



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



REFORMULACIÓN DE BIZCOCHOS PARA LA DISMINUCIÓN DE SU CONTENIDO EN GRASA MEDIANTE UN INGREDIENTE FUNCIONAL

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y
CALIDAD ALIMENTARIA

Cristina Eslava Zomeño

Directoras: Isabel Hernando Hernando
Amparo Quiles Chuliá

REFORMULACIÓN DE BIZCOCHOS PARA LA DISMINUCIÓN DE SU CONTENIDO EN GRASA MEDIANTE UN INGREDIENTE FUNCIONAL

C. Eslava-Zomeño, A. Quiles¹, I. Hernando¹.

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de la sustitución parcial de la grasa (0%, 30%, 50% y 70%) por Optisol™5300, en la formulación de bizcochos. Este ingrediente funcional natural derivado de las semillas de lino es rico en fibra y ácido graso omega-3 alfa-linoleico (ALA) y se puede usar, como sustituto natural de las gomas guar y xantana evitando los números E de las etiquetas. En las diferentes formulaciones se analizó la estructura y algunas propiedades fisicoquímicas, se realizó un análisis sensorial y se determinaron los cambios en la digestibilidad del almidón, como consecuencia de la adición de este ingrediente en los bizcochos. Los resultados mostraron que la sustitución de grasa por cantidades crecientes de Optisol™5300, dio lugar a bizcochos más duros, con menor pérdida de peso durante el horneado, sin afectar a la altura final del bizcocho. Los catadores no encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre el control y el bizcocho con una sustitución del 30%, para los atributos textura, sabor y aceptación global. Tampoco se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los valores de almidón de rápida digestibilidad al comparar el control con el resto de formulaciones. Por lo tanto, la grasa puede ser sustituida hasta el 30% con Optisol™5300, para obtener un producto nuevo similar al bizcocho con grasa, con beneficios para la salud y proporcionando un etiquetado limpio del alimento.

PALABRAS CLAVE: bizcocho, semilla de lino, sustituto de grasa, textura, análisis sensorial, digestión *in vitro*, microestructura.

RESUM

En aquest estudi es va avaluar l'efecte de la substitució parcial del greix (0%, 30%, 50% i 70%) per Optisol™5300, en la formulació de bescuits. Aquest ingredient funcional natural derivat de les llavors de lli és ric en fibra i àcid gras omega-3 alfa-linoleic (ALA) i es pot usar, com a substitut natural de les gomes guar i xantana evitant els nombres E de les etiquetes. En les diferents formulacions es va analitzar l'estructura, algunes propietats

¹ Grupo de Química y Microestructura de Alimentos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n 46022 Valencia (España)

fisicoquímiques, es va realitzar una anàlisi sensorial i es van determinar els canvis en la digestibilitat del midó, com a conseqüència de l'addició d'aquest ingredient en els bescuits. Els resultats van mostrar que la substitució de greix per quantitats creixents d'Optisol™5300, va donar lloc a bescuits més durs, amb menor pèrdua de pes durant l'enfornat, sense afectar a l'altura final del bescuit. Els tastadors no van trobar diferències significatives ($P>0,05$) entre el control i el bescuit amb una substitució del 30%, per als atributs textura, sabor i acceptació global. Tampoc es van trobar diferències significatives ($P>0,05$) en els valors de midó de ràpida digestibilitat al comparar el control amb la resta de formulacions. Per tant, el greix pot ser substituït fins al 30% amb Optisol™5300, per a obtenir un producte nou semblant al bescuit amb greix, amb beneficis per a la salut i proporcionant un etiquetatge net de l'aliment.

PARAULES CLAU: bescuit, llavor de lli, substituït de greix, textura, anàlisi sensorial, digestió *in vitro*, microestructura.

ABSTRACT

The effect of the partial substitution of fat (0%, 30%, 50% and 70%) by Optisol™5300, in the formulation of cakes was evaluated. This natural functional ingredient derived from flaxseed is rich in fibre and omega-3 alpha-linolenic acid (ALA), and can be used as a natural substitute of guar and xanthan gums avoiding the E numbers in food labelling. In the different formulations, the structure and some physicochemical properties were analyzed, a sensory analysis was performed and the changes in starch digestibility as a consequence of the addition of this ingredient in the cake were determined. The results showed that the replacement of fat by increasing amounts of Optisol™5300, gave place to harder cakes, which lost less weight during baking than control, without changing the final height of the cake. The untrained sensory panel did not find significantly differences ($P>0,05$) between control and cake with a substitution of 30% in texture, flavour and overall acceptance. No significant differences ($P>0,05$) in the values of rapidly digestible starch (RDS) when comparing the control with the other formulations were found. Therefore, the fat can be replaced up 30% with Optisol™5300 in order to obtain a new product similar to full fat cake, with health benefits and providing a clean label food product.

KEY WORDS: cake, flaxseed, fat replacer, texture, sensory analysis, digestion *in vitro*, microstructure.

INTRODUCCIÓN

Los productos de panadería son alimentos muy consumidos en todo el mundo. Entre ellos, los bizcochos son particularmente populares y están considerados por los consumidores como productos deliciosos con

determinadas y particulares características organolépticas (Matsakidou et al., 2010). Los bizcochos contienen aproximadamente un 15-25% de grasa (Matsakidou et al., 2010). La grasa influye en las características sensoriales y de textura del producto y consecuentemente en la aceptación del alimento por parte del consumidor. En los bizcochos, la grasa además de proporcionar sabor, facilita la incorporación de aire en la masa, contribuyendo al aumento de volumen, e interfiere en la continuidad del gluten, favoreciendo la formación de bizcochos más blandos (Psimouli y Oreopoulou, 2013).

En los países desarrollados, las enfermedades relacionadas con la nutrición van en aumento, ya que entre otros factores, la ingesta de energía es demasiado alta y el consumo de fibra dietética está por debajo de las recomendaciones dietéticas establecidas (Zahn et al., 2010). La grasa es el constituyente de los alimentos con mayor valor energético (Zahn et al., 2010). Un consumo excesivo de grasa está relacionado con la obesidad, los problemas cardiovasculares y con diferentes tipos de cáncer (Román et al., 2015). Por todo esto, un camino prometedor para proporcionar alimentos más saludables, por parte de la industria alimentaria, puede ser reemplazar la grasa por fibra dietética en la formulación de los alimentos (Zahn et al., 2010). Existen diferentes trabajos sobre la reducción de grasa en bizcochos y magdalenas mediante la adición de diferentes carbohidratos y fibras como inulina (Zahn et al., 2010; Rodríguez-García et al., 2012, 2014b; Psimouli y Oreopoulou, 2013), β -glucano (Kalinga y Mishra 2009; Lee et al., 2005) salvado de avena y harina de semillas de lino (Lee et al., 2004), fibra de cacao (Martínez-Cervera et al., 2011), povidexrosa (Kocer et al., 2007), maltodextrina (Lakshminarayan et al., 2006; Psimouli y Oreopoulou, 2013) y pectina de cítrico (Psimouli y Oreopoulou, 2013). Se han encontrado pocas referencias sobre la sustitución de grasa por gomas. En este sentido, Zambrano et al. (2004) utilizaron goma guar y xantana para obtener bizcochos bajos en grasa, Khouryieh et al. (2005) elaboraron magdalenas sustituyendo la grasa por una mezcla de maltodextrina y goma xantana y Kaur et al. (2000) emplearon goma guar y carboximetil celulosa en magdalenas para reducir el contenido en grasa.

