



EFFECTO DE LA ADICIÓN DE POLIOLES SOBRE LA CALIDAD DE BIZCOCHOS SIN GLUTEN, ELABORADOS EN HORNO CONVENCIONAL Y EN MICROONDAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso 2012-2013

Alumna: María Rodríguez Pérez

Tutor: Pedro. A Caballero Calvo

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos

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

Universidad de Valladolid

1. RESUMEN

La diabetes es una enfermedad que está impulsando la demanda de nuevos productos con menos azúcar y calorías. Por otra parte, existe una asociación bien conocida entre la enfermedad celiaca y la *diabetes mellitus* tipo 1, debiéndose también excluir en la dieta de este colectivo los alimentos con gluten. En la mayoría de los productos, sin embargo, la eliminación o reducción de ingredientes o componentes de sus materias primas provoca pérdidas fácilmente detectables en la apariencia, textura y sensación en la boca. En este trabajo se utilizaron siete polioles (maltitol, manitol, xilitol, sorbitol, isomaltitol, lactitol y eritritol) para reemplazar totalmente la sacarosa en bizcochos sin gluten. El efecto de esta sustitución en la calidad de los bizcochos se determinó mediante la caracterización de masas batidas (viscosidad) y el análisis instrumental del producto final (textura, propiedades morfogeométricas, color, y características del alveolado, volumen, envejecimiento). También se analizó la evolución de la textura de la miga durante su envejecimiento. De manera adicional se comprobó la viabilidad del microondas como método de cocción de bizcochos sin gluten. Los mejores resultados se lograron con maltitol y sorbitol que obtuvieron valores de viscosidad similares a los del azúcar y dieron como resultado estructuras de miga aireadas, buenos parámetros texturales y una apariencia análoga a la del bizcocho de azúcar. Los bizcochos con calidad inferior fueron los elaborados con manitol, siendo estos los que presentaban menor volumen, mayor dureza y peor evolución durante su envejecimiento.

ABSTRACT

Diabetes is a disease that demands new products with less sugar and calories. Moreover, there is a well-known association between celiac disease and type 1 diabetes mellitus, having to exclude this group diet foods with gluten. However, in most products, the elimination or reduction of ingredients makes detectable leaks in appearance, texture and mouthfeel. In this work seven polyols (maltitol, mannitol, xylitol, sorbitol, isomalt, lactitol, and erythritol) were used to totally replace sucrose in gluten free cakes. The effect of this substitution on the quality of the cakes was determined by characterizing of the mass (viscosity) and the instrumental analysis of final product (texture, geometric properties, color, characteristics of alveolate). Evolution of the texture of the crumb during aging was also analyzed. Additionally viability of microwave as cooking method of gluten free cakes was checked. The best

results were achieved with maltitol and sorbitol which viscosity values were similar to sugar and resulted aerated crumb structures, good textural parameters and appearance analogous to sugar cake. The lower quality cake were prepared with mannitol, these being those with lower volume, higher hardness and worse evolution during aging.

Keywords: Cake; Polyol; Maltitol; Mannitol; Xylitol; Sorbitol; Isomaltose; Lactitol; erythritol; Microwave; gluten-free.

2. INTRODUCCIÓN

Los bizcochos son productos horneados dulces, ricos en calorías, muy apreciados por los consumidores debido a su buen sabor y textura suave. El producto final se caracteriza por una estructura porosa típica y de alto volumen específico, lo que le confiere una textura esponjosa.

La sacarosa proporciona el sabor dulce y forma parte de la mayoría de las masas; ayuda a que los productos horneados se mantengan húmedos, influye en la estructura final y contribuye al pardeamiento de la corteza. Otra función importante de la sacarosa es aumentar la temperatura de gelatinización del almidón y la temperatura de desnaturalización de proteínas durante el horneado del bizcocho además de ayudar también a la estabilización de las burbujas de aire durante la cocción (Davis, 1995).

La enfermedad celíaca (EC) es una intolerancia a ciertas secuencias de aminoácidos que se encuentran en la fracción de prolamina de algunos cereales, principalmente en trigo, centeno y cebada. En individuos genéticamente susceptibles, este tipo de prolaminas, producen daños en la mucosa del intestino delgado conduciendo a la malabsorción de algunos nutrientes (Narula y col., 2009). Para la elaboración de productos sin gluten es necesario recurrir a materias primas de cereales y pseudocereales que no contengan esta proteína .

El trigo es uno de los principales componentes de la dieta diaria en casi todo el mundo, así como el ingrediente básico de la mayoría de los productos horneados, por lo que una dieta libre de gluten es compleja (Kupper, 2005).

Hay una asociación bien conocida entre EC y diabetes mellitus tipo 1 (DM). La prevalencia de biopsias positivas para enfermedad celíaca en pacientes con DM es de

2.4% a 6.7% mientras que para la población general europea este porcentaje varía entre un 0,04% y 0.1% (Sponzilli y col., 2010; Kakleas y col., 2010).

La sacarosa tiene un índice glicémico alto y por esta razón las personas con diabetes no deben consumir grandes cantidades, por lo que los productos adecuados para los diabéticos contienen generalmente sustitutos de la sacarosa.

Existen numerosos artículos dedicados a la creación y mejora de productos, bien para diabéticos o bien para celíacos, pero no existen estudios que relacionen las dos enfermedades en productos de panadería.

Las materias primas que se pueden utilizar en los productos sin gluten son limitadas, debido a que algunos de ellas podrían necesitar la modificación del proceso de producción tradicional (Marco y Rosell, 2008).

La harina de arroz es una de las más adecuadas para la producción de alimentos libres de gluten, debido a su sabor suave, de color blanco, la digestibilidad, y propiedades hipoalergénicas (Marco y Rosell, 2008).

El arroz no contiene gluten, tiene bajos niveles de sodio, proteína, grasa y fibra, y una alta cantidad de hidratos de carbono fácilmente digeribles por lo que es deseable para ciertas dietas especiales (Ji y col., 2007) tales como productos alimenticios libres de gluten. Sin embargo, estos productos tienen algunos problemas de calidad como bajo volumen, textura, color y estructura de la miga.

Algunos aditivos alimentarios como los hidrocoloides han sido ampliamente utilizados en las formulaciones de alimentos libres de gluten para superar estos problemas.

La masa de harina de arroz requiere un nivel muy alto de hidratación en comparación a la masa de harina de trigo. La adición de grandes cantidades de agua conduce a una mejora considerable del comportamiento de la masa durante la mezcla (es decir, una estabilidad más alta) (Torbica y col., 2010).

Las gomas actúan como sustancias poliméricas que imitan las propiedades viscoelásticas del gluten en la masa de pan (Rojas y col., 1999 y Gómez y col., 2007).

La goma xantana presenta propiedades reológicas únicas que la hacen idónea para el uso en pastelería: proporciona estabilidad química y enzimática, solubilidad en agua fría o caliente y alta viscosidad a bajas concentraciones. Por ello, es utilizado como un agente espesante o como un estabilizador en diferentes aplicaciones en alimentos. En

panadería se utiliza para mejorar la calidad (Marco y Rosell, 2008) y para extender la vida útil (Guarda y col., 2004) de panes horneados en hornos convencionales y productos de panadería.

La goma xantana ha sido muy utilizada como ingrediente, para la investigación de la calidad y vida útil de diferentes tipos de bizcochos. Miller y Hosenev (1993) estudiaron el papel de la goma de xantana en pasteles de capas blancas. Gómez y col. (2007), trabajando sobre la funcionalidad de diferentes hidrocoloides (entre otros, la goma de xantano) para observar la calidad y su vida útil. Turabi y col. (2008) investigaron las propiedades reológicas y la calidad de bizcochos de arroz elaborado con diferentes gomias (incluyendo goma xantana) y emulsionante. La goma xantana ha demostrado en todos ellos ser muy útil en la elaboración de productos sin gluten.

Debido a la compleja funcionalidad estructural de la sacarosa en los productos horneados, la obtención de productos de buena calidad con baja proporción de sacarosa es una tarea difícil. Los alcoholes de azúcar o polioles son sustitutos de sacarosa típicos en los productos horneados y sus propiedades han sido estudiadas por varios investigadores (Martínez-Cervera y col., 2013 ; Ronda y col., 2005).

Los polioles se utilizan en los productos alimenticios, en los que el volumen, la textura y el dulzor proporcionado por la sacarosa son importantes, como los bizcochos.

Los polioles presentan tres ventajas potenciales sobre sacarosa como edulcorantes: no promueven el desarrollo de las caries dentales, porque las bacterias no son capaces de fermentar los alcoholes de azúcar; producen una respuesta glucémica más baja que la sacarosa y son por lo tanto adecuados para los diabéticos; la mayoría de los polioles son más bajos en calorías que la sacarosa (Kroger y col., 2006). Todos ellos, alrededor de las 2 kcal/g, una cantidad menor en comparación con la sacarosa que proporciona 4 Kcal / g.

