiendo los modelos establecidos por la Ecuación 2 y Ecuación 3, respectivamente.

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

Donde:

a (Pa) = 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) = Módulo de pérdida a baja frecuencia;

ω (rad·s⁻¹) = Velocidad angular;

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

2.2.2. CINÉTICA DE ALTURA DURANTE EL HORNEADO

Con el objetivo de evaluar la evolución de la altura de la magdalena durante el horneado, se registró dicho fenómeno usando recipientes resistentes al calor con una escala graduada en cm. Para ello, se depositó una cantidad de masa y se registró la evolución de la altura cada 2 minutos durante el horneado a 145°C.

2.2.3. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO HORNEADO

2.2.3.1. HUMEDAD DE LA MASA Y DEL PRODUCTO HORNEADO

El análisis de contenido de agua, tanto en la masa como en las magdalenas, se llevó a cabo mediante el método gravimétrico AOAC 2000 por duplicado.

2.2.3.2. ACTIVIDAD DEL AGUA (a_w)

La actividad del agua (a_w) se determinó mediante un higrómetro de punto de rocío AquaLab (Decagon Devices, Inc., model 4TE, Pullman, Washington, USA) a 25 °C. Se realizaron dos repeticiones del interior de las magdalenas de cada formulación.

2.2.3.3. ALTURA FINAL DEL PRODUCTO ACABADO

A todas las magdalenas de cada lote de horneado se les midió la altura (mm), utilizando un pie de rey.

2.2.3.4. PROPIEDADES OPTICAS

Para llevar a cabo las medidas de color de la corteza y de la parte interna de las magdalenas se usó un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM - 3600d, Tokio, Japón). Los resultados fueron expresados en base al 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^* (valores positivos, color rojo y valores negativos, color verde) y la coordenada b^* (valores positivos, color amarillo y valores negativos, color azul). El color de la corteza de la magdalena se midió directamente de la parte superior de todas las magdalenas de cada lote de horneado, mientras que el color de la parte interna se realizó por quintuplicado sobre los mismos cilindros descritos en el análisis de textura, antes de llevar a cabo dicho análisis.

2.2.3.5. ANÁLISIS DE TEXTURA

Para el análisis de la textura se llevó a cabo un corte horizontal de la parte superior de la magdalena para retirar la corteza y obtener una superficie uniforme y con un sacabocados se obtuvieron cilindros de 40 mm de altura y 40 mm de diámetro. Estos cilindros se analizaron en una prensa universal (Analizador de textura TA.XT.plus, Microsystems estable, Godalming, Reino Unido) realizando un estudio de doble compresión TPA (Texture Profile Analysis). Para este ensayo se usó una sonda cilíndrica con 40 mm de diámetro en su base circular. Las condiciones del ensayo fueron las siguientes: deformación hasta el 50% (penetración de su altura original) a una velocidad de 1 mm/s y un intervalo de 30 segundos entre compresiones. Se realizaron cinco repeticiones por cada formulación.

2.2.3.6. ANÁLISIS SENSORIAL

El grado de aceptación de dos de las formulaciones de sustitución de huevo por geles de semillas de chía estudiadas en este trabajo (50% MC y 50% MS), comparándolas con la formulación Control, se llevó a cabo mediante un panel de 48 catadores de entre 18 y 65 años. Este estudio se realizó en un laboratorio sensorial con cabinas individuales (ISO 8589:2007) del Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD). Las muestras que se presentaron a los catadores fueron preparadas simultáneamente y se codificaron con números de tres dígitos aleatorios. En dicha cata se evaluó el aspecto, el color (exterior e interior), el aroma, la esponjosidad, el tacto, la textura, la esponjosidad en boca, el sabor y el retrogusto de cada formulación en una escala hedónica de nueve puntos (ISO 4121:2003 y UNE-87025:1996) considerando distintos niveles desde "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho". También se evaluaron estos parámetros según el test Just About Right (JAR) para conocer si preferirían mayor o menor intensidad de los atributos analizados.

2.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados de todas las pruebas realizadas se trató con el programa Statgraphics Centurión versión XVI.I (2013). Se realizó el Análisis de la Varianza para evaluar el efecto de la formulación sobre los diferentes parámetros analizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización reológica de las masas

En la TABLA 2 se presentan los parámetros del modelo estático de las masas preparadas con mucílago según las formulaciones estudiadas. Como puede observarse, en las formulaciones MC se constata que aumentó considerablemente el índice de consistencia (k) conforme aumentó la concentración de mucílago de chía, a excepción de la formulación 25% MC. Por otro lado, el índice de comportamiento al flujo (n) disminuyó, lo que indica que, a mayor concentración de mucílago de chía, la masa se comportó más como un fluido pseudoplástico. En consecuencia, la viscosidad aparente fue disminuyendo gradualmente según aumentaba el grado de sustitución. Estos cambios pueden atribuirse al aumento del contenido en agua y a la disminución de proteína al sustituir el huevo por el mucílago de chía.

En el caso de la sustitución de huevo por mucílago de chía sin semillas (MS), se observa que el índice de consistencia (k) disminuyó al aumentar el grado de sustitución, mientras que el índice de comportamiento al flujo fue muy similar, manteniendo las masas el mismo comportamiento pseudoplástico. Por ello, la viscosidad también disminuyó significativamente con el grado de reemplazo del huevo por mucílago de chía, debido al aumento

del contenido en agua y la disminución en proteína al sustituir el huevo por el mucílago de chía.

Por otra parte, en la TABLA 3 se muestran los valores del modelo oscilatorio para las masas de magdalenas estudiadas. En el caso de las formulaciones MC, se observó que, a partir de una sustitución del 50%, el comportamiento de la masa pasa de tener un comportamiento viscoso (tangente $G''/G' > 1$) a tener un comportamiento elástico (tangente $G''/G' < 1$). Este fenómeno puede explicarse debido a que la cantidad de agua en la masa va en aumento, provocando que la masa sea más fluida. Respecto a las formulaciones MS, se observaron los mismos cambios, siendo el cambio solamente de viscoso a elástico en la sustitución completa, destacando la formulación 50% MS, que tuvo un comportamiento intermedio.