La importancia de las gomas se basa en su habilidad para controlar las características reológicas de un sistema acuoso. También pueden afectar a la estabilización de las emulsiones, ayudar a suspender partículas, controlar la cristalización e inhibir la sinéresis (Zambrano et al., 2004).

En este trabajo, como sustituto de la grasa, se utiliza un ingrediente funcional derivado de las semillas de lino con capacidad hidrocoloide. Este ingrediente se puede usar como sustituto de la goma guar y xantana y al ser un producto natural permite el etiquetado limpio de los alimentos evitando los números E.

Las semillas de lino se utilizan como fuente potencial para la formulación de alimentos funcionales (Marpalle et al., 2014) son ricas en nutrientes beneficiosos para la salud (Shearer y Davies 2005) y presentan un perfil nutricional único, con una elevada concentración en ácidos grasos poliinsaturados (73% de los ácidos grasos totales), moderada concentración en ácidos grasos monoinsaturados (18%) y baja en ácidos grasos saturados

(9%); el ácido linoleico constituye el 16% de los ácidos grasos totales y el ácido α -linolénico (ALA) el 57% (Marpalle et al., 2014). El ALA es un ácido graso omega-3 que está involucrado en la reducción de los procesos inflamatorios y juega un papel importante en el descenso/prevención de enfermedades cardiovasculares, osteoporosis, diabetes y enfermedades del tracto gastrointestinal (Mercier et al., 2014). Las semillas de lino contienen aproximadamente un 28% de fibra, de la cual un tercio es fibra soluble, que se asocia con la capacidad de reducir el colesterol y de regular los niveles de glucosa en sangre. El resto de la fibra dietética es insoluble. La fibra insoluble favorece el aumento de la masa fecal y reduce el tiempo de tránsito en el lumen, por lo que previene el estreñimiento y puede proporcionar protección contra el cáncer de colon (Moraes et al., 2010).

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto que tiene la sustitución parcial de la grasa, en la formulación de bizcochos, por un ingrediente funcional natural derivado de las semillas de lino, sobre la estructura, y las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los bizcochos. Además también se pretende estudiar los cambios en la digestibilidad del almidón, como consecuencia de la adición de este ingrediente en la formulación de los bizcochos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ingredientes

Para la preparación de los bizcochos se utilizaron los siguientes ingredientes: harina de trigo (Harinas Segura S.L, Torrente, Valencia, España, composición proporcionada por el proveedor: 13,50-15,50% humedad, 9-11% proteínas); azúcar blanco (AB Azucarera Iberica S.L.U., Madrid, España); yema y clara de huevo, ambas líquidas pasteurizadas (Ovocity, Llombay, Valencia, España); leche en polvo desnatada (Corporación Alimentaria Peñasanta, S.A., Siero, Asturias, España); aceite refinado de girasol (Aceites del Sur-Coosur, S.A., Vilches, Jaén, España); bicarbonato sódico E-500ii y ácido cítrico E-300 (Sodas y Gaseosas A. Martínez, S.L., Cheste, Valencia, España); sal; Optisol™5300 ingrediente natural derivado de las semilla de lino (Glambia Nutritionals Ltd, Kilkenny, Irlanda; especificaciones proporcionadas por el proveedor: 28-36% proteína, 8-12% humedad, 15-20% grasa, 30-40% carbohidratos, 25-37% fibra dietética) y agua destilada.

Elaboración de las masas y de los bizcochos

Se estudiaron cuatro formulaciones que se presentan en la Tabla 1, la formulación control (S0) y tres formulaciones más, en las que el aceite de girasol se reemplazó por cantidades crecientes de Optisol™5300. Los niveles de sustitución de grasa fueron del 30% (S30), 50% (S50) y 70% (S70). El contenido en grasa del ingrediente Optisol™5300, se tuvo en cuenta para el cálculo de las proporciones de grasa a sustituir en las

diferentes formulaciones. Para conseguir la dispersión correcta del ingrediente funcional, se incorporó agua destilada en la elaboración de las masas en una relación 1:5 de Optisol™5300:agua.

TABLA 1. Composición de las formulaciones estudiadas.

Ingredientes	S0	S30	S50	S70
Harina	100	100	100	100
Azúcar	100	100	100	100
Yema	27	27	27	27
Clara	54	54	54	54
Leche	50	50	50	50
Agua	0	15	25	35
OptiSol™5300	0	3	5	7
Aceite	46	31,6	22	12,4
Bicarbonato	4	4	4	4
Ácido cítrico	3	3	3	3
Sal	1,5	1,5	1,5	1,5

Fórmulas en % respecto a la harina.

Las diferentes masas se prepararon según el procedimiento “mezclado todo en uno” de Rodríguez-García et al. (2014a), con algunas modificaciones. En primer lugar se introdujeron todos los ingredientes líquidos de la receta, clara, yema, leche y agua, en la amasadora Kenwood Major Classic (Havant, Inglaterra, UK). A continuación, se adicionaron los ingredientes sólidos, harina, azúcar, Optisol™5300, bicarbonato, ácido cítrico y sal, en el mismo recipiente. Por último se añadió el aceite de girasol. Para obtener las masas homogéneas, se realizó el mezclado de todos los ingredientes durante 30 s a velocidad 1, seguido de 1 min a velocidad 2 y por último 3 min a velocidad 3.

Para la obtención de los bizcochos, las diferentes masas se vertieron en moldes de Pyrex® de 20 cm de diámetro y se introdujeron en un horno convencional (Electrolux, modelo EOC3430DOX, Estocolmo, Suecia), precalentado a 180 °C durante 30 min. El horneado se llevó a cabo a 180 °C durante 43 min. Tras sacar los bizcochos del horno, se dejaron atemperar al menos 1 h 30 min antes de proceder a su análisis. Todas las masas y bizcochos se prepararon por triplicado y los análisis se realizaron dentro de las 24 horas siguientes a su elaboración.