Una desventaja de los polioles es la flatulencia que producen, como resultado de su fermentación por las bacterias del colon McNutt (2002). El sorbitol es producido industrialmente por hidrogenación de glucosa derivado de almidón y de azúcar invertido y que presenta aproximadamente el 60% del dulzor de la sacarosa (Zumbe y col., 2001). El maltitol no se produce en la naturaleza y se obtiene por hidrogenación de maltosa y tiene aproximadamente el 90% del dulzor de la sacarosa (Zumbe y col., 2001). El isomaltitol es una mezcla equimolar de dos alcoholes disacáridos. Se obtiene industrialmente por hidrogenación catalítica de la isomaltolosa y presenta aproximadamente el 50% del dulzor de la sacarosa. Eritritol es un alcohol de azúcar

de 4 carbonos con alrededor de 60% a 80% del dulzor de la sacarosa que tiene una alta tolerancia digestiva debido a la falta de efecto laxante. El lactitol se obtiene a partir de la lactosa y aporta un 40% del dulzor de la sacarosa. El xilitol se obtiene por la reducción del azúcar xilosa y proporciona un 90-100% del dulzor de la sacarosa. El manitol se obtiene a partir de la fructosa y tiene un poder edulcorante en torno al 40-50% (Zumbe y col, 2001).

Diferentes investigadores han estudiado los polioles como sustitutos de la sacarosa en los productos de panadería. Lin y col. (2010) estudiaron la calidad sensorial y las características físicas de bizcochos con harina de trigo sustituyendo sacarosa por eritritol. Akesowan y col. (2009) estudiaron la sustitución de sacarosa por una mezcla de eritritol y sucralosa en bizcochos con contenido en grasa reducido, obteniendo una calidad sensorial aceptable con la proporción eritritol-sacarosa al 50%, pero no era adecuado para diabéticos. Lee y Oh (2010) estudiaron el efecto de la sustitución de 50% de sacarosa por eritritol, sorbitol o xilitol en la calidad del bizcocho. Ronda y col. (2005) estudiaron el efecto en la evaluación sensorial y las mediciones físicas de la textura, el color y el volumen específico de la sustitución de sacarosa por maltitol, manitol, xilitol, sorbitol, isomaltosa, povidexrosa y oligofructosa en bizcochos sin sacarosa. Sin embargo, estos estudios se han basado en formulaciones con trigo, pero no se han probado con harina de arroz y por tanto en productos sin gluten.

Por otro lado, el calentamiento por microondas ofrece una nueva forma de cocinar y conlleva muchas ventajas, como un menor tiempo de arranque, calentamiento rápido, eficiencia energética, ahorro de espacio, control preciso del proceso y calentamiento selectivo.

Asimismo, los productos cocidos al horno-microondas tienen algunos problemas en la calidad, como altura reducida de producto, bajo volumen, textura dura y densa, falta de color, falta de sabor y pérdida de humedad en el producto final (Sumnu y col., 2005).

Para la formación de productos en horno-microondas con volumen, textura y calidad comestible comparable como los relacionados con los convencionalmente preparados, se requiere el desarrollo de nuevas formulaciones que se pueden diseñar mediante el uso de algunos aditivos para resolver el problema de la dureza o firmeza de productos horneados en microondas. Las condiciones de procesamiento y los mecanismos de calefacción también se pueden ajustar para disminuir dureza en los panes horneados en microondas. La combinación de calentamiento y la adición de diferentes aditivos

alimentarios, tales como gomas pueden ser soluciones alternativas para mejorar la calidad de los productos cocidos en el microondas (Sumnu y col., 2000).

Recientemente se ha empezado a estudiar el desarrollo de nuevos productos de panadería con cocción en microondas (Sumnu y col., 2005; Sánchez-Pardo., 2008; Turabi y col., 2010)

El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la sustitución de azúcar por siete polioles (manitol, sorbitol, lactitol, eritritol, xilitol, maltitol e isomaltitol) en la calidad de bizcochos sin gluten, evaluada por medio de la caracterización de masa batidas (viscosidad) y el análisis del producto final (textura, propiedades morfogeométricas, color, alveolado, volumen, envejecimiento). De manera adicional se comprobó la viabilidad del microondas como método de cocción de bizcochos sin gluten, empleando la misma metodología indicada anteriormente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Para realizar este estudio, se elaboraron bizcochos a partir de los siguientes ingredientes: Huevos tamaño "L", adquiridos en el mercado local, impulsor químico "Royal Baking Powder" (Kraft Foods España Commercial S.L.U.), harina de arroz "Nomen" (Arrossaires del Delta de L'Ebre S.C.C.L), mantequilla "Central Lechera Asturiana" (Capsafood, Azúcar blanco "Azucarera" (AB Azucarera Iberia S.L.U), sal marina (Grupo Carrefour), Sorbitol (pureza del 98.6%), xilitol (99.8%), eritritol (99.5%), lactitol (96%), manitol (99.5%), isomaltitol "Isomalt" (99%) maltitol (99.8%) y y goma xantana (95%) suministrados por Cargrill (Cargrill S.r.l, Castelmassa, Italia).

3.2 Métodos

3.2.1 Formulación y elaboración de los bizcochos

La fórmula utilizada para la realización de los bizcochos, se basa en la empleada por *Turabi y col. (2010)*, para la elaboración de bizcochos sin gluten. Tras sucesivas pruebas, se optimizó la fórmula, estableciéndose finalmente la siguiente formulación para el bizcocho control (porcentajes en base harina): 100% harina de arroz, 100%

azúcar/ poliol, 25% mantequilla, 65% huevo, 3% sal, 5% impulsor químico, 1% goma xantana, 27%de agua.

Se realizaron un total de 16 elaboraciones donde se sustituyó totalmente azúcar por manitol, sorbitol, xilitol, lactitol, eritritol, maltitol, e isomaltitol. Se tomó una parte de cada elaboración para la cocción en el horno, otra para la cocción en el microondas y otra para la caracterización de las masas. Todas las elaboraciones se hicieron por duplicado.

En primer lugar se pesó y se batió el huevo con la mantequilla y el azúcar poliol con el fin de obtener una masa más aireada. Se mezclaron los ingredientes a velocidad 8 durante 1 minuto y medio. Por otro lado se pesaron los demás ingredientes y se juntaron con los anteriores en un vaso de batidora. Finalmente se batieron todos los ingredientes durante 3 minutos a velocidad 12.

Para el batido de la masa se utilizó una batidora Braun 600 Watt Turbo (Braun GmbH, Frankfurter, Germany) con 15 velocidades. El accesorio escogido para el mezclado, fueron las varillas que permitían la incorporación de aire. Todos los ingredientes fueron pesados en una balanza TE 6101 (Sartorius AG, Goettingen, Germany)

Una vez finalizada la elaboración de la masa, se separó una parte para la posterior medida de viscosidad y se pesaron 170g de masa en 6 moldes de silicona, que fueron engrasados previamente con aceite de oliva para facilitar el desmoldado.

Por un lado se hornearon los bizcochos durante 30 minutos a una temperatura de 180°C en un horno modular eléctrico marca Salva, modelo PANEL ST-99 (Dicoel S.L., Gipuzkoa, España) y por otro lado en se hornearon en un microondas Teka modelo TMW 18 BI (Teka Group, Haiger, Germany) a 180w durante 3 minutos y medio. Antes de desmoldar los bizcochos, se dejaron reposar y enfriar durante una hora. Una vez fríos se desmoldaron, dos de ellos se utilizaron para las medición en fresco y, 2 se envasaron en bolsas de plástico herméticas y se conservaron en una cámara a 20°C durante 7 días para medir vida útil y los otros 2 se congelaron para la evaluación sensorial. Con los bizcochos horneados en el microondas se procedió de igual manera.

3.2.2 Caracterización de la viscosidad de las masas batidas

Las muestras se sometieron a un ensayo rotacional (gradiente de velocidad) a través del cual se relacionó la variación de la viscosidad del batido con la velocidad de deformación. Para ello se utilizó un viscosímetro rotacional que mide la viscosidad por medio del par de fuerza requerido para rotar un husillo, sumergido en un líquido, a una velocidad constante. El par de fuerza es proporcional a la resistencia aerodinámica del husillo en el líquido, y por lo tanto a la viscosidad. La determinación de la variación de la viscosidad de las masas elaboradas a partir de harina de arroz y polioles, comenzó transcurrido un tiempo de reposo de 10 minutos, con el objeto de que la muestra recuperara la estructura de equilibrio. Se trabajó a una temperatura constante de 20 °C, regulada por un baño termostático. Posteriormente se analizó la variación de la viscosidad con la velocidad de deformación, utilizando un viscosímetro rotacional P-Selecta modelo ST-2001 (JP Selecta S.A, Barcelona, España). Para ello se encendió y calibró el aparato y se pusieron 100ml de masa en un vaso de precipitado con 150ml de capacidad que se ubicó debajo de la sonda (sonda L4). Después se ajustó la colocación de la muestra de forma que la sonda quedó completamente sumergida dentro del vaso. Se obtuvieron de esta forma los datos de viscosidad (μ , centipoises) y velocidad (ω , medida en una escala de 0.5 a 100rpm). Por último los valores se ajustaron a una ecuación potencial, siendo ω la variable independiente y μ la variable dependiente, obteniéndose un factor pre-potencial que nos indicaba de la viscosidad cuando la velocidad es 1rpm, y la potencia que nos informaba de la velocidad de descenso de la viscosidad conforme aumentaba la velocidad de deformación de las muestras.