Todos estos resultados concuerdan con los obtenidos por Zettel y Hitzmann, (2016) y por Moreira *et al.*, (2013) que estudiaron la influencia de la adición de semillas chía en bollería, registrando un aumento de la capacidad de retención de agua por las semillas. Además, Mastromatteo *et al.*, (2013) observaron que al aumentar la cantidad de agua de masas de harina de trigo también se registraba una mayor respuesta elástica de las masas. El agua desempeña un papel fundamental en la masa, ya que es necesaria para formar el gluten y darle consistencia. Concretamente, la consistencia depende de la cantidad de agua utilizada en su fabricación. El agua que se adiciona a la masa tiene diferentes funciones como disolver moléculas solubles, activar enzimas, formar nuevos enlaces entre las macromoléculas de la harina, modificar las propiedades reológicas de la masa y estabilizar los materiales tensoactivos en la interfaz gas-líquido para mantener la integridad de las burbujas de gas y para promover su retención. La gran cantidad de agua añadida a la harina tiene que ser absorbida por los polímeros de la misma, siendo mayoritariamente absorbida por los grupos hidrófilos de las proteínas. En el caso de que la cantidad de agua sea insuficiente, el gluten no se hidrata completamente y la elasticidad de la masa no se desarrolla del todo. En el caso contrario, un nivel excesivo de agua libre en la masa aumenta el comportamiento viscoso de la masa, con la consecuente disminución de la resistencia a la extensión (Spies, 1997).

3.2. Cinética de horneado

La FIGURA 2, muestra la variación de altura relativa de las formulaciones estudiadas durante el horneado. Como puede observarse la evolución de la altura durante el horneado sigue un comportamiento sigmoide que fue ajustado a una adaptación del modelo de Gompertz (Ecuación 4). Así, en TABLA 4, se muestran los valores de los parámetros obtenidos.

$$\Delta A = \frac{\Delta A_{\text{máx}}}{(1 + e^{-k(t-t_c)})} \quad (4)$$

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

TABLA 2. Valores del índice de consistencia (k), índice de comportamiento al flujo (n) y viscosidad aparente (η) del modelo de Herschel-Bulkley para las formulaciones de masa con mucílago con semilla (MC) y sin semilla (MS).

Sustitución de huevo por chíá MC				Sustitución de huevo por chíá MS			
Modelo de Herschel-Bulkley				Modelo de Herschel-Bulkley			
	k	n	η (Pa.s) ($\dot{\gamma}=50 \text{ s}^{-1}$)		k	n	η (Pa.s) ($\dot{\gamma}=50 \text{ s}^{-1}$)
Control	14,98 ± 0,11 ^b	0,627 ± 0,003 ^d	4,2 ± 0,5 ^b	Control	14,98 ± 0,11 ^c	0,627 ± 0,003 ^b	4,2 ± 0,5 ^c
25%	10,8 ± 0,4 ^a	0,639 ± 0,003 ^e	2,6 ± 0,1 ^a	25%	12 ± 1 ^b	0,625 ± 0,006 ^b	2,9 ± 0,2 ^b
50%	18,9 ± 0,8 ^c	0,5836 ± 0,0011 ^c	3,71 ± 0,15 ^b	50%	12,5 ± 0,7 ^b	0,609 ± 0,002 ^a	2,7 ± 0,2 ^b
75%	19,3 ± 0,8 ^c	0,574 ± 0,008 ^b	3,67 ± 0,05 ^b	75%	8,2 ± 0,3 ^a	0,648 ± 0,003 ^c	2,03 ± 0,07 ^a
100%	23,3 ± 0,4 ^d	0,545 ± 0,002 ^a	3,93 ± 0,05 ^b	100%	7,9 ± 0,4 ^a	0,6442 ± 0,0013 ^c	1,9 ± 0,1 ^a

Letras iguales en la misma columna indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%).

TABLA 3. Valores de los factores del modelo de Power Law para las formulaciones de masa MC y MS.

Modelo Power Law MC					Modelo Power Law MS				
	G'		G''			G'		G''	
	a	b	c	d		a	b	c	d
Control	49 ± 9 ^a	0,57 ± 0,07 ^b	52 ± 8 ^{ab}	0,56 ± 0,09 ^{bc}	Control	49 ± 9 ^b	0,57 ± 0,07 ^b	52 ± 8 ^b	0,56 ± 0,09 ^a
25%	36 ± 2 ^a	0,586 ± 0,002 ^b	40 ± 2 ^a	0,565 ± 0,014 ^c	25%	50 ± 6 ^b	0,54 ± 0,03 ^b	49 ± 2 ^b	0,533 ± 0,009 ^a
50%	128 ± 11 ^c	0,39 ± 0,03 ^a	87 ± 9 ^c	0,41 ± 0,05 ^a	50%	70 ± 14 ^c	0,43 ± 0,04 ^a	53 ± 5 ^b	0,48 ± 0,03 ^a
75%	89 ± 17 ^b	0,43 ± 0,04 ^a	64 ± 6 ^b	0,47 ± 0,02 ^{ab}	75%	29 ± 3 ^a	0,52 ± 0,02 ^b	29 ± 2 ^a	0,53 ± 0,01 ^a
100%	127 ± 37 ^c	0,42 ± 0,07 ^a	84 ± 13 ^c	0,48 ± 0,05 ^{abc}	100%	16 ± 2 ^a	0,7 ± 0,1 ^c	23 ± 2 ^a	0,7 ± 0,1 ^b
	Tangente (G''/G')	Comportamiento				Tangente (G''/G')	Comportamiento		
Control	1,9 ± 0,3 ^c	Viscoso			Control	1,9 ± 0,3 ^d	Viscoso		
25% MC	1,83 ± 0,12 ^c	Viscoso			25% MS	1,5 ± 0,2 ^c	Viscoso		
50% MC	0,84 ± 0,05 ^{ab}	Elástico			50% MS	1,2 ± 0,2 ^b	Viscoso≈ Elástico		
75% MC	0,88 ± 0,01 ^b	Elástico			75% MS	1,5 ± 0,1 ^c	Viscoso		
100% MC	0,79 ± 0,04 ^a	Elástico			100% MS	0,89 ± 0,13 ^a	Elástico		

Letras iguales en la misma columna indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%).