Microscopía confocal láser de barrido (CLSM)

Las observaciones por microscopía confocal láser de barrido (CLSM), de las diferentes masas de bizcocho, se realizaron mediante un microscopio láser confocal Nikon C1 acoplado a un microscopio óptico Nikon Eclipse E800 V-PS100E (Nikon, Tokio, Japón). El láser empleado por este microscopio fue de argón, con una longitud de onda de excitación máxima ($\lambda_{\text{ex máx}}$) a 488 nm. Para visualizar las muestras se utilizaron los objetivos

40x/1.0 y 60x/1.40 Oil, con aceite de inmersión, y se obtuvieron imágenes con una resolución de 1024x1024 píxeles mediante el programa del microscopio (EZ-CI v.3.40, Nikon). Las tinciones empleadas fueron Nile Red (0.1 g/L en PEG 200) y Rodamina B (0.2 g/L en agua). El Nile Red tiene una $\lambda_{\text{ex máx}}$ de 488 nm y una longitud de onda de emisión máxima ($\lambda_{\text{em máx}}$) de 515/30 nm y se utiliza como agente de tinción para grasa. La Rodamina B tiene una $\lambda_{\text{ex máx}}$ 488 nm y una $\lambda_{\text{em máx}}$ de 580 nm. Este fluorocromo se utiliza para teñir proteínas y carbohidratos. Para observar y estudiar las diferentes masas de bizcocho, se colocó una pequeña cantidad de muestra sobre un portaobjetos y se combinaron los diferentes tipos de tinciones.

Pérdida de peso durante el horneado

Para determinar la pérdida de peso durante el horneado se pesó primero la masa antes de introducirla en el horno y después el bizcocho una vez estuvo atemperado. Se tuvo en cuenta el contenido de agua inicial en cada formulación. Para la obtención de dicho valor, se utilizó la Ecuación 1.

$$PP = ((M-B)/AI)/100 \quad (1)$$

donde: PP = pérdida de peso durante el horneado (%); M = peso de la masa (g); B = peso del bizcocho (g); AI = contenido de agua inicial (g).

Altura de los bizcochos

Los bizcochos fueron cortados transversalmente por el centro y fotografiados, a una distancia de 40cm. Se empleó una cámara fotográfica E-510 (Olympus, Hamburgo, Alemania), con un objetivo ED 14-42 mm 1:3.5-5.6 (Zuiko Digital), que ofreció un zoom total de 3x. Se obtuvieron tres fotos (3648 x 2736 píxeles) de cada tipo de bizcocho. Con el programa ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA), se midió la altura (cm) verticalmente por el punto más alto de los bizcochos. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Estructura macroscópica de la miga

Los bizcochos se cortaron transversalmente por la zona central, en dos mitades que se escanearon con un escáner HP Scanjet G2710 (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, U.S.A) con una resolución de 300dpi. Se observaron secciones centrales del bizcocho de 5 x 5 cm de campo. La imagen recortada se separó en canales, se contrastó, se segmentó y por último se binarizó con ayuda del programa ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA). Se analizaron tres imágenes por formulación.

Medida de color

Las medidas instrumentales de color se realizaron en la corteza superior y en la miga de los bizcochos, en las zonas centrales en ambos casos,

mediante el equipo Chroma meter CR-400 (Konica Minolta Sensing Americas, Inc. Ramsey, N.J., USA). Los resultados se expresaron por el sistema CIELAB, con referencia al iluminante C y observador próximo al estándar 2° (CIE 1931). Los parámetros determinados fueron L* (L* = 0 [negro] y L* = 100 [blanco], a* (-a* = verde y +a* = rojo), b* (-b* = azul y +b* = amarillo), C_{ab}* croma o saturación mediante la Ecuación 2 y h_{ab}* o tono con la Ecuación 3. Cada medida se realizó por cuadruplicado.

$$C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2)$$

$$h^*_{ab} = \arctan (b^*/a^*) \quad (3)$$

La diferencia de color total (ΔE^*) entre el bizcocho control (S0) y los bizcochos con Optisol™5300 se calculó aplicando la Ecuación 4 (Baixauli et al., 2008).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

$\Delta E^* < 1$; las diferencias de color no son obvias para el ojo humano.

$1 < \Delta E^* < 3$; las diferencias de color no se aprecian por el ojo humano.

$\Delta E^* > 3$; las diferencias de color se observan por el ojo humano.

Textura de los bizcochos

Las propiedades texturales se evaluaron mediante un analizador de textura TA-TXTplus (Stable Microsystem, Ltd., Godalming, England, UK) usando el programa TextureExponent Lite 32 (versión 6.1.4.0, Stable Microsystems).

Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) en cubos de la zona central del bizcocho (2 x 2 x 4 cm), tras eliminar la corteza. La velocidad del test fue de 1mm/s, con una compresión del 40% de la altura original del cubo y el tiempo de reposo entre los dos ciclos de compresión fue de 5 s. El valor mínimo umbral de fuerza registrado fue de 5 g. La compresión se realizó con una sonda cilíndrica de aluminio de 5 cm de diámetro. Tras los dos ciclos de compresión se determinaron los parámetros: dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad. Cada medida se realizó por cuadruplicado.

Análisis sensorial

Los consumidores que realizaron el análisis sensorial de los bizcochos fueron alumnos y trabajadores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN) de la Universidad Politécnica de Valencia. En total fueron 140 catadores no entrenados, con edades comprendidas entre 18 y 54.

Las muestras se analizaron en una sala de catas donde cada catador recibió 4 trozos de bizcocho, uno por cada formulación estudiada (S0, S30, S50 y S70), dispuestos de forma aleatoria, y servidos a temperatura ambiente. Las muestras se codificaron con números al azar formados por

tres cifras. Además se suministró agua a los consumidores para que se pudieran limpiar la boca entre las diferentes muestras.

Se realizó una prueba de preferencia-aceptación valorando mediante una escala hedónica, los atributos: aspecto externo, textura, sabor y aceptación global. La escala utilizada fue de 5 puntos (5 = muy agradable, 4 = agradable, 3 = neutro, 2 = desagradable, 1 = muy desagradable).

Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM)

De cada una de las formulaciones estudiadas, se cortaron cubos de 0,5 cm de lado que se congelaron a -80°C y se liofilizaron (Telstar, Lyoquest 55, Terrassa, Barcelona, España). Posteriormente, las muestras se recubrieron con platino a vacío, y se observaron en un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) (Zeiss, modelo Ultra 55, Oberkochen, Alemania). Las formulaciones se analizaron por duplicado.

