

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO  
NATURAL



## *Optimización de la composición de azúcares para magdalenas más saludables*

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA  
AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNA: ANDREA ECHEVARRÍAS MARCO

TUTORAS UPV: MARISA CASTELLÓ GÓMEZ

M<sup>a</sup> DOLORES ORTOLÁ ORTOLÁ

SUSANA RUBIO ARRAEZ

*Curso Académico: 2016-2017*

**VALENCIA, Junio de 2017**



**Título: *Optimización de la composición de azúcares para magdalenas más saludables***

**Resumen**

Este Trabajo Fin de Grado se presenta como respuesta al creciente interés de la sociedad actual por una alimentación más saludable. Para ello, se desea optimizar la formulación en azúcares de bollería a base de masas batidas. Se realizó un diseño experimental de mezclas para determinar la/s combinaciones óptimas de los azúcares (isomaltulosa, oligofruktosa y sacarosa) que permitan obtener productos de calidad organoléptica y nutricional.

Se analizó la influencia de la sustitución de la sacarosa en diversos parámetros que condicionan la calidad de las magdalenas, como son la actividad del agua, la humedad, propiedades mecánicas, propiedades ópticas, calorimetría y estructura de las magdalenas. Se concluyó, que es posible sustituir parcialmente la sacarosa por una combinación de isomaltulosa y oligofruktosa a partes iguales. Esta formulación presentó características muy similares a las magdalenas tradicionales (100% sacarosa).

**Palabras clave**

Bollería, magdalenas, masas batidas, isomaltulosa, sacarosa y oligofruktosa

**Títol: *Optimització de la composició de sucres per a magdalenes més saludables***

**Resum**

Aquest Treball Fi de Grau es presenta com a resposta al creixent interès de la societat actual per una alimentació més saludable. Per a això, es desitja optimitzar la formulació en sucres de bollería a a base de masses batudes. Es va realitzar un disseny experimental de mescles per a determinar la/s combinacions òptimes dels sucres (isomaltulosa, oligofruktosa i sacarosa) que permeten obtindre productes de qualitat organolèptica i nutricional. Es va analitzar la influència de la substitució de

la sacarosa en diversos paràmetres que condicionen la qualitat de les magdalenes, com són, l'activitat de l'aigua, la humitat, propietats mecàniques, propietats òptiques, calorimetria i estructura de les magdalenes. Es va concloure, que és possible substituir parcialment la sacarosa per una combinació d'isomaltulosa i oligofructosa a parts iguals. Esta formulació va presentar característiques molt semblants a les magdalenes tradicionals (100% sacarosa).

#### **Paraules clau**

Bollería, magdalenes, masses batudes, isomaltulosa, sacarosa i oligofructosa

**Title: *Optimization of sweetener composition for healthier muffins***

#### **Abstract**

This End of Grade Work is presented in response to the growing interest of today's society for a healthier diet. For this purpose, it is desired to optimize the formulation in bakery sugars based on whipped doughs. An experimental design based on mixtures was carried out to determine the optimal combinations of sugars (isomaltulose, oligofructose and sucrose) to produce products of organoleptic and nutritional quality.

The influence of sucrose substitution on various parameters that affect the quality of muffins, such as water activity, moisture, mechanical properties, optical properties, calorimetry and structure of muffins were analyzed. It was concluded that it is possible to partially substitute sucrose for a combination of isomaltulose and oligofructose in equal parts. This formulation presented characteristics very similar to traditional muffins (100% sucrose).

#### **Keywords**

Pastries, muffins, whipped dough, isomaltulose, saccharose and oligofructose.

“Si tienes un sueño tienes que protegerlo. Las personas que no son capaces de hacer algo te dirán que tú tampoco puedes.”

En busca de la felicidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ponemos fin a esta etapa, la que tanto esfuerzo me ha costado superar pero que me ha regalado momentos muy buenos. Pero, sobre todo, me quedo con las personas que la han vivido a mi lado.

Gracias a mis padres, que han hecho todo esto posible y me han apoyado cuando ni yo creía que podía conseguirlo. También a mi hermano, por sus palabras de aliento en todo momento.

Gracias María, a ti te debo mucho de lo que soy hoy en día. Y a Pablo, por saber qué decir y apoyarme incondicionalmente.