En todas las formulaciones estudiadas, el parámetro de variación de altura máxima alcanzada por la masa disminuyó significativamente con el aumento de la sustitución de mucílago, siendo esta disminución más acusada en el caso de las formulaciones MS. Según Švec y Hrušková (2015), la adición de chía a la harina de trigo causa la dilución de las proteínas disminuyendo el volumen del pan obtenido. No obstante, a bajas concentraciones de mucílago la variación de altura relativa máxima del producto fue mayor en ambos casos, hecho que no había podido ser constatado en el estudio de cinética. Esto puede atribuirse a la metodología utilizada. La barrera física en el crecimiento de la masa fue mucho más robusta en el estudio de cinética ya que se utilizó un vaso de vidrio de borosilicato frente al molde de papel.

En relación a la velocidad de crecimiento relativa de la masa en el tramo exponencial (k), se observó una disminución con la sustitución de mucílago a partir del 75% en las formulaciones MC. Sin embargo, en las formulaciones MS, el comportamiento es el contrario, aunque el aumento en la pendiente no fue muy acusado.

Respecto a los resultados relativos al tiempo en el punto de inflexión (t_c), aunque estadísticamente se observaron diferencias significativas en las distintas formulaciones, puede considerarse que en el caso de las formulaciones MC este cambio se produce entre los 7 y 8 minutos, con pequeñas diferencias entre ellas, mientras que en las formulaciones MS este tiempo oscila entre los 5 y 6 minutos.

Las diferencias en los tres parámetros en los tipos de formulaciones podrían estar relacionadas, por una parte, con la mayor concentración de agua en las formulaciones MS, lo que se traduce en un mayor coeficiente de transmisión de calor en el sistema y por otra, con la presencia de semillas en la masa que implica mayor concentración en proteínas, lo que ayuda a crecer y estabilizar la estructura del producto final.

TABLA 4. Parámetros del modelo de Gompertz (ΔA_{max} : variación de altura máxima, k : velocidad de crecimiento y t_c : el tiempo del punto de inflexión de la curva) de la etapa de horneado para las diferentes formulaciones estudiadas.

	Formulación	ΔA_{max}	k (min^{-1})	t_c (min)
MC	Control	$2,2 \pm 0,0^{dD}$	$0,5 \pm 0,0^{bA}$	$7,5 \pm 0,0^{cC}$
	25%	$1,84 \pm 0,07^c$	$0,5 \pm 0,02^b$	$7,603 \pm 0,004^d$
	50%	$1,8 \pm 0,0^c$	$0,5 \pm 0,0^b$	7 ± 0^a
	75%	$1,5 \pm 0,0^b$	$0,3 \pm 0,0^a$	8 ± 0^e
	100%	$1,4 \pm 0,0^a$	$0,3 \pm 0,0^a$	$7,3 \pm 0,0^b$
MS	25%	$1,37 \pm 0,05^B$	$0,628 \pm 0,013^B$	$5,8 \pm 0,3^D$
	50%	$1,702 \pm 0,011^C$	$0,53 \pm 0,03^A$	$6,6 \pm 0,5^A$
	75%	$1,21 \pm 0,02^A$	$0,841 \pm 0,005^C$	$5,11 \pm 0,06^E$
	100%	$1,241 \pm 0,002^A$	$0,65 \pm 0,05^B$	$5,8 \pm 0,3^B$

Letras iguales en la misma columna indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las formulaciones MS, respectivamente