Digestión *in vitro*

Las digestiones de los bizcochos se llevaron a cabo según el protocolo de Sozer et al. (2014), con modificaciones. Para ello se introdujeron 4 g de bizcocho molido en un digestor, formado por un reactor de vidrio con camisa y agitación magnética continua, y acoplado a un circulador de agua de temperatura controlada. Se adicionaron 100 mL de tampón fosfato sódico-potásico 0,05 M pH 6,9 y 5 mL de una disolución de pancreatina de páncreas porcino (Sigma, P3292) al 2,5% en tampón maleato 0,1M pH 6. La mezcla se incubó durante 120 min a 37°C y en agitación a 120 rpm. Se sacaron alícuotas a los 20, 60, 90 y 120 min de digestión. Las alícuotas se colocaron en un baño con agua hirviendo durante 5 min y después en hielo. Posteriormente cada alícuota se centrifugó a 6600 rpm durante 5 min a temperatura ambiente y se analizó el contenido de azúcares reductores del sobrenadante mediante el método colorimétrico del ácido dinitrosalicílico (DNS). Para ello se introdujo en un tubo 2 mL de sobrenadante y 2 mL del reactivo del ácido 3,5 dinitrosalicílico (3,5-DNS). Seguidamente el tubo se colocó en un baño con agua hirviendo durante 5 min, transcurridos los cuales se enfrió con hielo, se le adicionó 10 mL de agua destilada, se agitó y se midió su absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV-VIS (ThermoScientific, Waltham, MA, U.S.A) mediante el programa Vision Lite (versión 2.2). Con el valor de la absorbancia obtenida y la curva de calibrado de un patrón de glucosa conocido, se determinó el contenido de azúcares reductores de la muestra. La cantidad de almidón digerido se calculó multiplicando el valor de azúcares reductores por 0,9 constante estequiométrica para convertir la glucosa en almidón (Hardacre et al., 2015).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA). Se calcularon las diferencias mínimas significativas (LSD) con un nivel de significación $P < 0.05$. Para ello se empleó

el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.11 (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, Estados Unidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopía confocal láser de barrido (CLSM) de las masas

La Figura 1 presenta las imágenes de las masas de los bizcochos elaborados con diferente grado de sustitución (S0, S30, S50 y S70), obtenidas por la técnica de CLSM.

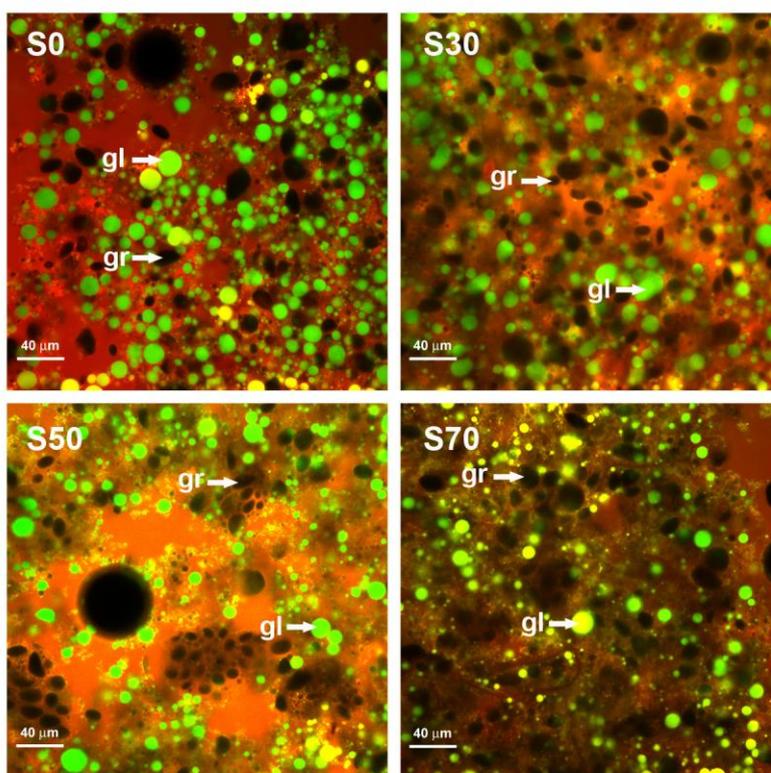


FIGURA 1. Microscopía confocal láser de Barrido (CLSM). Imágenes de las masas de bizcocho S0, S30, S50 y S70. gr: gránulos de almidón. gl: glóbulos de grasa. Magnificación (40x).

En la masa de bizcocho control (S0) se pudo observar una fase continua de apariencia homogénea de color rojo, teñida con rodamina, formada principalmente por la interacción entre las proteínas de los distintos ingredientes de la formulación del bizcocho: leche, huevo y gluten. Asociados a esta red proteica se pueden identificar los gránulos de almidón intactos, de color negro y los glóbulos de grasa, teñidos de verde por el agente de tinción Nile Red. Los glóbulos de grasa presentan diferentes tamaños; muchos de ellos aparecen asociados entre sí formando racimos y apenas se puede apreciar coalescencia entre ellos.

En las masas de los bizcochos S30, la fase continua parece estar constituida por la interacción entre las proteínas de los distintos componentes de la formulación (leche, huevo, gluten y Optisol™5300) y probablemente la fase grasa del ingrediente funcional Optisol™5300. Esta fase grasa a diferencia del aceite de girasol no aparece en forma de glóbulos, sino interaccionando con la fracción proteica de la formulación. Además, se puede apreciar otra red o entramado extenso de color oscuro-negruczo que aparece superpuesta a la fase continua y que probablemente estaría constituida por los componentes hidrocarbonados del Optisol™5300 adicionado como ingrediente en la formulación. Los gránulos de almidón y los glóbulos de grasa se observan asociados a esta red. Entre los glóbulos se aprecia una coalescencia ligeramente superior a la de la masa del bizcocho control.

Conforme aumenta el grado de sustitución en las masas de los bizcochos (S50 y S70), también aumenta la extensión y el grado de compactación e intensidad de la red de color oscuro-negruczo asociada a la incorporación de Optisol™5300. Al aumentar la sustitución en el bizcocho, también se aprecia una menor presencia de glóbulos de grasa. La coalescencia entre los glóbulos en los bizcochos de elevada sustitución no parece ser significativa. El descenso en el contenido en grasa de estos bizcochos parece minimizar los fenómenos de coalescencia.

Pérdida de peso durante el horneado y altura de los bizcochos

Los resultados obtenidos para la pérdida de peso durante el horneado (PP), y para los valores de altura máxima del bizcocho, se presentan en la Tabla 2.

TABLA 2. Valores medios de pérdida de peso durante el horneado (PP) y altura máxima de los bizcochos, en función de su formulación.

Parámetro	S0	S30	S50	S70
PP (%)	21,48 ^a (0.51)	20,68 ^b (0.27)	19,78 ^c (0.23)	20,09 ^{bc} (0.46)
Altura (cm)	10,06 ^a (0.79)	9,72 ^a (0.10)	9,43 ^a (0.71)	9,32 ^a (0.41)

Los valores entre paréntesis son la desviación estándar. ^{a, b, c} las medias con letras diferentes en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

En general, la adición de Optisol™5300 en la formulación, produjo una pérdida de peso en el horneado significativamente (P<0,05) menor si se compara con el bizcocho control (S0). La menor pérdida de peso se obtuvo en los bizcochos S50 y S70. Los hidrocoloides, aunque dependiendo de su estructura química y de la interacción con el resto de los ingredientes del alimento, tienen la habilidad de aumentar la retención de humedad (Gómez et al., 2007) y por lo tanto de disminuir la pérdida de peso en el alimento. En este sentido el Optisol™5300 sí que presentó capacidad hidrocoloide en el bizcocho. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Khouryeh et al. (2005) que observaron una menor pérdida de humedad en las magdalenas

elaboradas con goma xantana y maltodextrina, como sustituto de la grasa, que en las elaboradas con grasa o con maltodextrina únicamente.