3.2.3 Medida de las características físicas

3.2.3.1 Propiedades morfogeométricas de los bizcochos

El volumen de los bizcochos se determinó a través de un medidor de volumen BVM-L370 de la marca TexVol (Pertent Instruments, Viken, Sweden). El software para realizar dicha medida fue "BreadCalcu" que proporciona el volumen así como otras propiedades morfogeométricas. Las medidas se hicieron por duplicado.

Se midieron el altura y anchura de dos bizcochos de cada elaboración con un pie de rey digital. Se consideró la anchura constante ya que se utilizaron los mismos moldes para todas las elaboraciones. La relación altura/anchura se cuantificó para conocer la magnitud con la que aumentaba la altura de los bizcochos.

Para el análisis del índice de simetría y uniformidad, se utilizó un calibre digital para medir dos rebanadas de cada elaboración (dos bizcochos de cada elaboración)

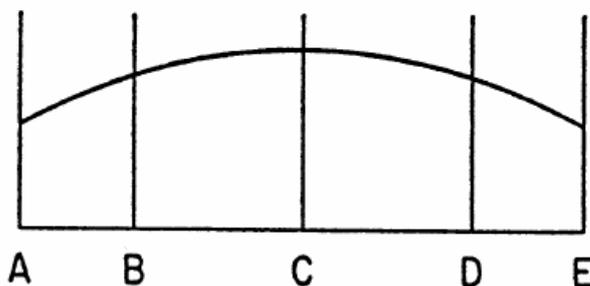


Figura 1. Plantilla para análisis de simetría y uniformidad

según el método AACCC 10-91.01, donde se toman cinco medidas para posteriormente obtener los índices de simetría. En una plantilla de 10 cm de diámetro, se hacía coincidir la base de la rebanada con la línea AE, midiendo la rebanada en A, en B, en C, en D y en E, como muestra la **Figura 1**.

Para calcular los factores de forma se siguieron las siguientes fórmulas:

Simetría: $2C - B - D$

Uniformidad: $B - D$

La pérdida de peso se obtuvo pesando, en la balanza TE 6101 (Sartorius AG, Goettingen, Germany), los seis bizcochos de cada elaboración, una vez fríos y desmoldados y se restó este peso a 170g (el peso de la masa enmoldada para hornear). Las medidas se hicieron por duplicado.

3.2.3.2 Textura de la miga

Para evaluar la textura se utilizó un texturómetro TA-XT2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software "Texture Expert" con una sonda cilíndrica de aluminio de 20mm. Se realizó un ensayo TPA, (Textura Profile Análisis) de doble compresión, sobre tres porciones de bizcocho, tomadas del centro de los bizcochos, que fueron sometidas a una deformación del 50%. Se empleó una velocidad de la sonda durante el ensayo de 1 mm/s y un tiempo de espera entre compresiones de 30 s. Estas medidas se llevaron a cabo en un bizcocho de cada tipo,

en cada una de las 2 repeticiones, y permitieron obtener datos sobre la dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia de los bizcochos. Los ensayos TPA, son específicos para la caracterización textural de los alimentos, y se correlacionan con gran éxito con las propiedades texturales determinadas sensorialmente por un panel de catadores.

3.2.3.3 Evolución de los parámetros texturales durante su vida útil

La vida útil de los bizcochos se determinó realizando un ensayo TPA, igual que el aplicado a los bizcochos fresco, sobre un bizcocho almacenado en bolsas de plástico herméticas durante siete días a 20°C (+-2°C) desde su elaboración. Las medidas se hicieron por duplicado.

3.2.3.4 Efecto de la adición de polioles en el color de la corteza

Se evaluó el color de la corteza de los bizcochos. Para ello se realizaron para cada elaboración dos medidas en cada bizcocho. El ensayo se realizó por duplicado. El color se midió con un colorímetro CN 508i de marca Minolta (Osaka, Japón), en el espacio de color CIELAB con un iluminador estándar D65 y un observador estándar 2°. Posteriormente, a partir de L^* , a^* y b^* se obtuvieron la luminosidad(L) el tono (h) y la saturación o croma (C^*), usándose el espacio de color L^*C^*h para el análisis de los resultados.

3.2.3.5 Características del alveolado de la miga

Para realizar el análisis de imagen, se escanearon, en escala de grises, dos rebanadas de dos bizcochos para cada elaboración, en un escáner HP Scanjet G3110. Estas imágenes fueron tratadas con el programa "WCIF ImageJ" tomando una sección de miga de 40x40mm. Las medidas se hicieron por duplicado.

3.2.3.6 Tratamiento estadístico de los datos

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en el experimento se utilizó un modelo lineal mixto de análisis de la varianza (McCulloch y Searle, 2001) con un factor inter-sujetos (edulcorante, con ocho niveles y dos réplicas por nivel) y un factor

intra-sujetos (tipo de cocción, con dos niveles y tres pseudo-réplicas por unidad experimental en cada tipo de cocción).

El modelo incluyó, por tanto, 4 parámetros de varianza (2 varianzas, 1 covarianza y 1 coeficiente de correlación), que fueron estimados usando el método REML de máxima verosimilitud restringida (Searle y col, 1992). Se realizó el test de normalidad de Kolmogorov y se comprobó que los residuales estaban estandarizados.

Para el ajuste del modelo se utilizó el software PROC MIXED de SAS (SAS Institute, 2010).

4. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

4.1 Caracterización de la viscosidad de las masas batidas

En la **figura 2** se muestran se muestran la evolución de la viscosidad con la velocidad de deformación de los polioles más representativos. Las masas con xilitol y eritritol muestran los valores más bajos de viscosidad a velocidades bajas, sin embargo las masas elaboradas con azúcar y el sorbitol expresan los mayores valores de viscosidad respecto al tiempo, comportándose de manera similar entre ellas dos.

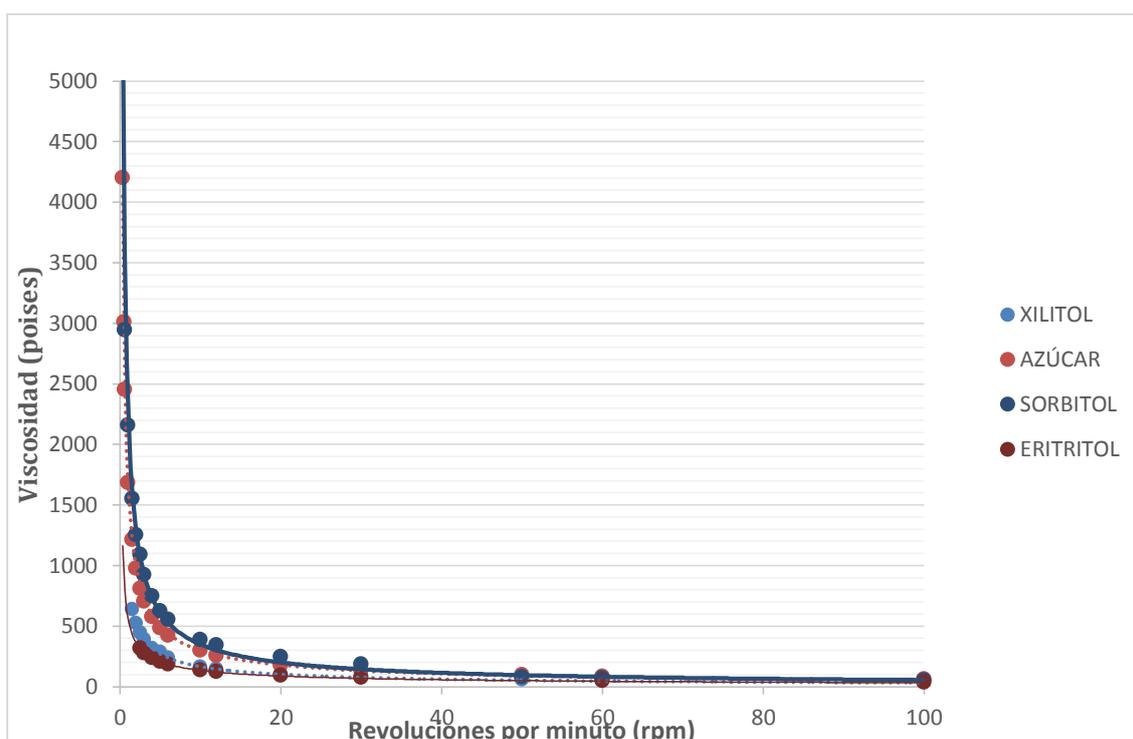


Figura 2. Evolución de la viscosidad (ρ) con la velocidad (rpm)

Los resultados de la viscosidad cuando la velocidad es 1 rpm y la velocidad a la que disminuye la viscosidad cuando la velocidad de deformación aumenta, se muestran en la **figura 3**. La mayor viscosidad se observó en los bizcochos elaborados con azúcar y todos los polioles tuvieron viscosidades menores. La velocidad a la que disminuye la viscosidad cuando la velocidad de deformación aumenta indica que las masas siguen un comportamiento pseudoplástico.