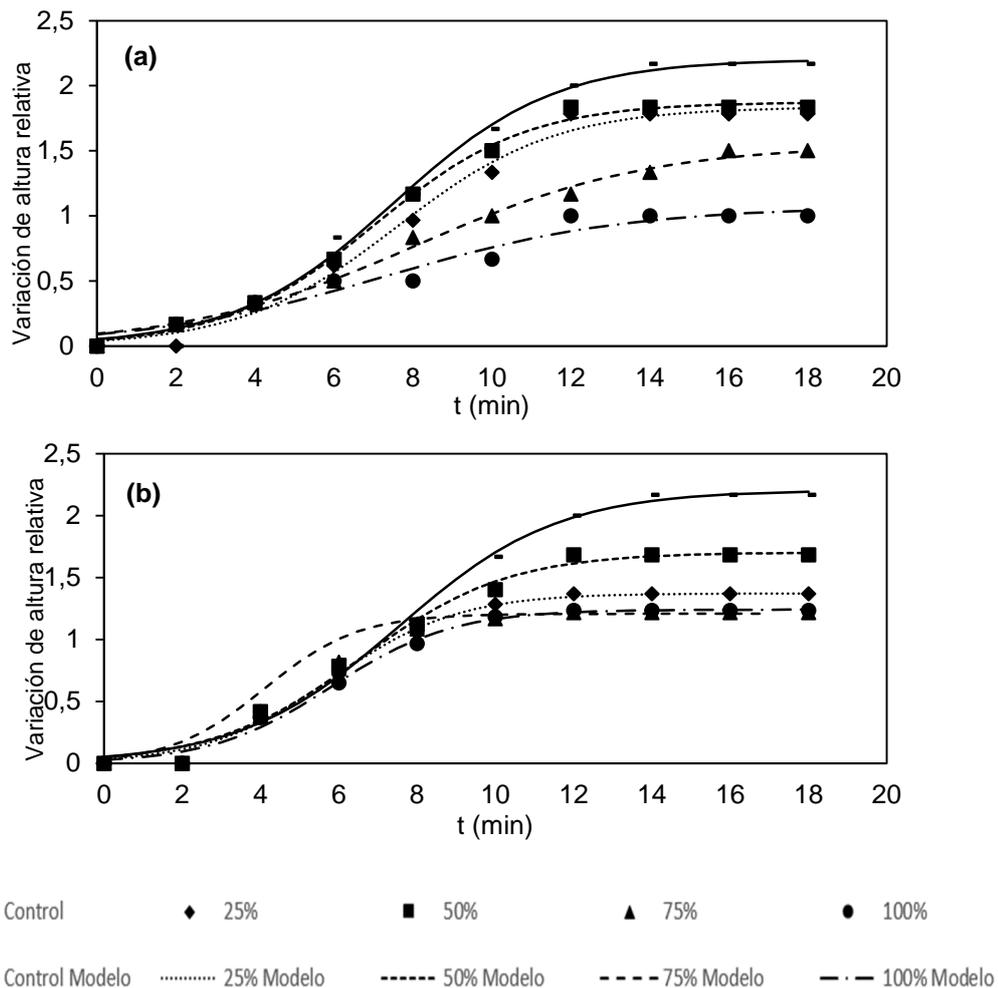


FIGURA 2. Variación de altura relativa de las formulaciones MC (a) y MS (b) durante la fase de horneado. En líneas se representan el modelo ajustados en cada caso.

3.3. Caracterización de las magdalenas

3.3.1. HUMEDAD DE LA MASA Y DEL PRODUCTO ACABADO

En la FIGURA 3 se muestran los resultados de la humedad de las formulaciones estudiadas. Al observar dicha figura, se observa que en ambos casos, la sustitución del huevo por mucílago supone un aumento en el contenido en humedad de la masa. Además, las masas formuladas con mucílago al que se ha separado la semilla tienen un mayor contenido en agua que las que contienen las semillas, por variar la concentración de fase líquida. Durante el horneado, las magdalenas control pierden aproximadamente un 5% del contenido en agua. Sin embargo, al añadir mucílago, la pérdida de vapor de agua se reduce a una media entre el 1 y el 3%. Esto podría estar relacionado por el papel de las proteínas en la formación de los poros. Durante el horneado se produce una desnaturalización de las proteínas formando estructuras más o menos tridimensionales. La configuración de las proteínas del huevo, más globulares que las de las semillas de chía, facilitarían la

formación de canales de salida del vapor de agua. Además, los hidrocoloides de las semillas de chíá, se caracterizan por su capacidad de retención de agua (Vázquez-Ovando *et al.*, 2009).

Cabe destacar que en las formulaciones 75 % y 100% tanto de MS como de MC, a pesar de observarse valores de alrededor del 3% de pérdida de humedad, esta pérdida no tuvo lugar durante el horneado, sino que al enfriarse la magdalena se producía un exudado de fase líquida en la que su mayor proporción era agua.

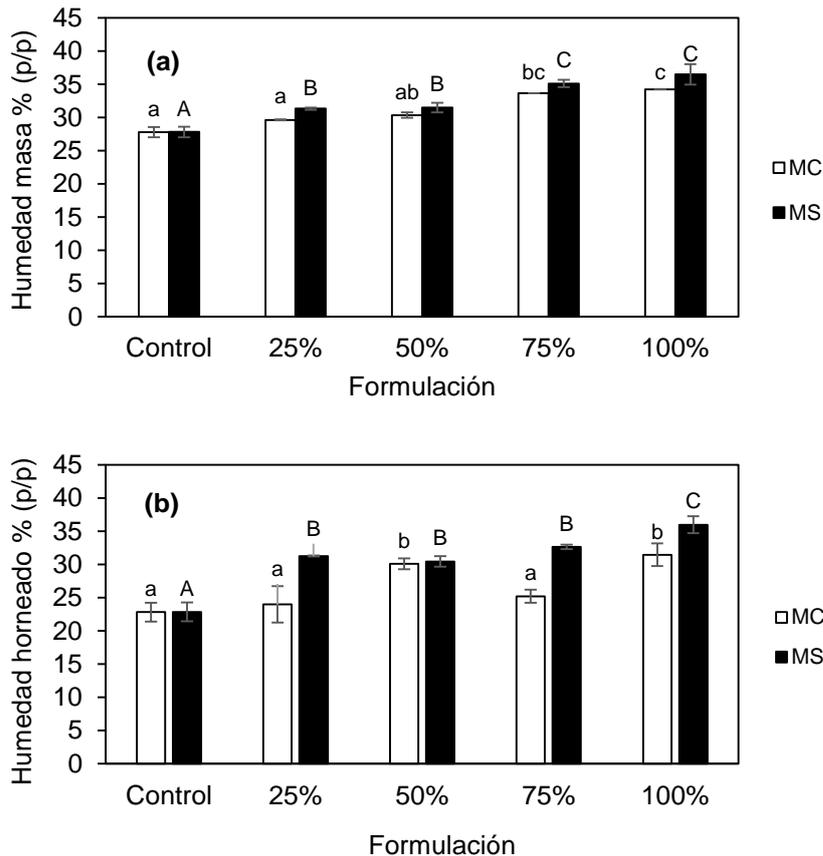


FIGURA 3. Contenido en humedad de la masa (a) y del producto final (b), en las distintas formulaciones. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las MS.

3.3.2. ACTIVIDAD DEL AGUA (a_w)

Como puede observarse en la FIGURA 4, los valores de a_w del producto terminado varían significativamente por efecto de la formulación. En ambos casos (MC y MS), el parámetro aumentó a medida que el grado de sustitución fue mayor, tomando valores desde $0,807 \pm 0,007$ en las muestras Control, valores similares a los reportados por otros autores en magdalenas convencionales (Channaiah *et al.*, 2017), a valores en torno a 0,9 para las formulaciones con mucílago.