La incorporación de Optisol™5300 en la formulación, no influyó en la altura máxima de los bizcochos. No se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los valores de este parámetro entre las distintas formulaciones.

Estructura macroscópica de la miga

La Figura 2 muestra las imágenes de los diferentes bizcochos (S0, S30, S50 y S70) escaneados, contrastados y binarizados.

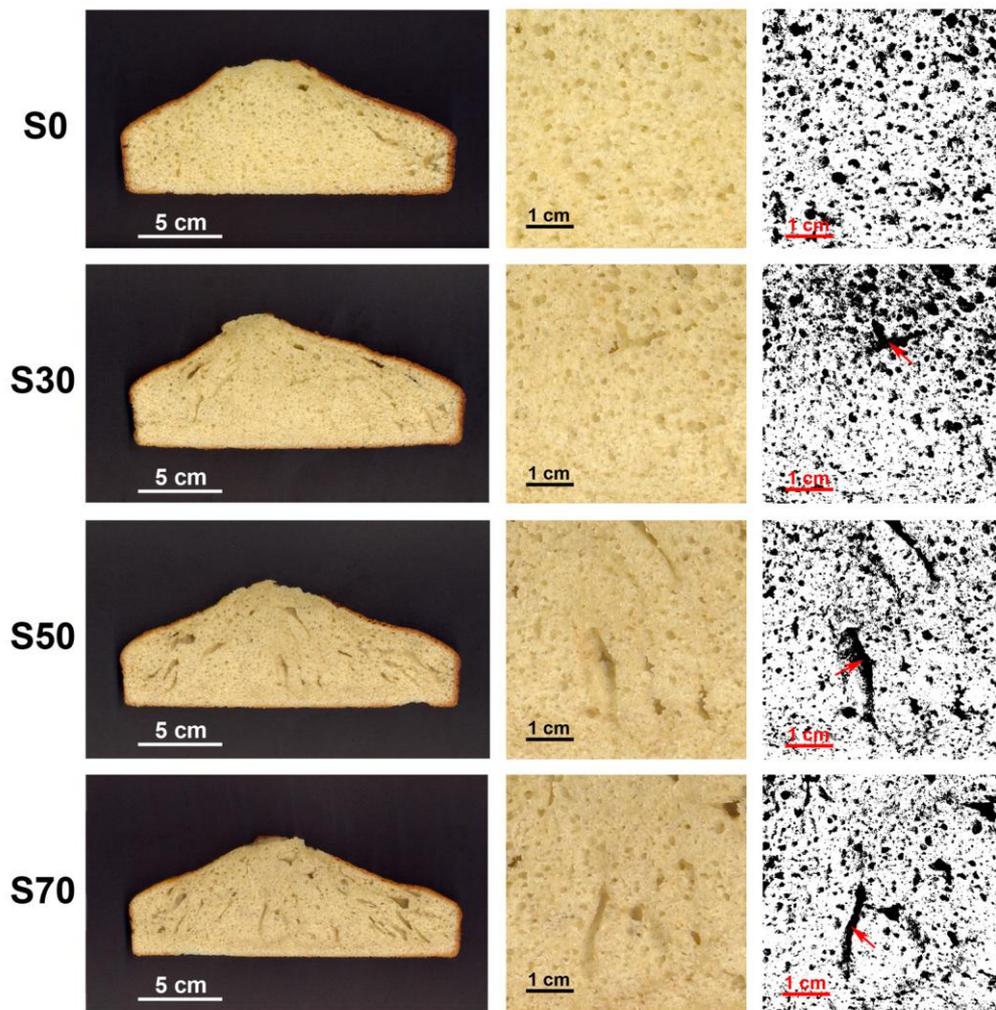


FIGURA 2. Imágenes escaneadas de S0, S30, S50 y S70 de los bizcochos enteros, campo de 5 x 5 cm y sus imágenes binarizadas correspondientes (114,67 pixels/cm). Flechas: canales de difusión.

El bizcocho control (S0) presentó una macroestructura de la miga prácticamente homogénea (Figura 2). En cambio en los bizcochos con Optisol™5300 en su formulación, se observó la aparición de una serie de

canales de difusión en la miga. Además en las formulaciones con mayor grado de sustitución, S50 y S70, se apreció un aumento en la aparición de estos canales en comparación con el bizcocho S30.

Medida de color

Los datos de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* , h_{ab}^* , ΔE^*) para la corteza y la miga de los diferentes bizcochos estudiados, se presentan en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

TABLA 3. Valores medios de los parámetros de color de la corteza de los bizcochos, en función de su formulación.

Parámetro	S0	S30	S50	S70
L^*	40,05 ^a (1,12)	42,57 ^b (1,81)	43,51 ^b (1,90)	43,06 ^b (2,22)
a^*	14,91 ^a (0,5)	15,35 ^b (0,37)	15,31 ^b (0,55)	15,59 ^b (0,52)
b^*	24,95 ^a (2,18)	27,30 ^b (2,26)	28,00 ^b (2,29)	28,69 ^b (1,67)
C_{ab}^*	29,08 ^a (2,00)	31,34 ^b (1,92)	31,94 ^b (1,88)	32,66 ^b (1,42)
h_{ab}^*	59,02 ^a (2,01)	60,54 ^{ab} (2,26)	61,20 ^b (2,59)	61,42 ^b (1,79)
ΔE^*		3,47	4,62	4,84

Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar. ^{a, b, c} las medidas con letras diferentes en la misma fila difieren significativamente ($P < 0,05$).

En la corteza, los parámetros L^* , a^* , b^* y C_{ab}^* presentaron valores significativamente menores ($P < 0,05$) en la formulación control (S0) que en el resto de sustituciones estudiadas (S30, S50 y S70), no observándose diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las formulaciones con distintos grados de sustitución. Lee et al. (2004) también obtuvieron diferencias significativas en el parámetro L^* de la corteza de bizcochos en los que se sustituyó grasa por salvado de avena y semillas de lino en polvo, de manera que a mayor reemplazo de grasa por estos ingredientes, mayores valores de L^* se obtuvieron, indicando mayor luminosidad. En cuanto al parámetro tono (h_{ab}^*) sí se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el control y las formulaciones con mayor grado de sustitución. Finalmente, sí que hubo diferencias globales de color ($\Delta E^* > 3$), apreciables por el ojo humano, entre el bizcocho control y el resto de formulaciones. Estas diferencias se deben a un color en la superficie menos oscuro, a medida que se incorpora más cantidad de Optisol™5300 en la formulación. Shearer y Davis (2005) también obtuvieron diferencias globales de color en magdalenas elaboradas con 5% de harina de semillas de lino, no siendo así para las elaborados con 2% de esta harina.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los valores obtenidos para los parámetros de color de la miga.