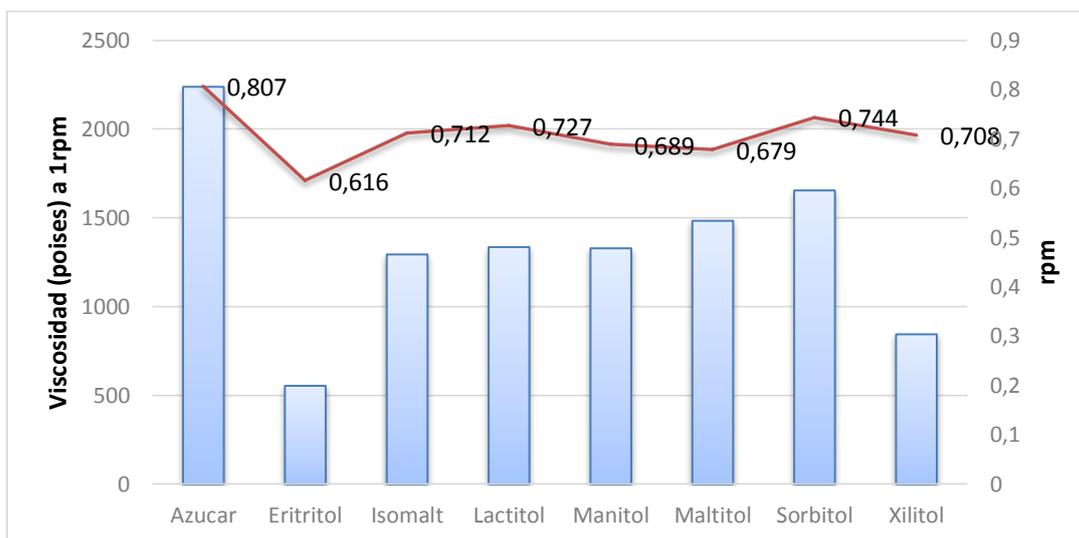


Figura 3. Viscosidad a 1 rpm (barras) y velocidad de disminución de la viscosidad cuando la velocidad de deformación aumenta.

Azúcar, maltitol, lactitol y sorbitol tuvieron una mayor viscosidad, lo que puede estar relacionado con un mayor porcentaje de vacío cuando se analizó el alveolado con una mayor calidad final de un producto horneado. Una alta viscosidad de la masa es importante, ya que ralentiza la velocidad de difusión de gas y permite su conservación durante los primeros periodos de cocción (Gómez y col., 2007). Esto está relacionado con la mayor retención de aire de la masa y una mayor expansión de las burbujas del aire retenido. Wilderjans y col., (2013) determinaron que hornear con poco azúcar o con sustitutos de azúcar provoca una pérdida de viscosidad y peso debido al bajo contenido de sólidos y una mala aireación que afecta a la estructura.

4.2 Medida de las características físicas

4.2.1 Propiedades morfogeométricas de los bizcochos

La presencia de polioles tuvo un efecto significativo sobre el volumen ($p < 0,05$) en todos los casos respecto al azúcar (**tabla 1**). Se produjo un aumento del volumen cuando se utilizó sorbitol y maltitol mientras que en el resto de casos, el efecto fue el contrario (**figura 4**). Este aumento del volumen fue del 4% tanto para el sorbitol como

para el maltitol. El bizcocho dónde mayor disminución del volumen se observó fue en el manitol, llegando la diferencia al 10% respecto al azúcar. Gómez y col., (2007) propusieron que el volumen final de los bizcochos dependía de la capacidad de retención de aire durante el horneado y del efecto sobre la temperatura de gelatinización de almidón. Esto concuerda con este estudio, siendo por ejemplo, maltitol, sorbitol y azúcar los que mayor porcentaje de alveolos poseían.

Tabla 1. Parámetros morfogeométricos de los bizcochos sin gluten según el edulcorante utilizado.

	Volumen (cm ²)	FACTORES DE FORMA				
		Simetría (mm)	I.Uniformidad (mm)	Altura (mm)	Relación anchura/altura	Pérdida de peso (g)
Azúcar	470,63 ^e	13,75 ^e	0,531 ^a	69,047 ^f	6,904 ^f	19,745 ^a
Eritritol	456,24 ^c	12,75 ^e	2,031 ^c	65,831 ^d	6,583 ^d	22,134 ^{ab}
Isomaltitol	467,71 ^{de}	7,25 ^c	1,331 ^{bc}	58,427 ^a	5,843 ^a	22,154 ^{ab}
Lactitol	461,35 ^{cd}	7,0 ^{bc}	0,831 ^{ab}	62,125 ^b	6,213 ^b	29,251 ^{cd}
Maltitol	490,87 ^f	5,5 ^{ab}	1,031 ^{ab}	67,417 ^e	6,742 ^e	30,759 ^d
Manitol	423,51 ^a	9,0 ^d	11,531 ^e	63,887 ^c	6,389 ^c	26,177 ^{bc}
Sorbitol	491,15 ^f	4,5 ^a	0,831 ^{ab}	68,685 ^f	6,869 ^f	28,384 ^{cd}
Xilitol	435,27 ^b	12,75 ^e	3,131 ^d	61,956 ^b	6,196 ^b	22,771 ^{ab}
Error estándar	3,962	0,746	0,316	0,331	0,033	1.373

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

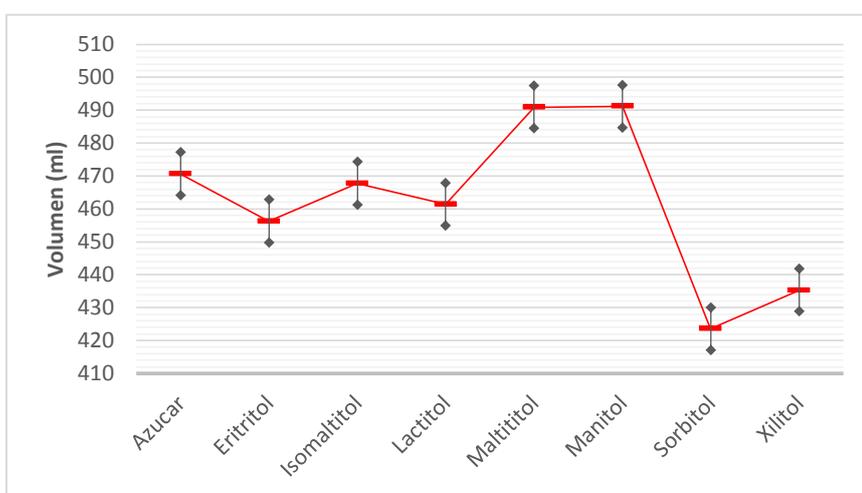


Figura 4. Efecto de los polioles en el volumen del bizcocho.

Un mayor volumen se da cuando se produce un retraso en la gelatinización del almidón durante la cocción, de modo que las burbujas de aire se pueden expandir adecuadamente y así la estructura del bizcocho resultante es altamente aireada y con

un volumen más alto (Wilderjans y col., 2013), de esta forma, una de las causas de que sorbitol y maltitol den bizcochos con volúmenes mayores, podría ser que promovieran un mayor retraso en la temperatura de gelatinización del almidón.

El análisis estadístico permitió determinar que hay diferencias significativas en el volumen de los productos, en cuanto al tipo de horneado (**tabla 2**). Cuando los bizcochos se cocinaron en el horno, el volumen fue un 11% superior que cuando se hicieron en el microondas. Esto puede explicarse por una mayor evaporización del agua y por una gelatinización más rápida del almidón durante el período de cocción en el microondas (Sumnu y col., 2005). Estos resultados son también acordes a los obtenidos por Megahey y col. (2005) y Summu y col. (2005).