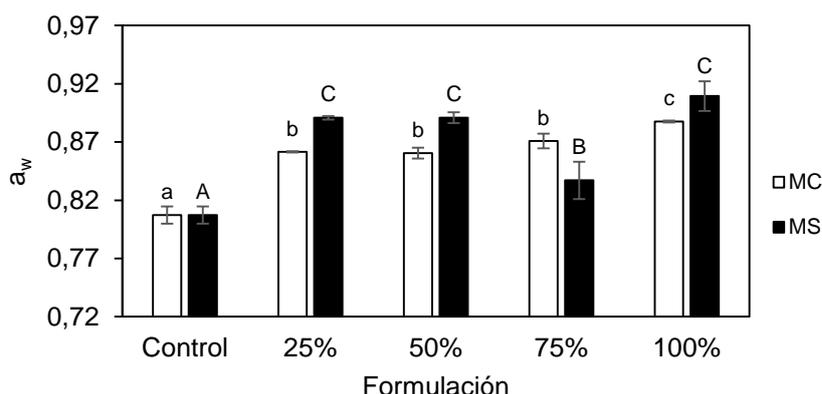


FIGURA 4. Valores de a_w del producto horneado de las diferentes formulaciones estudiadas. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las formulaciones MS.

3.2.3. ALTURA FINAL DEL PRODUCTO HORNEADO

Al examinar la FIGURA 5, las dos formulaciones 25% tuvieron valores superiores al control, posiblemente debido a una sinergia entre ingredientes. A medida que aumenta el nivel de sustitución, la altura del producto final es menor. Esto es coherente con el mayor contenido en humedad del producto, tal y como se ha comentado anteriormente. A mayores proporciones de mucílago el gas y el vapor de agua quedarían retenidos en la estructura no formándose canales o poros y por tanto resultando una estructura mucho menos expandida. No obstante, a bajas concentraciones de mucílago la altura final del producto es mayor en ambos casos, hecho que no había podido ser constatado en el estudio de cinética. Esto puede atribuirse a las diferentes condiciones experimentales comentadas anteriormente, por utilizar material de soporte de la masa distinto.

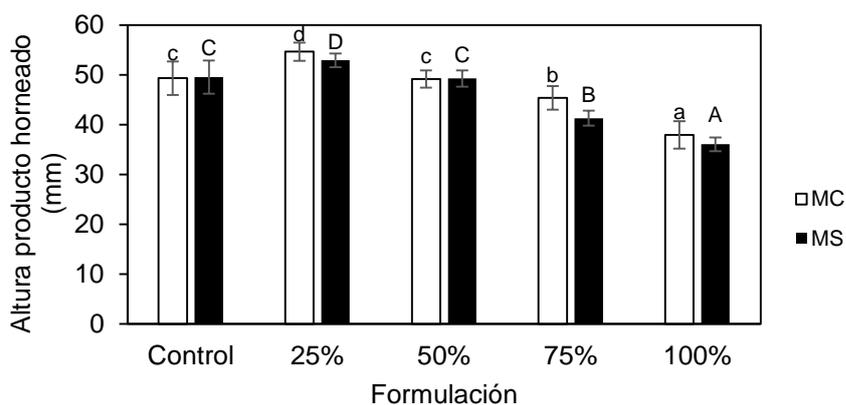


FIGURA 5. Altura del producto terminado para las formulaciones estudiadas. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las formulaciones MS.

3.2.4. PROPIEDADES ÓPTICAS

En la FIGURA 6, se presentan los valores medios de la luminosidad (L^*) del exterior (FIGURA 6a) y del interior (FIGURA 6b) del producto horneado. Tanto en las formulaciones MC, como en las formulaciones MS, la luminosidad disminuyó significativamente al aumentar el grado de sustitución, aunque estas variaciones fueron muy pequeñas. De igual forma, la luminosidad del interior del producto también disminuye al aumentar la proporción de mucílago, aunque en este caso, la disminución es más evidente. Sobre todo, en las formulaciones MC con semillas, el propio color de las mismas hace disminuir la luminosidad.

Por otro lado, la FIGURA 7, se presentan las ubicaciones en los planos cromáticos b^* - a^* del color del producto horneado, tanto de las formulaciones MC (FIGURA 7a), como de las formulaciones MS (FIGURA 7b). En todos los casos se observó una disminución significativa tanto de a^* como de b^* en todas las formulaciones estudiadas, siendo más acusada esta disminución en el color, tanto interior como exterior de las formulaciones de mucílago con semillas, debido a la presencia de las mismas.

Todos estos fenómenos se deben a que durante la fabricación de los productos de bollería se usa la cocción en horno y en este proceso se producen una gran cantidad de reacciones de Maillard, formándose así una gran cantidad de melanoidinas (González-Mateo *et al.*, 2009). Estos compuestos son los responsables del color, marrón, amarillo, naranja y rojizos de estos productos, aparte de aportar también sabor y textura (Pino y González-SanJosé, 2002). Además, hay que tener en cuenta que, durante el proceso de cocción, la humedad del producto disminuye, siendo dicha reducción mucho más rápida en la superficie del producto, produciéndose así una más rápida formación de las melanoidinas y la creación de la corteza, mientras que, en el interior, la a_w del interior disminuye a un ritmo mucho más lento, haciendo que las reacciones de Maillard se produzcan de manera más lenta (Thorvaldsson y Skjöldebrand, 1998).

Por lo tanto, debido a la creciente cantidad de humedad del producto según se va aumentando el porcentaje de sustitución, estas reacciones se forman en menor medida, dando productos con unos valores menores de color.