TABLA 4. Valores medios de los parámetros de color de la miga de los bizcochos, en función de su formulación.

Parámetro	S0	S30	S50	S70
L*	66,86 ^a (1,45)	66,39 ^a (1,99)	66,47 ^a (0,83)	65,40 ^a (2,02)
a*	-2,23 ^a (0,20)	-1,11 ^b (0,24)	-0,60 ^c (0,16)	-0,20 ^d (0,12)
b*	22,97 ^a (1,61)	22,48 ^a (1,46)	23,06 ^a (1,25)	22,28 ^a (0,60)
C*_{ab}	23,08 ^a (1,61)	22,50 ^a (1,46)	23,06 ^a (1,25)	22,29 ^a (0,60)
h*_{ab}	95,56 ^a (0,56)	92,85 ^b (0,63)	91,48 ^c (0,38)	90,52 ^d (0,30)
ΔE*		1,31	1,68	2,59

Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar. ^{a, b, c, d} las medidas con letras diferentes en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

En la miga no se encontraron diferencias significativas en los parámetros L*, b* y C*_{ab} entre los cuatro tipos de bizcochos estudiados. Por otro lado, el parámetro a* fue significativamente mayor (P<0,05) a medida que se adicionó mayor cantidad de Optisol™5300 en la formulación. Lee et al. (2004) también obtuvieron mayores valores de a*, pasando de valores negativos a positivos, al incluir mayor contenido de semilla de lino molida en bizcochos como sustituto de grasa. En cambio para el atributo h*_{ab}, según los valores de la Tabla 4, a medida que se incorporó mayor cantidad de Optisol™5300, este parámetro fue significativamente menor. Por último, no hubo diferencias significativas en la diferencia global de color, ya que todos los valores de ΔE* fueron inferiores a 3.

Textura de los bizcochos

En la Tabla 5 se presentan los parámetros obtenidos a partir de las curvas del análisis del perfil de textura (TPA).

TABLA 5. Valores medios de las propiedades texturales de los bizcochos, en función de su formulación.

Bizcocho	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (N)
S0	91,75 ^a (4,21)	0,94 ^a (0,01)	0,84 ^a (0,01)	72,93 ^a (4,66)
S30	111,23 ^b (6,97)	0,94 ^a (0,01)	0,85 ^b (0,02)	89,05 ^b (5,54)
S50	126,04 ^c (14,61)	0,95 ^a (0,01)	0,85 ^b (0,01)	101,99 ^c (11,53)
S70	152,06 ^d (8,43)	0,95 ^a (0,02)	0,86 ^c (0,01)	124,15 ^d (6,39)

Los valores entre paréntesis son la desviación estándar. ^{a, b, c, d} las medias con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente (P<0,05).

La adición de Optisol™5300 en la formulación como sustituto de la grasa, dio valores de dureza significativamente mayores (P<0,05) a medida que se incorporó mayor cantidad de este ingrediente. Zambrano et al. (2004) obtuvieron un valor de dureza significativamente mayor en bizcocho

elaborado con goma xantana y 50% menos de grasa en comparación con el control. Khouryieh et al. (2005) también encontraron valores de dureza significativamente mayores en magdalenas elaboradas con maltodextrina y goma xantana como sustituto de grasa, al compararlos con el control.

Los valores de elasticidad indican que no hubo diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas, lo cual pudo ser debido a que todos los bizcochos contenían la misma harina y por tanto la misma proporción de proteínas del gluten, responsable de la elasticidad y la fuerza de la masa.

La formulación control (S0) obtuvo un valor de cohesividad significativamente menor ($P < 0,05$) que el resto de formulaciones estudiadas; La adición de Optisol™5300 implicó un mayor trabajo para comprimir la muestra por segunda vez respecto a la primera compresión. Lee et al. (2004) encontraron resultados similares en bizcochos al comparar el control con el elaborado con harina de semilla de lino como sustituto de grasa.

Los valores del parámetro masticabilidad siguieron una tendencia similar a los de dureza. El bizcocho control obtuvo valores de masticabilidad significativamente más bajos ($P < 0,05$) que el resto de las formulaciones estudiadas. A medida que se incorporó mayor cantidad de Optisol™5300 en la formulación este parámetro aumentó significativamente, siendo S70 el bizcocho con mayor valor, lo que podría relacionarse con un bizcocho más compacto, por lo que fue necesaria aplicar más fuerza en comparación con el resto de bizcochos, para que estuviera listo para su ingestión. Khouryieh et al. (2005) también obtuvieron valores de masticabilidad significativamente mayores que en el control, en magdalenas elaboradas con menos grasa e incorporación de maltodextrina y goma xantana.

Análisis sensorial

Los valores medios de aceptación sensorial para los atributos aspecto externo, textura, sabor y aceptación global del bizcocho control y de los bizcochos con diferentes sustituciones de grasa se presentan en la Figura 3.

El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) entre el bizcocho control (S0) y el S30 para los atributos de textura, sabor y aceptación global. En el caso del atributo sabor, tampoco se encontraron diferencias significativas entre el S0 y el S50. Sin embargo, el valor del aspecto externo sí fue significativamente menor ($P < 0,05$) en S30 al compararlo con el control.

En todos los atributos estudiados se observó que a medida que la formulación contenía mayor cantidad de Optisol™5300 la aceptación sensorial fue significativamente menor, ya que se obtuvieron valores significativamente menores al comparar S50 con S0 (a excepción del sabor, anteriormente comentado) y S70 con S0. De todas las formulaciones con reemplazo de grasa estudiadas, la S30 parece ser la de mayor aceptación sensorial.

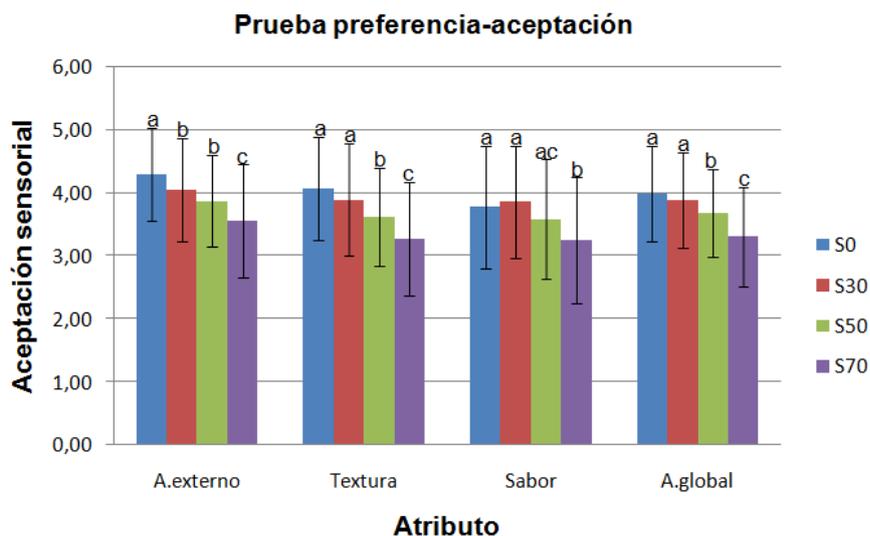


FIGURA 3. Valores medios de la aceptación de los consumidores para los diferentes bizcochos.

Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM)

En la Figura 4 se presentan las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM), en las que se observa la microestructura de los bizcochos.

La estructura del bizcocho control (S0) se observó constituida por una red proteica hidratada y bien desarrollada formada principalmente por el gluten de la harina en la que se incorpora el resto de ingredientes. Los gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, quedaron albergados en la red de gluten y el aceite se comportó como lubricante, generando una estructura continua y flexible. Durante el horneado, los glóbulos de grasa coalescieron, liberaron grasa que se incorporó a la matriz creando una película de recubrimiento, como se observa en la Figura 4.

El bizcocho S30 presentó una microestructura más irregular, ya que la distribución del recubrimiento de aceite fue menor, en comparación con S0. A medida que la sustitución de grasa fue mayor (S50 y S70), el recubrimiento de aceite fue más difícil de encontrar en las imágenes. También se observó, que incorporando mayor cantidad de Optisol™5300 en la formulación, éste actuó como agente de relleno en los huecos de la red proteica, compactando el bizcocho. Esta información se correlaciona con los valores de textura obtenidos, ya que los resultados de dureza, cohesividad y masticabilidad aumentaron significativamente al incrementar el contenido de Optisol™5300, en comparación con S0.

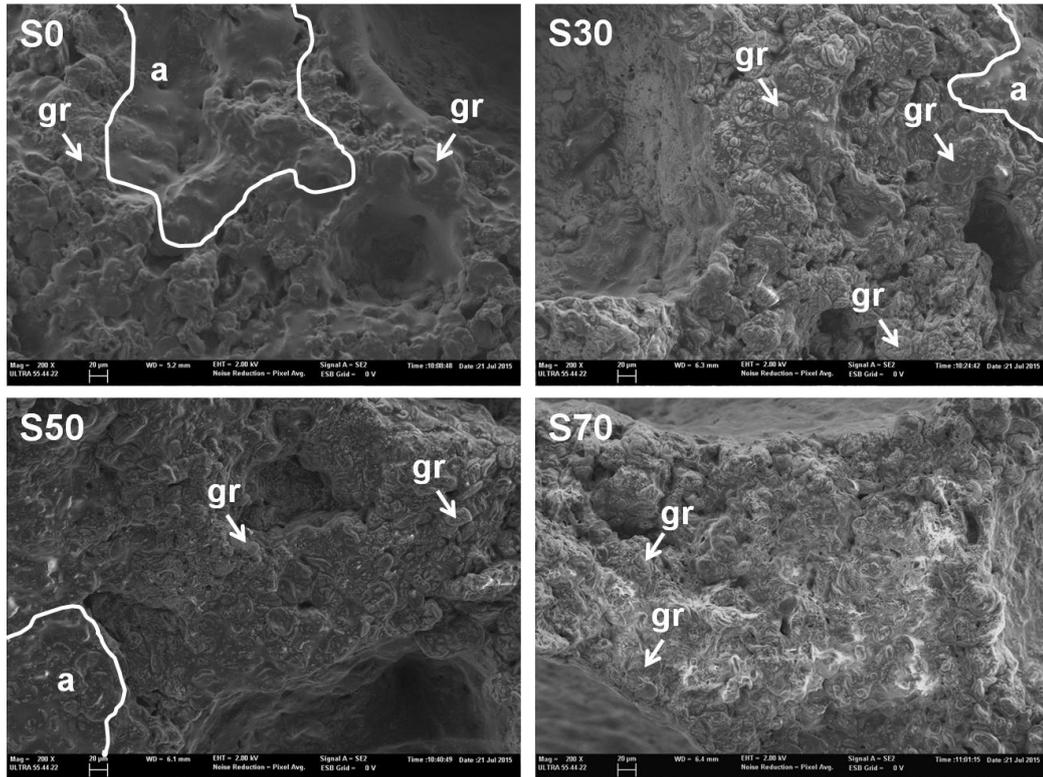


FIGURA 4. Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM). Imágenes de los bizcochos S0, S30, S50 y S70. gr: gránulos de almidón. a: aceite. Magnificación (200x). Barra = 20 μ m.

Digestión *In vitro*

En la Figura 5, se muestra la proporción de almidón digerido, en cada uno de los bizcochos estudiados, durante el transcurso de la digestión *in vitro*.

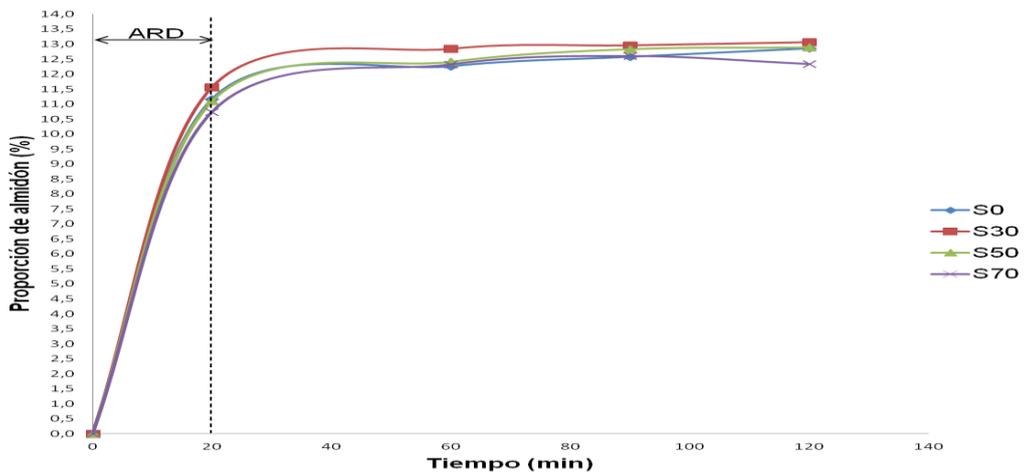


FIGURA 5. Proporción de almidón digerido (g almidón/100 g de bizcocho) durante la digestión *in vitro* de los bizcochos, en función de la formulación.