Tabla 2. *Parámetros morfogeométricos de los bizcochos sin gluten según el tipo de horneado.*

	Volumen (ml)	FACTORES DE FORMA				
		I.Simetría (mm)	I.Uniformidad (mm)	Altura (mm)	Relación ancho/alto	Pérdida de peso (g)
Horno	486,09 ^b	9,93 ^a	4,000 ^a	69,139 ^a	6,914 ^a	22,219 ^b
Microondas	438,09 ^a	7,56 ^b	1,312 ^b	60,205 ^b	6,021 ^b	28,125 ^a
Error estándar	5,562	0,334	1,059	1,151	0,115	1,821

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

En la **tabla 1** se muestran también los resultados en otros parámetros morfogeométricos de las piezas. El índice de simetría es un indicador del contorno de la superficie, y los valores altos indican que el bizcocho tiene más altura en el centro que en los lados. Se observó una disminución en el índice de simetría cuando se añadían polioles, teniendo los menores índices, los bizcocho elaborados con sorbitol y maltitol. Esta disminución del índice de simetría indicó tenían una superficie más plana. En el índice de uniformidad se observó que no había diferencias significativas entre el azúcar y el lactitol, maltitol y sorbitol, siendo los más uniformes en la forma. Sin embargo si las había con el ismaltitol, eritritol, xilitol y manitol, siendo este último dónde se detectó una mayor y acusada diferencia con el resto.

La altura y en la relación anchura/altura varió significativamente ($p < 0,05$) en todos los factores de estudio menos en el sorbitol, el cual era el más parecido control, con alturas superiores al resto.

En todos los factores de forma hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre cocciones (horno y microondas), siendo los bizcochos horneados en el microondas más uniformes y simétricos que los cocinados en el horno, pero menos altos. Estos resultados son acordes a los obtenidos por Megahey y col., 2005.

La gelatinización del almidón se ve afectada por la velocidad de aumento de la temperatura en la masa durante las primeras etapas de la cocción. Así, la menor velocidad de aumento de temperatura en el interior de la masa, hace que haya más tiempo para que el volumen aumente antes de que el almidón gelatinice. En el microondas este aumento de la temperatura se produce rápidamente. Por lo tanto, la menor temperatura en el interior de la masa durante la primera parte de la cocción, como se observa en el horno, da lugar en general, a un producto final más alto (Yong y col., 2002). Esto podría ser una explicación de los volúmenes y alturas menores observados en los bizcochos horneados en el microondas.

La pérdida de peso de los bizcochos durante el horneado, que da una idea de la capacidad de retención de agua de los ingredientes que lo constituyen varió significativamente ($p < 0,05$) con los factores de estudio lactitol, manitol, maltitol y sorbitol respecto al azúcar. No hubo diferencias significativas con el eritritol, xilitol e isomaltitol, por lo que podemos determinar que son los más parecidos al azúcar en la capacidad de retención de agua aunque ninguno mejoraba la del del azúcar.

La pérdida de peso entre cocciones fue significativamente diferente ($p < 0,05$), siendo los bizcochos cocinados en el microondas los que mayor pérdida de agua conllevaron. La elevada pérdida de peso en los productos horneados de microondas en comparación con los de horno se podría explicar por la alta presión que se produce en el interior del producto, lo que hace que aumente el flujo de filtración de vapor a través del bizcocho (Sumnu y col., 2005). La pérdida de peso durante la cocción en los productos horneados de microondas también fue descrita por otros investigadores (Sakiyan y col., 2011; Seyhun y col, 2005 y Sumnu y col., 1999). La adición de goma xantana en la formulación de los bizcochos elaborados en el presente trabajo podría ser la causa de la menor pérdida de peso respecto a la observada en los estudios precedentes.

4.2.2 Textura de la miga

El efecto de la sustitución total de azúcar, por agentes de carga, en la dureza de la miga del bizcocho se muestra en la **figura 5**. Este parámetro instrumental da idea de la fuerza necesaria para comprimir un alimento entre los molares. En general, los bizcochos sin azúcar mostraron texturas más blandas que el control. Se observó que los bizcochos con menor dureza de miga eran los que llevaban en su formulación lactitol y maltitol, siendo estos, significativamente ($p < 0,05$) más blandos que el control. Se determinó además que no había diferencias significativas entre control, eritritol, isomalt, sorbitol y xilitol. La dureza varió de la misma forma respecto al control que en el estudio relazado por Ronda y col. (2005), quienes estudiaron el efecto de la sustitución de azúcar por 4 polioles en bizcochos tipo esponja de harina de trigo. Sólo los pasteles frescos hechos con manitol mostraron un marcado aumento en la dureza, con diferencias en torno al 50% con el resto de formulaciones. Ronda y col. (2005) sugirieron que esta diferencia en el manitol estaba relacionada con la alta densidad de estos bizcochos ya que en general, la dureza de la miga sigue la tendencia opuesta al volumen específico (Gómez y col. , 2010).

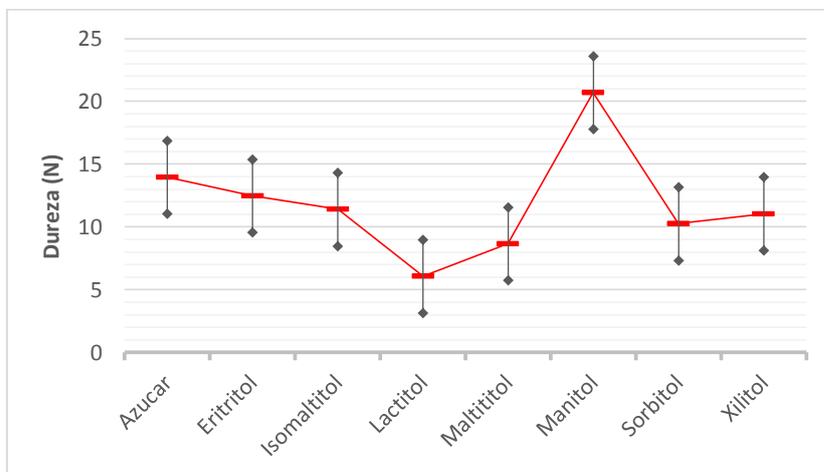


Figura 5. Efecto de la adición de polioles sobre la dureza de la miga de bizcochos sin gluten.

En el caso de la elasticidad, (**tabla 3**) que informa de la tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante, sólo se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con el control en los factores lactitol, manitol y sorbitol, siendo estos menos elásticos.

Analizando la resiliencia, que indica la capacidad de recuperación instantánea, sólo se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el azúcar y el manitol. La diferencia en este caso es muy acusada, con un valor 3 veces inferior al azúcar.

La cohesividad es la resistencia de la estructura interna del alimento, la cual se relaciona con la deformación sufrida por el alimento antes de romperse. En la cohesividad sólo hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el azúcar y el manitol, teniendo este último menor cohesividad que el resto. Este hecho está relacionado con la resiliencia y la elasticidad, que en conjunto determinan que la capacidad de recuperación de la miga del manitol es la más baja y la del azúcar la más alta.

La gomosidad presentó diferencias significativas con el azúcar ($p < 0,05$) en el caso del maltitol y lactitol, siendo en estos, menos gomosos. En la masticabilidad también se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con el azúcar en maltitol y lactitol además de en el manitol. De igual forma que en la gomosidad estos valores fueron menores que en el azúcar. Estos dos parámetros están relacionados ya que la gomosidad es la energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido antes de deglutirlo y masticabilidad es la energía necesaria para masticar un alimento hasta que esté listo para deglutirlo.

Tabla 3. Efecto de la adición de polioles sobre la textura.

	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad (N)	Masticabilidad(N)	Resiliencia
Azúcar	13,956 ^c	0,886 ^d	0,688 ^{bc}	8,936 ^{cd}	7,788 ^{de}	0,318 ^{bc}
Eritritol	12,483 ^c	0,874 ^{cd}	0,809 ^c	10,001 ^d	8,731 ^e	0,293 ^{bc}
Isomaltitol	11,412 ^{bc}	0,890 ^d	0,746 ^{bc}	8,479 ^{cd}	7,447 ^{de}	0,361 ^c
Lactitol	6,069 ^a	0,764 ^b	0,557 ^b	3,614 ^a	2,973 ^a	0,258 ^{bc}
Maltitol	8,660 ^{ab}	0,863 ^{bcd}	0,642 ^{bc}	4,823 ^{ab}	3,663 ^{ab}	0,296 ^{bc}
Manitol	20,693 ^d	0,495 ^a	0,319 ^a	8,116 ^{cd}	4,544 ^{ab}	0,099 ^a
Sorbitol	10,265 ^{bc}	0,812 ^{bc}	0,683 ^{bc}	6,180 ^{abc}	5,121 ^{bc}	0,232 ^b
Xilitol	11,056 ^{bc}	0,899 ^d	0,716 ^{bc}	7,401 ^{bcd}	6,621 ^{cd}	0,324 ^{bc}
Error estándar	1,264	0,030	0,080	1,240	0,875	0,048

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Entre cocciones no se apreciaron diferencias significativas en la dureza de los bizcochos frescos (**tabla 4**). La mayoría de artículos que han comparado microondas y horno se han centrado en la microestructura y pérdida de agua de los productos (Sumnu y col.,1999; Sánchez-Pardo y col., 2008; Turabi y col., 2010). Megahey y col.(2005) y Sumnu y col. (2005) estudiaron los parámetros texturales de muestras de bizcochos, comparando cocción en microondas y horno siendo en general, los valores de dureza para bizcochos horneados en microondas superiores a los de horno. Sin

embargo la comparación con ellos es difícil ya que los tiempos y las potencias de cocción eran diferentes. La mayor dureza en los bizcochos cocinados al microondas podría estar relacionado con la pérdida de peso (Sumnu y col., 2005) en los bizcochos, ya que los horneados al microondas tuvieron pérdidas mayores de agua durante la cocción.