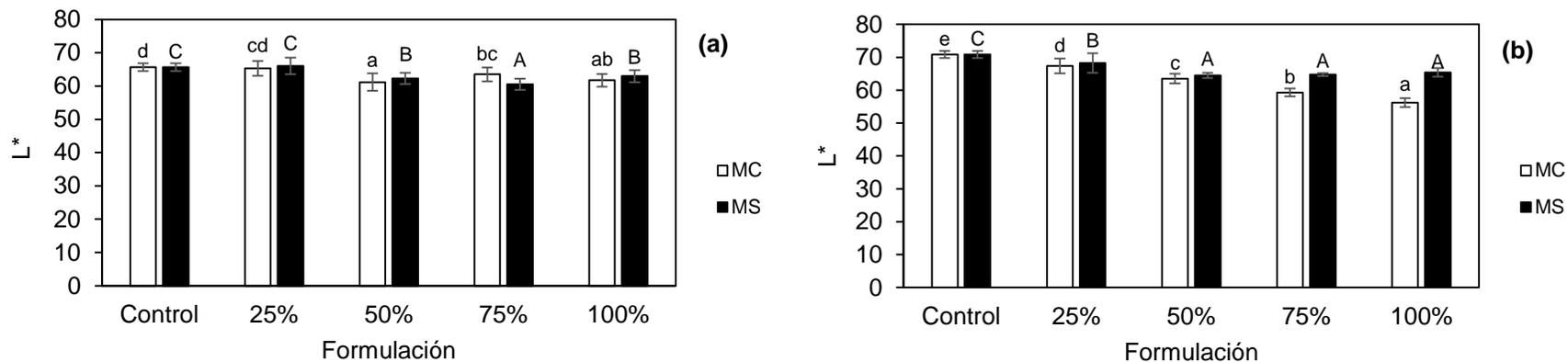


FIGURA 6. Valores de luminosidad (L^*) del exterior (a) e interior (b), del producto horneado de las diferentes formulaciones estudiadas. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las formulaciones MS.

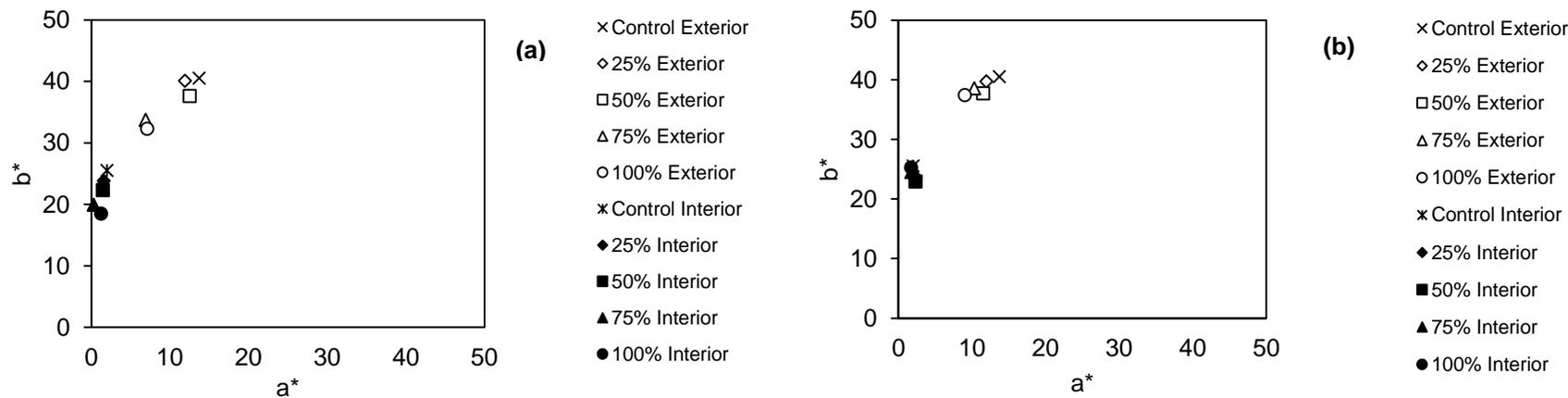


FIGURA 7. Plano cromáticos b^* - a^* del producto horneado en función de las formulaciones consideradas MC (a) y MS (b).

3.2.5. ANÁLISIS DE TEXTURA

En la FIGURA 8, se observan los valores de dureza del producto horneado de todas las formulaciones estudiadas. En ambos casos la dureza de las magdalenas apenas se vio afectada de forma significativa respecto a la muestra control, salvo las formulaciones de la sustitución total, que tuvieron una dureza mucho más elevada. Por otra parte, en la FIGURA 9, se presentan los valores de cohesividad del producto horneado de todas las formulaciones estudiada, que fue disminuyendo según aumentaba la sustitución del huevo por el mucílago de chíá, siendo dicha disminución más acentuada en el caso de las magdalenas sin semilla a partir de un nivel de reemplazo del 50%, debido a la elevada capacidad gelificante de éstas.

La estructura de la magdalena es el resultado de la gelatinización del almidón con la proteína del huevo, que se debilita si disminuye la cantidad de proteínas que la sostiene y por el aumento de humedad del producto (Wilderjans *et al.*, 2013).

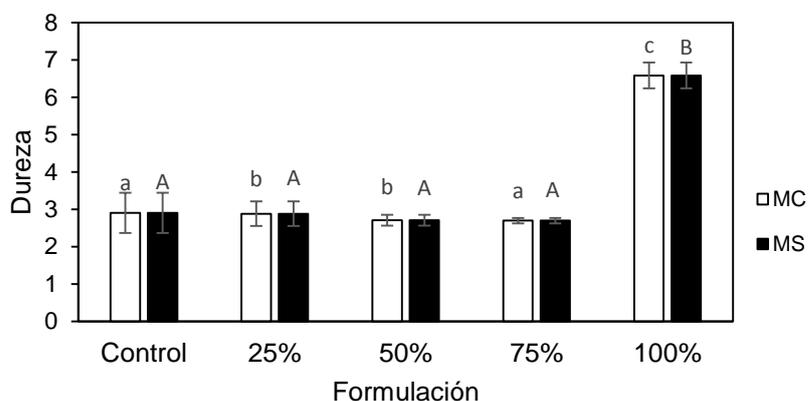


FIGURA 8. Valores de dureza del producto horneado de las diferentes formulaciones estudiadas. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las formulaciones MS.