Gracias a los profesores que de una manera u otra, han hecho que me haya encantado la carrera. En especial agradecerle a Marisa y Loles por creer en mí y ayudarme en este trabajo.

Gracias a mis compañeros de laboratorio Juanma, Ana y María, por hacer más amenas las horas allí. A Susana por todos los consejos que me ha dado.

Gracias a mis compañeros, que han pasado a formar parte de mi familia. A Ignacio, Antonio, María, Mireia y Pepe por haber hecho que estos cuatro años sean los más intensos que he vivido hasta el momento y por enseñarme a ver la vida de una manera mucho más sana. A Sergio, por los cafés improvisados cuando no podíamos estudiar más. A César, por enseñarme a ser más responsable y ser mi apoyo incondicional día a día.

Cuando se cierra una etapa, otra empieza. Lo mejor está por llegar.



# ÍNDICE GENERAL

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>SITUACIÓN DEL SECTOR DE LA BOLLERÍA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>POSIBLES ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE AZÚCARES EN EL SECTOR.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>PREPARACIÓN DE LAS MAGDALENAS Y FORMULACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....</b>	<b>7</b>
2.2.1	Actividad del agua ( $a_w$ ) .....	7
2.2.2	Humedad .....	7
2.2.3	Gelatinización del almidón .....	7
2.2.4	Análisis de imagen.....	8
2.2.5	Altura.....	8
2.2.6	Propiedades mecánicas.....	8
2.2.7	Reología.....	9
2.2.8	Propiedades ópticas .....	10
2.2.9	Análisis sensorial .....	10
<b>2.3</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>HUMEDAD Y ACTIVIDAD DE AGUA .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>ALTURA DE LAS MAGDALENAS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISIS DE IMAGEN .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS.....</b>	<b>17</b>
3.5.1	Reología de las masas.....	17
3.5.2	Textura de las magdalenas.....	19
<b>3.6</b>	<b>PROPIEDADES ÓPTICAS .....</b>	<b>20</b>
<b>3.7</b>	<b>ANÁLISIS SENSORIAL.....</b>	<b>22</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>25</b>
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>ANEJO.....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

- Figura 1.1.** Volumen y valor económico de los segmentos de la pastelería en España (MAPAMA, 2016) ..... 1
- Figura 3.5.** Reogramas obtenidos del ensayo estacionario de diferentes formulaciones de magdalenas. Las muestras fueron codificadas según el contenido en azúcares Control (100% sacarosa), 100I (100% isomaltulosa) y 100O (100% oligofruktosa). .....18
- Figura 3.6.** Curvas medias de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdidas ( $G''$ ) de las masas de magdalenas formuladas con sacarosa (control), isomaltulosa (100I) u oligofruktosa (100O). .....19
- Figura 3.7.** Valores de dureza y elasticidad para las diferentes formulaciones estudiadas. Las letras iguales corresponden a los grupos homogéneos. ....20
- Figura 3.8.** Planos cromáticos  $b^*-a^*$  de la parte exterior y de la parte interior de las magdalenas y luminosidad en función de las formulaciones estudiadas. ....21
- Figura 3.9.** Resultados del análisis sensorial con la escala hedónica de magdalenas elaboradas con diferentes porcentajes de azúcares. Los valores del cociente F-ratio obtenidos del ANOVA para analizar el efecto significativo de las formulaciones sobre los atributos se presentan entre paréntesis. \*Nivel de significancia del 95% y \*\*Nivel de significancia del 99%. ....23
- Figura 3.10.** Resultados del análisis sensorial con la escala Just About Right de magdalenas elaboradas con diferentes porcentajes de azúcares. .24

## ÍNDICE DE TABLAS

---

**Tabla 1.2.** Tabla resumen de los posibles azúcares y edulcorantes que se pueden emplear en el sector de la bollería en la que se muestrn sus características más importantes..... 3

**Tabla 2.1.** Nomenclatura de las formulaciones estudiadas en función del porcentaje de isomaltulosa, oligofructosa y sacarosa considerados en la proporción de azúcares de las magdalenas..... 7

**Tabla 3.1.** Parámetros térmicos de la masa de las magdalenas estudiadas considerando como azúcares: sacarosa (Control), isomaltulosa (100I) y oligofructosa (1000).....14