Tabla 4. Efecto del tipo de horneado sobre la textura.

	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
Horno	11,134 ^a	0,781 ^a	0,580 ^a	8,084 ^a	5,072 ^a	0,250 ^a
Microondas	12,514 ^a	0,838 ^b	0,712 ^b	6,281 ^b	6,651 ^b	0,296 ^a
Error estándar	1,207	0,022	0,049	0,627	0,397	0,025

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

4.2.3 Evolución de los parámetros texturales durante su vida útil

Fueron los bizcochos elaborados con azúcar, los que mejor efecto tuvieron en el retraso del endurecimiento. La variación de la dureza al séptimo día de envejecimiento respecto a los valores de los bizcochos frescos se muestran en la **figura 6**. El xilitol y el manitol tuvieron un incremento significativo en la dureza de la miga ($p < 0,05$). Sin embargo, fue en el manitol el poliol que dio lugar a un incremento notablemente superior, mostrando, al séptimo día, un endurecimiento 6 veces superior al del azúcar. Maltitol, sorbitol, isomaltitol, eritritol y lactitol mostraron incrementos muy cercanos a los del control. Estos efectos están asociados principalmente a las diferencias en la capacidad de retención de agua de los polioles durante el almacenamiento y a sus interacciones con el almidón, las cuales afectarían a la retrogradación del almidón (Ronda y col., 2005). Ronda y sus colaboradores (2005) obtuvieron, en general, resultados similares evaluados a los 4 días en los polioles estudiados, teniendo en cuenta que en este caso el tiempo de almacenamiento fue menor.

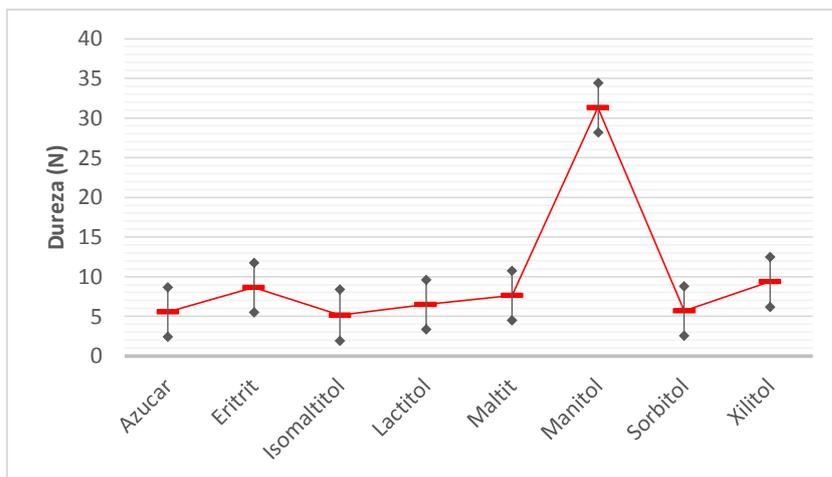


Figura 6. Efecto de los polioles en la variación de la dureza a los 7 días.

El incremento de la resiliencia (**tabla 5**) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre manitol y azúcar, siendo así, el que peor efecto en la recuperación instantánea mostró. El incremento de la cohesividad y la elasticidad indicaron que los que peor capacidad de recuperación tenían después de 30 segundos eran manitol, xilitol y eritritol.

Tabla 5. Efecto de los polioles sobre la variación de la textura a los 7 días

	Δ Dureza	Δ Elasticidad	Δ Cohesividad	Δ Gomosidad	Δ Masticabilidad	Δ Resiliencia
Azúcar	5,539 ^a	-0,095 ^{bc}	-0.2099 ^{bc}	0.07 ^{ab}	-0.7375 ^{abc}	-0.1282 ^{bc}
Eritritol	8,646 ^{ab}	-0,157 ^{ab}	-0.4447 ^a	-2.046 ^a	-2.9977 ^a	-0.1484 ^c
Isomaltitol	5,153 ^a	-0,161 ^{ab}	-0.3247 ^{ab}	-1.262 ^{ab}	-2.0463 ^{ab}	-0.1954 ^c
Lactitol	6,480 ^{ab}	-0,178 ^{ab}	-0.2843 ^{ab}	-0.092 ^{ab}	-0.5888 ^{abc}	-0.1516 ^c
Maltitol	7,650 ^{ab}	-0,104 ^{bc}	-0.2351 ^{bc}	1.314 ^{ab}	0.4918 ^{bc}	-0.1332 ^c
Manitol	31,290 ^c	0,064 ^d	-0.0791 ^c	6.497 ^c	3.9562 ^d	-0.01155 ^a
Sorbitol	5,704 ^{ab}	0,014 ^{cd}	-0.1919 ^{bc}	1.728 ^b	1.5067 ^c	-0.05305 ^{ab}
Xilitol	9,344 ^b	-0.308 ^a	-0.4378 ^a	-1.364 ^{ab}	-2.9252 ^{ab}	-0.1872 ^c
Error estándar	1,803	0,065	0,078	1,13	1.072	0,039

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Entre tipos de horneado todas las variaciones en los parámetros texturales fueron

similares y no hubo diferencias significativas exceptuando la dureza (**tabla 6**). Esto puede ser debido a que los bizcochos de microondas tienen menos humedad al haber perdido más peso durante el horneado y los fenómenos de retrogradación del almidón se suelen acelerar en esas condiciones (Ronda y col., 2005)

Tabla 6. Efecto del tipo de horneado sobre la variación de la textura a los 7 días.

	Δ Dureza	Δ Elasticidad	Δ Cohesividad	Δ Gomosidad	Δ Masticabilidad	Δ Resiliencia
Horno	9.0376 ^a	-0.1106 ^a	-0.3237 ^a	0.9153 ^a	-0.6285 ^a	-0.1106 ^a
Microondas	12.9126 ^b	-0.1207 ^a	-0.2282 ^a	0.2960 ^a	0.2068 ^a	-0.1416 ^a
Error estándar	1.301	0.033	0,049	0.689	0,547	0,019

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

4.2.4 Efecto de la adición de polioles en el color de la corteza

Los resultados de los ensayos de color se muestran en la **tabla 7**.

En la luminosidad de la corteza (L^*), todos los edulcorantes dieron lugar a resultados significativamente diferentes ($p < 0,05$) exceptuando el caso del control y xilitol, entre los cuales no se encontraron diferencias significativas (**figura 7**). En general los bizcochos fabricados con polioles diferentes del azúcar tuvieron cortezas con un valor superior en este parámetro, evidenciando una tonalidad más clara. Los bizcochos elaborados con azúcar y con xilitol fueron los más oscuros y similares entre si. Los más claros fueron los elaborados con manitol, con una diferencia del 20% respecto al azúcar, seguidos del eritritol (13%). Los demás polioles obtuvieron diferencias en torno al 5%.

En la saturación (C^*), todos los polioles tuvieron valores parecidos, excepto el eritritol. El eritritol mostró valores superiores con diferencias significativas ($p < 0,05$) al resto, lo que significa que dio como resultado colores más vivos en la corteza. Los demás bizcochos tuvieron resultados similares sin que hubiese diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

En el caso del tono (h), todos estuvieron entre el rojizo y el amarillento, más cercanos al amarillo y todos los valores fueron significativamente diferentes al control ($p < 0,05$).

En general todos los bizcochos tendían más al amarillo que el control, siendo el más semejante de nuevo el xilitol. Estos resultados son acordes a los obtenidos por Ronda y col. (2005) cuando estudiaron el efecto en el color de maltitol, manitol, sorbitol y xilitol en bizcochos esponja.

Tabla 7. Efecto de los polioles sobre el color.