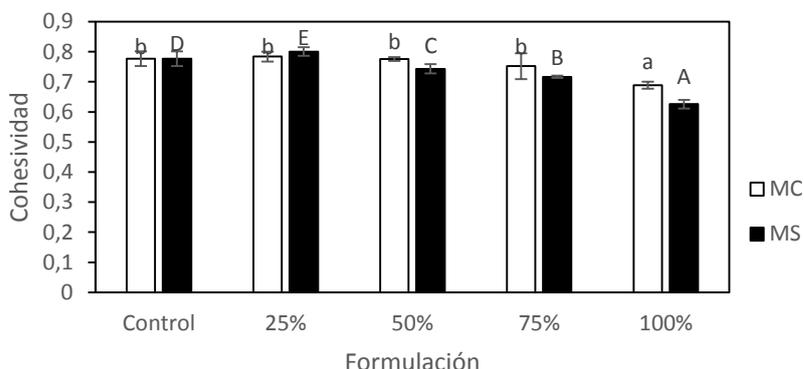


FIGURA 9. Valores de cohesividad del producto horneado de las diferentes formulaciones estudiadas. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en ese parámetro (95%). Letras minúsculas hacen referencia a las formulaciones MC y las mayúsculas a las formulaciones MS.

3.2.6. ANÁLISIS SENSORIAL

De acuerdo a los resultados anteriores, para el análisis sensorial se seleccionaron as formulaciones 50% MC y 50% MS que fueron evaluadas junto a magdalenas control. Los resultados obtenidos del estudio con escala hedónica se presentan en la FIGURA 10 y los de escala JAR en la FIGURA 11.

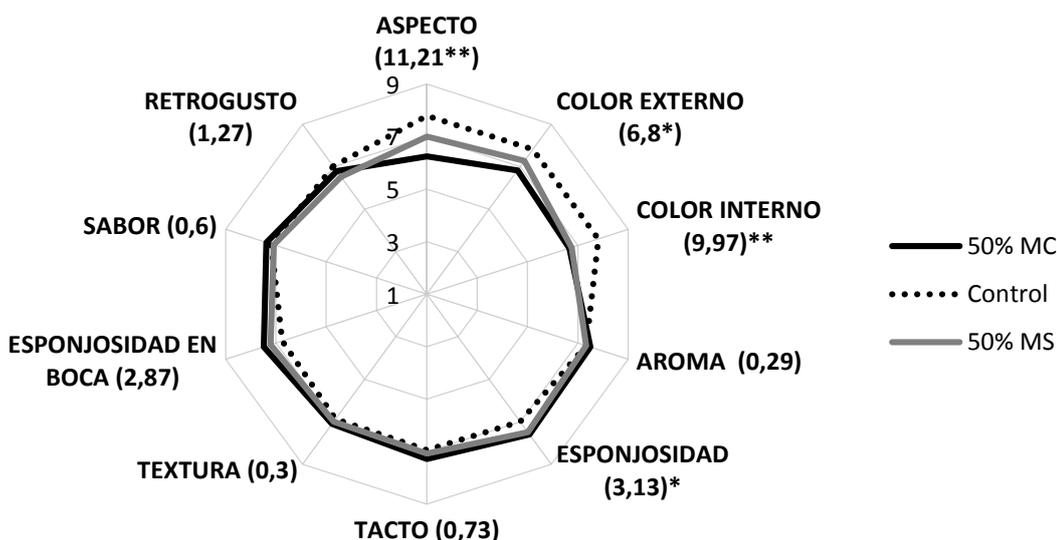


FIGURA 10. Gráfico de los parámetros seleccionados de Escala hedónica analizados en la cata llevada a cabo con las formulaciones Control, 50% MC y 50% MS. * indica diferencias significativas para un nivel de confianza del 95% y ** del 99%.

Como se puede ver en la FIGURA 10, los atributos que mostraron diferencias significativas en función de la formulación considerada fueron el aspecto, color (tanto interno como externo), esponjosidad al tacto. Las magdalenas control fueron mejor valoradas respecto al aspecto y al color, pero registraron la peor puntuación en el atributo de esponjosidad. En el resto de atributos analizados no se observaron diferencias significativas entre las magdalenas estudiadas.

Del estudio realizado para identificar si los evaluadores preferían aumentar o disminuir la intensidad del atributo analizado (Just About Right) (FIGURA 11), se constata que al 89.6 % les parece adecuada la dureza de la magdalena formulada con mucílago de chíá con semillas, mientras que en la magdalena control, un porcentaje del 43,8% de los catadores aumentarían su dureza. Por tanto, la presencia de semilla mejora la textura sensorial del producto, a pesar de que en las medidas instrumentales no se registraron diferencias significativas en términos de firmeza para este nivel de reemplazo del huevo por mucílago de chíá. Sin embargo, en coherencia con los resultados obtenidos en los análisis de las propiedades ópticas, los evaluadores detectaron la menor intensidad de color interno en las magdalenas con chíá, especialmente sin presencia de semillas (MS) y preferirían un color más intenso. Esto sería consecuencia de la falta de melanoidinas en la chíá que sí

están presentes en la yema del huevo y les confiere el color característico a las magdalenas (González-Mateo *et al.*, 2009).