**Tabla 3.4.** Área de las magdalenas y los alveolos para cada formulación..17

**Tabla 3.5.** Parámetros de los modelos oscilatorio y estacionario del estudio reológico..... 19

# 1. INTRODUCCIÓN

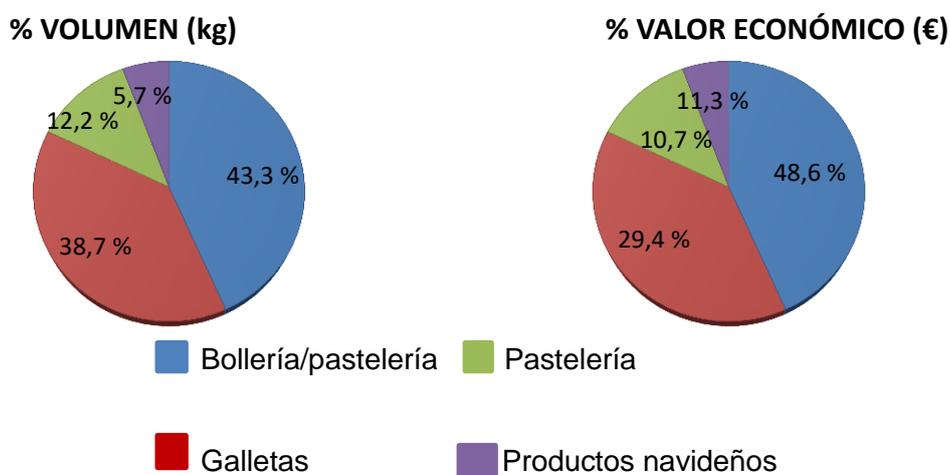
## 1.1 SITUACIÓN DEL SECTOR DE LA BOLLERÍA

La bollería industrial se consume de forma habitual en diferentes segmentos de la población. En el caso de España, el consumo per cápita anual de estos productos alcanza los 5,99 kg (MAPAMA, 2016).

La ingesta elevada de estos productos conlleva grandes aportes de azúcares, grasas saturadas y un elevado valor calórico. Este factor puede desencadenar problemas como caries dentales (Sierra et al., 2016; Núñez, 2010), diabetes y obesidad (Martínez, 2017). Por estos motivos, en la actualidad, el consumidor se inclina más por alimentos seguros y de elevada calidad nutricional y funcional (Pérez, 2017).

En la actualidad, la dieta de la sociedad Española incluye nuevos hábitos basados en la salud, el bienestar y la carencia de elementos que redundan negativamente en la vida diaria del consumidor (Murcia, 2016).

En términos de volumen y por orden de importancia, en el sector de la pastelería industrial, la bollería y la pastelería son las que mayor proporción representan con el 43,3% sobre el total del mercado; le siguen las galletas con el 38,7%, siendo los demás tipos más minoritarios. En el caso de productos navideños, su cuota en volumen es de tan solo un 5,7%, mientras que en valor esta categoría casi duplica su participación con una cuota del 11,3% (MAPAMA, 2016).



**Figura 1.1.** Volumen y valor económico de los segmentos de la pastelería en España (MAPAMA, 2016).

Resulta evidente, dado todo lo expuesto anteriormente, el creciente interés de las empresas por crear alimentos con propiedades más saludables para satisfacer la demanda (Aidoo et al., 2013). En el sector de la bollería, uno de los ingredientes que más afectan a la imagen que tienen los consumidores sobre los productos es el azúcar. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda reducir la ingesta de azúcares libres a menos del 5% del contenido calórico total ya que un consumo de los mismos superior al 10% produce tasas más elevadas de caries dental y otros problemas de salud (OMS, 2015).

Tal es la preocupación actual sobre el elevado consumo de azúcares que, en Comunidades Autónomas como Cataluña, se ha aplicado un nuevo gravamen sobre las bebidas azucaradas según el cual estas bebidas sufren un incremento en su precio de hasta un 20% con lo que se espera una reducción del consumo de las mismas (Villaécija, 2017). En consecuencia, otros sectores de alimentación que utilizan como ingredientes mayoritarios los azúcares también pueden en un futuro verse afectados.