	Luminosidad	Saturación	Tono
Azúcar	62,578 ^a	22,509 ^a	65.919 ^b
Eritritol	70,771 ^e	26,192 ^b	74.610 ^f
Isomalt	66,868 ^d	22,740 ^a	73.027 ^{de}
Lactitol	64,440 ^b	23,340 ^a	72.355 ^{cd}
Maltitol	65,783 ^c	23,256 ^a	71.779 ^c
Manitol	75,579 ^f	24,020 ^a	77.930 ^g
Sorbitol	66,457 ^{cd}	23,109 ^a	73.664 ^{ef}
Xilitol	62,559 ^a	22,337 ^a	64.906 ^a
Error estándar	0,411	0,484	0,779

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

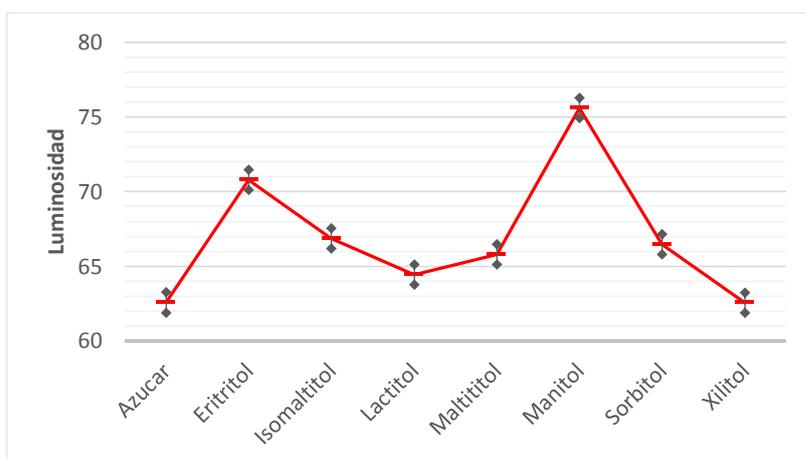


Figura 7. Efecto de la adición de polioles sobre la luminosidad

Las diferencias detectadas en el color de los bizcochos, en especial la claridad de la corteza, se pueden relacionar con el hecho de que los alcoholes de azúcar no experimentan reacciones de Maillard (Lin y col., 2010).

Entre tipos de horneado, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto en la luminosidad, como en el tono y saturación (**tabla 8**). Como era de esperar, no fue

posible observar un cambio grande de color de la corteza durante el horneado de bizcochos en el microondas, mostrando valores muy superiores en luminosidad y tono e inferiores en saturación, lo que significa que las cortezas resultaron más claras y luminosas que las de los bizcochos cocinados en horno convencional. Esto se puede explicar por los cortos tiempos de cocción y temperaturas inferiores propias de la cocción en microondas, incapaces de promover reacciones de pardeamiento (Sumnu y col., 2005).

Tabla 8. Efecto del horneado sobre el color.

	Luminosidad	Saturación	Tono
Horno	55.693 ^a	26.705 ^a	56.639 ^a
Microondas	78.065 ^b	20.166 ^b	66.166 ^b
Error estándar	1,381	0,288	0,223

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

4.2.5 Características del alveolado de la miga

Azúcar, maltitol, sorbitol y lactitol presentaron un mayor porcentaje de vacío (sin haber diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ellos), es decir poseían mayor porcentaje de alveolos (**figura 8**). Estos resultados pueden estar relacionados con las propiedades reológicas de las masas. Una mayor retención de aire puede deberse a la mayor viscosidad del batido. Esta mayor viscosidad podría ayudar a la retención de aire en las masas para pasteles y causar mayores volúmenes y valores de porosidad, sin embargo en masas con baja viscosidad, las burbujas de aire podrían subir fácilmente a la superficie y perderse en la atmósfera (Turabi y col., 2010). Esto podría estar relacionado además con la menor dureza de los bizcochos, ya que mayores porcentajes de vacío dan lugar a migas más blandas.

A pesar de que no se midió el color de la miga, el brillo de la miga puede ser un parámetro indicativo para ello, dando una idea sobre su color. El color de la miga se segrega en 256 niveles de gris otorgándose un valor medio al área de la miga estudiada. En todos los bizcochos estudiados el color tiende hacia el blanco (0 sería negro y el valor 256 sería blanco). Los más oscuros fueron sorbitol, maltitol y azúcar y los más claros manitol, eritritol e isomaltitol. Esto puede significar que los polioles, en general, dan como resultado migas más blancas que el azúcar.

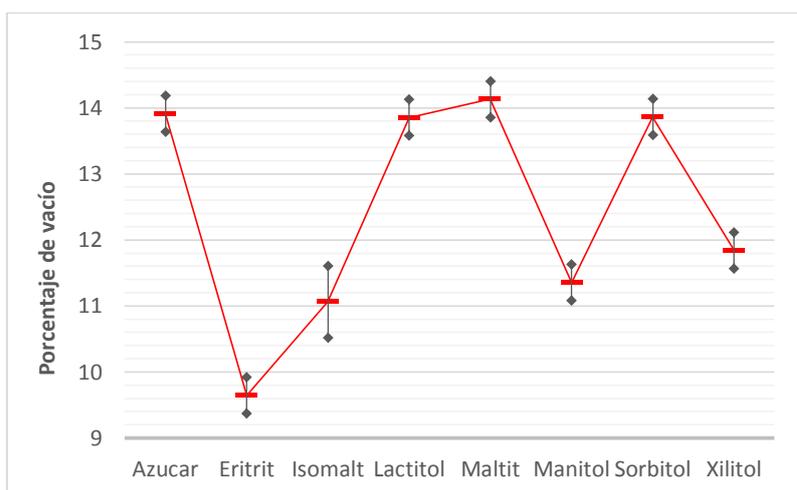


Figura 8. Efecto de la adición de polioles sobre el porcentaje de vacío de los alveolos.

Tabla 9. Efecto de los polioles sobre el alveolado.

	Porcentaje de vacío	Brillo de la miga	Espesor	Área media (cm ²)	Diámetro equivalente medio	Forma circular media	Densidad Alveolar (n°alv/cm ²)
Control	13.9137 ^d	215.68 ^{ab}	0.1335 ^c	0.37314 ^f	0.41518 ^f	0.9377 ^a	22.6846 ^a
Eritritol	9.6471 ^a	227.51 ^d	0.1355 ^c	0.10079 ^a	0.14126 ^a	0.9876 ^c	30.3348 ^d
Isomaltitol	11.0640 ^b	226.16 ^{cd}	0.1337 ^c	0.13051 ^b	0.18814 ^b	1.0034 ^d	30.3308 ^d
Lactitol	13.8540 ^d	222.77 ^c	0.1222 ^a	0.23388 ^d	0.30534 ^d	0.9680 ^b	29.1856 ^{cd}
Maltitol	14.1316 ^d	217.78 ^b	0.1247 ^{ab}	0.30892 ^e	0.35171 ^e	0.9451 ^a	27.2924 ^{bc}
Manitol	11.3546 ^b	235.63 ^e	0.1335 ^c	0.21550 ^c	0.25692 ^c	0.9756 ^b	28.1157 ^{bc}
Sorbitol	13.8607 ^d	218.76 ^b	0.1260 ^{ab}	0.22122 ^{cd}	0.27986 ^{cd}	0.9771 ^b	27.0289 ^b
Xilitol	11.8442 ^c	223.31 ^c	0.1270 ^b	0.13370 ^b	0.20071 ^b	0.9975 ^{cd}	30.7902 ^d
Error estándar	0,158	1,037	0,016	0,061	0,012	0,004	0,926

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Los bizcochos elaborados con azúcar presentaron un área media de alveolo significativamente mayor ($p < 0.05$) que los de polioles. Lo mismo ocurría en el diámetro equivalente medio donde era el azúcar el que mostraba los mayores valores. Estos datos están relacionados con estructuras más porosas y con mayores volúmenes de bizcochos (Turabi y col., 2010). Sánchez-Pardo y col. (2008)

determinaron además que la presencia de poros relativamente pequeños crea un aspecto más regular y homogéneo de la miga, como en el caso del xilitol y eritritol.

En la densidad alveolar, es decir el número de alveolos por cm^2 , también se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo el azúcar el que menor número de alveolos por centímetro cuadrado poseía (**figura 8**). Esto concuerda con los resultados obtenidos en el área media, donde las muestras con azúcar dieron lugar a los alveolos más grandes. Eritritol, isomaltitol, xilitol y lactitol obtenían los valores más bajos en este parámetro, sin que existiera diferencias significativas entre ellos.

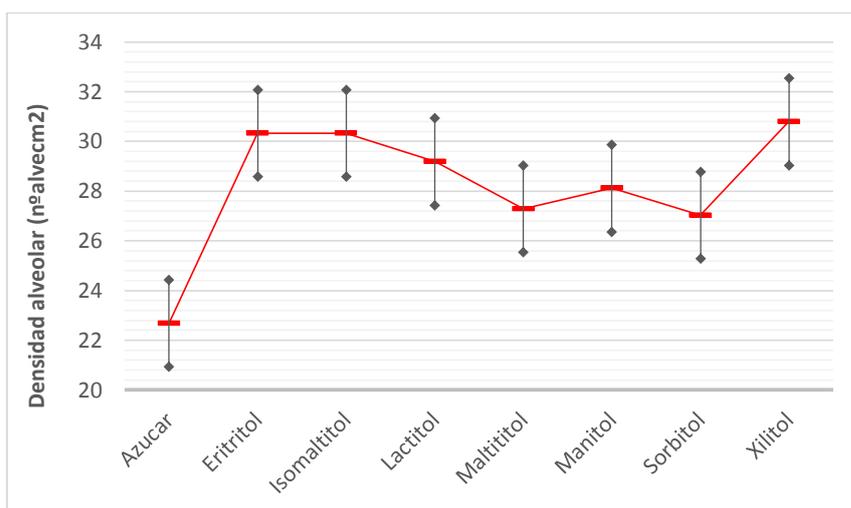


Figura 8. Efecto de la adición de polioles sobre la densidad alveolar.