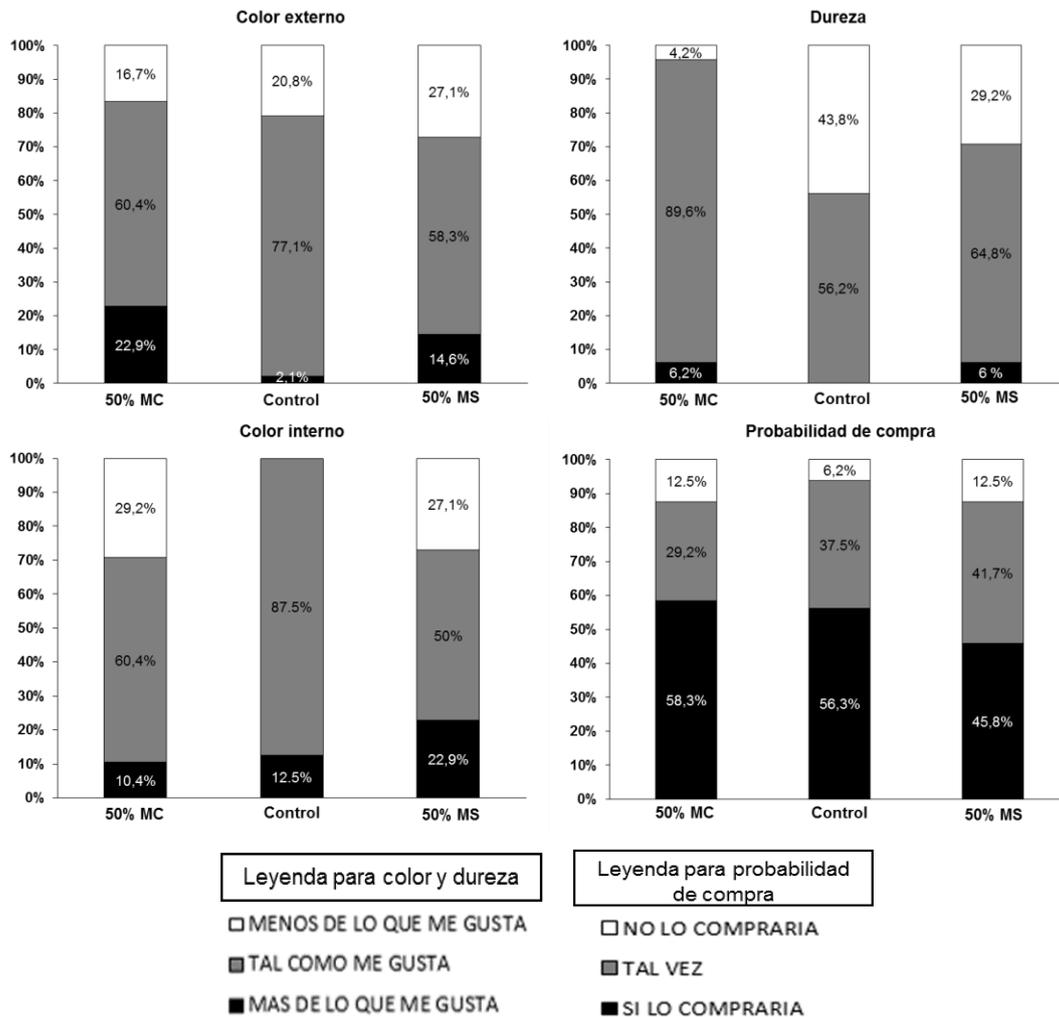


FIGURA 11. Gráficos Just about right de los parámetros analizados en la cata llevada a cabo con las formulaciones Control, 50% MC y 50% MS.

4. CONCLUSIONES

Un grado de reemplazo del 50% huevo por mucílago de chíá en las condiciones estudiadas no repercute en las propiedades mecánicas ni en la altura final de las magdalenas, aunque sí provoca un color más blanquecino de las mismas, que no supone un rechazo desde el punto de vista sensorial. Sin embargo, sería necesario establecer diferentes condiciones de almacenamiento o de vida útil por la elevada actividad de agua asociada al mucílago de chíá. Por tanto, sería recomendable realizar estudios posteriores donde se combinarán distintos tipos de proteínas junto a las del mucílago de chíá para evaluar los posibles efectos beneficiosos de sus sinergias.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Borneo, R.; Aguirre, A.; León, A. 2010. Chia (*Salvia hispanica* L) Gel Can Be Used as Egg or Oil Replacer in Cake Formulations. *American Dietetic Association*, **110**:946-949.
- Channaiah, L.; Michael, M.; Acuff, J.; Phebus, R.; Thippareddi, H.; Olewnik, M.; Milliken, G. 2017. Validation of the baking process as a kill-step for controlling Salmonella in muffins. *International Journal of Food Microbiology*, **250**:1-6.
- González-Mateo, S.; González-San José, M.L.; Muñoz, P. 2009. Presence of Maillard products in Spanish muffins and evaluation of colour and antioxidant potential. *Food and Chemical Toxicology*, **47**:2798-2805.
- MAPAMA. Informe del consumo de alimentación en España 2015. Dirección URL: www.mapama.gob.es/.../informeconsumoalimentacion2015_tcm7-422694.pdf [Consulta: 05/09/2017]
- Mastromatteo, M.; Guida, M.; Danza, A. 2013. Rheological, microstructural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by dough water content. *Food Research International*, **51**:458–466.
- Moreira, R.; Chenlo, F.; Torres, M.D. 2013. Effect of chia (*Sativa hispanica* L.) and hydrocolloids on the rheology of glutenfree doughs based on chestnut flour. *Food Science and Technology*, **50**:160–166.
- Pino, R.; González-Sanjosé, M.L. 2002. Effects of brown pigments on the texture properties of bakery products. *Melanoidins in food and health COST Action 919, Volume 4*, 120-124.
- Spies, R. 1997. Application of rheology in the bread industry. En: Faridi, H.; Faubion, J.M., (eds). *Dough rheology and baked product texture*. Springer US, Houston, 343-361.
- Švec, I.; Hrušková, M. 2015. Hydrated chia seed effect on wheat flour and bread technological quality. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 259-263.
- Thorvaldsson, K.; Skjöldebrand, C. 1998. Water diffusion in bread during baking. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, **31**:658–663.
- Vázquez-Ovando, A.; Rosado-Rubio, G.; Chel-Guerrero, L.; Betancur-Ancona, D. 2009. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology*, **42**:168-173.
- Wilderjans, E.; Luyts, A.; Brijs, K.; Delcour, J. 2013. Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30:6-15.
- Zettel, V.; Hitzmann, B. 2016. Chia (*Salvia hispanica* L.) as fat replacer in sweet pan breads. *International Journal of Food Science and Technology*, **51**:1425–1432.