## **1.2 POSIBLES ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE AZÚCARES EN EL SECTOR**

Hay diversas alternativas a los azúcares que se emplean en el proceso de elaboración de magdalenas, tanto intensivos (sacarina, ciclamato, aspartamo, Acesulfame K...) como de volumen, entre los que se encuentran los polialcoholes (sorbitol, maltitol, lactitol...). Éstos se obtienen, en muchos casos, de un jarabe de glucosa empleando tecnología de enzimas, que es posteriormente hidrogenado (Edwards, 2002). En la tabla 1.2. se presentan las características de muchos de los edulcorantes utilizados actualmente.

**Tabla 1.2.** Tabla resumen de los posibles azúcares y edulcorantes que se pueden emplear en el sector de la bollería en la que se muestran sus características más importantes.

	<b>Compuesto</b>	<b>Poder edulcorante (PE)</b>	<b>Índice glucémico (IG)</b>	<b>Kcal/g</b>	<b>Cariogénico</b>	<b>Otros</b>	<b>Fuente bibliográfica</b>
<b>Hidratos de carbono</b>	Sacarosa	1	61-65	4.0	Sí	Obesidad, caries, diabetes entre otros problemas de salud.	OMS
	Glucosa	0.5	100	4.0	Sí	Metabolismo independiente a la insulina	Edwards, (2002)
	Isomaltulosa	0.33	32	4.0	No	Formato cristalino similar a la sacarosa. Uso "spoon-spoon"	Lina et al., (2002); Holub et al., (2010)
	Fructosa	1-2	23	4.0	Sí	Tiene un metabolismo independiente de la insulina.	Edwards, (2002)
	Azúcar invertido	1.3	30	4.0	Sí	Alta estabilidad biológica	Edwards, (2002)
	Jarabe de maíz de alta fructosa	1-1.3	30	4.0	Sí	Aumenta la resistencia del organismo a la insulina. Enfermedades metabólicas: obesidad, colesterol y diabetes insulino dependiente (tipo 2).	Rippe et al., (2013); Maldonado y Zaragoza, (2015); García-Almeida et al., (2013); Blakely et al., (1981); Blakely et al., (1995); Halimi, (2010)
	Jarabe de ágave	2.0	20	3.1	Sí	Por tener un elevado contenido en fructosa no estimula la producción de insulina. Puede tener una influencia positiva en el aumento de peso y control de glucosa.	Hooshmand et al., (2014)
	Jarabe de arce	2.0	50	2.60	Sí	Rico en minerales como el calcio, potasio y en menor cantidad zinc.	Edwards et al., (2016)
	Miel	1.3	57	3.04	Sí	Ayuda a la prevención y tratamiento de enfermedades respiratorias e intestinales	Edwards et al., (2016)

	Oligofructosa	0.3-0.6	Bajo	2	No	Mejora la absorción del calcio y reduce el colesterol y los niveles de azúcar en sangre. Además, presentan efecto prebiótico porque favorece selectivamente el crecimiento de las bacterias lácticas y bifidobacterium	Chacón, (2006); Ledur <i>et al.</i> , (2013). García-Almeida et al, (2013)
	Inulina	0.3-0.6	Bajo	2	No	Contenido importante en diversos minerales, vitamina C y vitaminas del grupo B.	García-Almeida et al., (2013)
<b>Polialcoholes</b>	Xilitol (E-967)	1	12	2.4	No	Efecto laxante y provocan flatulencias	Edwards, (2002)
	Maltitol (E-965)	1	35-52	2.1	No		
	Sorbitol (E-420)	0.6	9	2.6	No		
	Manitol (E-421)	0.5-0.72	2	1.6	No		
	Lactitol (E-966)	0.35-0.5	3	2.4	No		
	Eritritol (E-968)	0.75	1	0.2	No	Se excreta vía renal	
<b>Edulcorantes intensivos</b>	Aspartamo (E-951)	160-200	0	4.0	No	IDA: 50 Se descompone con el calor y existen grandes controversias sobre su seguridad. Puede causar dolores de cabeza y mareos.	García-Almeida et al., (2013) Johnson et al., (2014)
	Sucralosa (E-955)	600	0	0	No	No se descompone con el calor.	García-Almeida et al, (2013)
	Sacarina (E-954)	300	0	0	No	No tolera altas temperaturas y tiene regusto amargo	
	Acesulfame k (E-950)	200	0	0	No	No se metaboliza y se elimina sin modificaciones.	
	Ciclamato (E-952)	30-50	0	0	No	Estable al calor y larga vida de almacenamiento. Uso prohibido en EEUU por asociación al desarrollo de tumores de vejiga.	
	Steviósidos (E-960)	300	0	0	No	Sabor más lento al comienzo y una duración más prolongada.	