Entre tipos de horneado no se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) salvo en el espesor medio de la pared del alveolo y en la forma circular media, (**tabla 10**) teniendo los alveolos de los bizcochos cocinados en el horno mayor forma circular. Sánchez-Pardo y col. (2008) analizaron la imagen de la miga de bizcochos elaborados con harina de trigo y con diferentes tipos de horneado quienes determinaron, al igual que en el presente estudio, que el tamaño de los poros en el microondas fue superior al del horno, aunque en su caso las diferencias si fueron significativas, además obtuvieron alveolos más grandes en los dos tipos de horneado. Esto se puede deber a que usaron diferente tipo de harina y diferente formulación.

Tabla 10. Efecto del horneado sobre el alveolado

	Porcentaje de vacío	Brillo de la miga	Espesor (mm)	Área media (cm ²)	Diámetro equivalente medio (mm)	Forma circular media	Densidad Alveolar (n°alv/cm ²)
Horno	12.0638 ^a	222.84 ^a	0.1344 ^a	0.193 ^a	0.23731 ^a	1.0985 ^a	28.2502 ^a
Microondas	12.8537 ^a	222.81 ^a	0.1286 ^b	0.236 ^a	0.29747 ^a	0.8495 ^b	28.1906 ^a
Error estándar	0,920	1,956	0,005	0,0408	0,038	0,163	1,127

Valores con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

5. CONCLUSIONES

La sustitución de la sacarosa por polioles de distinto tipo en la elaboración de bizcochos sin gluten, permitió la obtención de productos de características muy similares al bizcocho original. Entre los polioles evaluados, sorbitol y maltitol fueron los mejores sustitutos ya que los bizcochos elaborados con estos edulcorantes mostraron similares propiedades a las de los bizcochos elaborados con azúcar. El empleo de los citados polioles dio lugar a masas con una viscosidad semejante al original, que resultaron en una coloración típica de bizcocho, estructuras de miga aireadas, con buenos parámetros texturales y una apariencia análoga a la del bizcocho de azúcar. El manitol fue el menos adecuado para sustituir el azúcar en bizcochos sin gluten, ya que tuvo un efecto negativo sobre los parámetros texturales con un porcentaje de vacío y volumen pequeños. Además fue el poliol que menos reacciones de Maillard generó, dando coloraciones muy diferentes a las de los bizcochos elaborados con azúcar. El horneado en microondas dio como resultado bizcochos con un volumen inferior al del horneado convencional. Sin embargo la dureza y el alveolado fueron similares a los obtenidos en bizcochos con cocción en horno convencional. Las desventajas principales fueron el aumento de dureza con el paso del tiempo y el color pálido característico de la corteza, que dieron una apariencia muy diferente a las obtenidas con horno convencional. Por lo tanto, la sustitución de polioles en el horneado en microondas de bizcochos sin gluten parece tener un alto potencial para la obtención de productos en un tiempo más corto y adecuado a colectivos con alimentación especial como diabéticos y celíacos, especialmente en elaboraciones complejas (tartas y pasteles), en las que la apariencia de la corteza no es crítica. De manera adicional habría que confirmar estos resultados

mediante la valoración sensorial de los productos, atendiendo especialmente al poder edulcorante en cada uno de los casos.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Akewan, A (2009). Quality chiffon cakes prepared with reduced fat-erythritol as a sugar substitute sucralose. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (9), S1383-S1386
2. Davis, E. A. (1995). Functionality of Sugars - Physicochemical Interactions in Foods. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(1), S170-S177.
3. Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., & Rosell, C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 167-173.
4. Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C., & Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18(2), 241-247.
5. Ji, Y., Zhu, K., Qian, H., & Zhou, H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chemistry*, 104(1), 53-58.
6. Kakleas, K., Karayianni, C., Critselis, E., Papathanasiou, A., Petrou, V., Fotinou, A., & Karavanaki, K. (2010). The prevalence and risk factors for coeliac disease among children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Diabetes research and clinical practice*, 90(2), 202-208.
7. Kroger, M., Meister, K., & Kava, R. (2006). Low-calorie sweeteners and other sugar substitutes: A review of the safety issues. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(2), 35-47.
8. Kupper, C. (2005). Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*, 128(4), 121-127.
9. Lee, J. & Oh, M. (2010). Quality characteristics of sponge cakes with various sugar alcohols. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 25 (5), 615–624
10. Lin, S., Hwang, C & Yeh, C. (2010). Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose. *Journal of Food Science*, 68 (6), 2107–2110
11. Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 94-103.

12. Martínez-Cervera, S., Salvador, A., & Sanz, T. (2013) Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocolloids*(0).
13. McCulloch, C.E. and Searle, S.R. (2001). *Generalized linear and mixed models (Four Edition)*. Wiley Interscience. New York.
14. McNutt, K. (2002). Sugar-free sugar-replacer sweeteners: A small but easy-to-do factor in the obesity equation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75(2), 387S-388S.
15. Megahey, E. K., McMin, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2005). Experimental Study of Microwave Baking of Madeira Cake Batter. *Food and Bioproducts Processing*, 83(4), 277-287.
16. Miller, R. A., & Hosney, R. C. (1993). The Role of Xanthan Gum in White Layer Cakes. *Cereal Chemistry*, 70(5), 585-588.
17. Narula, P., Porter, L., Langton, J., Rao, V., Davies, P., Cummins, C., Kirk, J., Barrett, T., & Protheroe, S. (2009). Gastrointestinal Symptoms in Children With Type 1 Diabetes Screened for Celiac Disease. *Pediatrics*, 124(3), E489-E495.
18. Rojas, J. A., Rosell, C. M., & Benedito De Barber, C. (1999). Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13(1), 27-33.
19. Ronda, F., Gomez, M., Blanco, C. A., & Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549-555.
20. Sánchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., García-Zaragoza, F. J., Necochea-Mondragan, H., & Chanona-Pérez, J. J. (2012). Comparison of pound cake baked in a two cycle microwave-toaster oven and in conventional oven. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 356-362.
21. Sánchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Pérez, J. J., & Necochea-Mondragan, H. (2008). Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT - Food Science and Technology*, 41(4), 620-627.
22. Sakiyan, O., Sumnu, G., Sahin, S., Meda, V., Koksel, H., & Chang, P. (2011). A Study on Degree of Starch Gelatinization in Cakes Baked in Three Different Ovens. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1237-1244.
23. Sas Institute Inc. 2010 SAS/STAT User's Guide, Release 9.2. Cary, NC.
24. Searle S.R., Casella G. and McCulloch C.E. (1992). *Variance Components*. John Wiley & Sons. New York.
25. Seyhun, N., Sumnu, G., & Sahin, S. (2005). Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioproducts Processing*, 83(C1), 1-5.

26. Sponzilli, I., Chiari, G., Iovane, B., Scarabello, C., Gkliati, D., Monti, G., Fanciullo, L., de'Angelis, G. L., & Vanelli, M. (2010). Celiac disease in children with type 1 diabetes: impact of gluten free diet on diabetes management. *Acta bio-medica : Atenei Parmensis*, 81(3), 165-70.
27. Sumnu, G., Ndife, M. K., & Bayindirli, L. (1999). Temperature and weight loss profiles of model cakes baked in the microwave oven. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 34(4), 221-226.
28. Sumnu, G., Ndife, M. K., & Bayindirli, L. (2000). Optimization of microwave baking of model layer cakes. *European Food Research and Technology*, 211(3), 169-174.
29. Sumnu, G., Sahin, S., & Sevimli, M. (2005). Microwave, infrared and infrared-microwave combination baking of cakes. *Journal of Food Engineering*, 71(2), 150-155.
30. Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapcevic, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), 626-632.
31. Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2008). Optimization of Baking of Rice Cakes in Infrared-Microwave Combination Oven by Response Surface Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 1(1), 64-73.
32. Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 755-762.
33. Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30(1), 6-15.
34. Yong, Y. P., Emery, A. N., & Fryer, P. J. (2002). Heat Transfer to a Model Dough Product During Mixed Regime Thermal Processing. *Food and Bioproducts Processing*, 80(3), 183-192.
35. Zumbe, A., Lee, A., y Storey, D. (2001). Polioles en Confitería la ruta de azúcar, azúcar reducida y reducida en calorías confitería. *British Journal of Nutrition* , 85, S31-S45.