Después de someter los diferentes bizcochos estudiados (S0, S30, S50 y S70) a 20 min de digestión *in vitro*, no se observaron ($P>0,05$) diferencias significativas en la proporción de almidón digerido, entre el bizcocho control y los elaborados con las diferentes sustituciones. La fracción de almidón gelatinizado que es digerida durante los 20 min iniciales del proceso de digestión, se considera el almidón de rápida digestibilidad (ARD) (Herdacre et al., 2015). La sustitución de la grasa en la formulación del bizcocho por el ingrediente funcional Optisol™5300 no influyó en los valores de ARD.

Tampoco se observaron diferencias significativas ($P>0,05$) en el porcentaje de almidón digerido, entre los bizcochos control (S0) y los de mayor grado de sustitución (S50 y S70) después de un tiempo de digestión *in vitro* de 60 min y 90 min.

La adición de diferentes cantidades de Optisol™5300 no pareció interferir en la digestibilidad del almidón tras 120 min, ya que no se apreciaron diferencias significativas entre S0 y el resto de sustituciones estudiadas (S30, S50 y S70).

CONCLUSIONES

La adición del ingrediente funcional Optisol™5300 en la formulación de las masas de los bizcochos favorece la aparición de una fase continua principalmente hidrocarbonada que se distribuye de forma homogénea en la matriz del alimento. Durante el horneado, el Optisol™5300 por su capacidad hidrocoloide, evita la pérdida de humedad, sin modificar el crecimiento de la masa. Además, la incorporación de Optisol™5300 en la formulación, produce un aumento en la dureza, cohesividad y masticabilidad de los bizcochos y favorece la aparición de canales de difusión y una distribución heterogénea de los alveolos en la miga. Los bizcochos que contienen Optisol™5300 en su formulación presentan valores de digestibilidad del almidón similares a los del bizcocho control. La elaboración de bizcochos con un 30% de sustitución de la grasa por el ingrediente funcional presenta además una buena aceptación sensorial por parte de los consumidores, por lo que supone una estrategia adecuada en la obtención de alimentos más saludables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INIA el apoyo económico otorgado a través del proyecto BERRYPOM- Adding value to fruit processing waste: innovative ways to incorporate fibres from berry pomace in baked and extruded cereal-based foods, de la convocatoria ERANET- SUSFOOD.

REFERENCIAS

- Baixauli, R.; Salvador, A.; Fiszman, S. 2008. Textural and color changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226(3):523-530.
- Gómez, M.; Ronda, F.; Caballero, P.A.; Blanco, C.A.; Rosell, C.M. 2007. Funcionalidad de diferentes hidrocoloides en la calidad y vida útil de pasteles de capas amarillos. *Food Hydrocolloids*, 21(2): 167-173.
- Hardacre, A.K.; Yap, S.-Y.; Lentle, R.G.; Monro, J.A. 2015. The effect of fibre and gelatinised starch type on amylolysis and apparent viscosity during in vitro digestion at a physiological shear rate. *Carbohydrate Polymers*, 123 80-88.
- Kalinga, D.; Mishra, V.K. 2009. Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(3) 384-400.
- Kaur, A.; Singh, G.; Kaur, H. 2000. Studies on Use of Emulsifiers and Hydrocolloids as Fat Replacers in Baked Products. *Journal of Food Science and Technology*, 37(3): 250-255.
- Khouryieh, H.A.; Aramouni, F.M.; Herald, T.J. 2005. Physical and sensory characteristics of no-sugar-added/low-fat muffin. *Journal of Food Quality*, 28(5-6): 439-451.
- Kocer, D.; Hicsasmaz, Z.; Bayindirli, A.; Katnas, S. 2007. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer. *Journal of Food Engineering*, 78(3): 953-964.
- Lakshminarayan, S.M.; Rathinam, V.; Krishnarau, L. 2006. Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(5): 706-712.
- Lee, S.; Inglett, G.; Carriere, C. 2004. Effect of Nutrim Oat Bran and Flaxseed on Rheological Properties of Cakes. *Cereal Chemistry*, 81(5): 637-642.
- Lee, S.; Kim, S.; Inglett, G.E. 2005. Effect of Shortening Replacement with Oatrim on the Physical and Rheological Properties of Cakes. *Cereal Chemistry*, 82(2): 120-124.
- Marpalle, P.; Sonawane, S.K.; Arya, S.S. 2014. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2): 614-619.
- Martínez-Cervera, S.; Salvador, A.; Muguerza, B.; Moulay, L.; Fiszman, S. 2011. Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3): 729-736.
- Matsakidou, A.; Blekas, G.; Paraskevopoulou, A. 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *LWT-Food Science and Technology*, 43(6): 949-957.
- Mercier, S.; Villeneuve, S.; Moresoli, C.; Mondor, M.; Marcos, B.; Power, K.A. 2014. Flaxseed-Enriched Cereal-Based Products: A Review of the Impact of Processing Conditions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4): 400-412.
- Moraes, É.A.; Dantas, M.I.D.S.; Morais, D.D.C.; Silva, C.O.D.; Castro, F.A.F.D.; Martino, H.S.D.; Ribeiro, S.M.R. 2010. Sensory evaluation and nutritional value of cakes prepared with whole flaxseed flour. *Food Science and Technology (Campinas)*, 30(4): 974-979.
- Psimouli, V.; Oreopoulou, V. 2013. The Effect of Fat Replacers on Batter and Cake Properties. *Journal of Food Science* 78(10):C1495-C1502.
- Rodríguez-García, J.; Puig, A.; Salvador, A.; Hernando, I. 2012. Optimization of a Sponge Cake Formulation with Inulin as Fat Replacer: Structure, Physicochemical and Sensory Properties. *Journal of Food Science*, 77(2): C189-C197.
- Rodríguez-García, J.; Sahi, S.S.; Hernando, I. 2014a. Optimizing Mixing during the Sponge Cake Manufacturing Process. *Cereal Foods World*, 59(6): 287-292.
- Rodríguez-García, J.; Salvador, A.; Hernando, I. 2014b. Replacing Fat and Sugar with Inulin in Cakes: Bubble Size Distribution, Physical and Sensory Properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4): 964-974.
- Román, L.; Santos, I.; Martínez, M.; Gómez, M. 2015. Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality. *Journal of Food Science and Technology* 1-8.

- Shearer, A. E.; Davies, C. G. 2005. Physicochemical Properties of Freshly Baked and Stored Whole-Wheat Muffins With and Without Flaxseed Meal. *Journal of Food Quality*, 28(2):137-153.
- Sozer, N.; Cicerelli, L.; Heiniö, R.-L.; Poutanen, K. 2014. Effect of wheat bran addition on in vitro starch digestibility, physico-mechanical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 105-113.
- Zahn, S.; Pepke, F.; Rohm, H. 2010. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12): 2531-2537.
- Zambrano, F.; Despinoy, P.; Ormenese, R. C. S. C.; Faria, E. V. 2004. The use of guar and xanthan gums in the production of 'light'low fat cakes. *International Journal of Food Science & Technology*,39(9): 959-966.