IDA: Ingesta diaria recomendada (mg/kg peso/día).

Tradicionalmente, en el sector de la bollería se ha empleado la sacarosa como edulcorante principal. Pero como puede observarse en la tabla anterior, hay gran variedad de edulcorantes en el mercado. Si únicamente se observara el poder edulcorante, el índice glucémico, el aporte calórico y la cariogénesis, sería evidente que los edulcorantes más adecuados para la salud son los intensivos. Sin embargo, el papel de estos edulcorantes en el riesgo de contraer algún tipo de cáncer ha sido ampliamente debatido en las últimas décadas (Durán et al., 2011). Además, los edulcorantes intensivos no aportan propiedades estructurales a las matrices alimentarias, por lo que a nivel tecnológico es necesario combinarlos con edulcorantes de volumen.

Por otro lado, los polialcoholes tienen aportes calóricos más bajos y no son cariogénicos, pero pueden producir un efecto laxante. Este efecto es causado porque al ingerir dichos edulcorantes no son absorbidos y se desplaza el equilibrio osmótico del interior del intestino (Edwards, 2002).

Uno de los principales problemas de los hidratos de carbono son las caries dentales. Éstas se producen por interacción de las bacterias de la boca con la glucosa (Núñez y García 2010). Dentro de los hidratos de carbono, existen alternativas que subsanan el problema de la caries dental y del elevando índice glucémico, estos son la isomaltulosa, la oligofruktosa y la inulina. En este trabajo, los estudios se han centrado en el reemplazo de la sacarosa en la formulación de magdalenas por isomaltulosa y oligofruktosa.

Concretamente la oligofruktosa es un oligosacárido derivado de la sacarosa el cual actúa como fibra dietética regulando el tránsito gastrointestinal. Mejora la absorción de calcio y reduce los niveles de azúcar en sangre y el colesterol (Chacón, 2006). Además, presenta efecto prebiótico porque favorece selectivamente el crecimiento de las bacterias lácticas (Ledur et al., 2013). El reemplazo de carbohidratos con oligofruktosa ofrece la ventaja de no comprometer el sabor y la textura, mientras que mejora sus cualidades nutricionales (Frank, 2002).

En cuanto a la isomaltulosa se trata de un disacárido compuesto por glucosa y fructosa. Dicho azúcar es de origen natural, como también lo es la oligofruktosa, y no es cariogénico. Según estudios, la isomaltulosa se hidroliza de manera correcta en humanos produciéndose dicha hidrólisis

mucho más lentamente que en el caso de la sacarosa por lo que su índice glucémico es menor (Lina et al., 2002).

Por ello, el objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es evaluar el efecto de la sustitución total o parcial de la sacarosa en magdalenas por diferentes combinaciones de isomaltulosa y oligofruktosa sobre las propiedades reológicas y calorimétricas de la masa y sobre el aspecto, altura, propiedades ópticas y mecánicas, así como la aceptación sensorial del producto final.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 PREPARACIÓN DE LAS MAGDALENAS Y FORMULACIONES**

La preparación de las magdalenas se llevó a cabo utilizando 21,7% (p/p) de huevos, azúcares (sacarosa, isomaltulosa o oligofruktosa), harina y aceite de girasol, junto con 10.85% de leche entera y un 2.35% de gasificantes (bicarbonato sódico, ácido málico, ácido tartárico). En primer lugar, se mezclaron los huevos, el azúcar y el bicarbonato sódico durante 20 minutos a máxima velocidad en una batidora eléctrica (Kenwood, modelo KM240 serie, Reino Unido). A continuación, se añadió el aceite, la harina, la leche y los ácidos tartárico y málico durante 10 minutos a mínima velocidad. Después, se dejó reposar la masa durante 20 minutos antes de rellenar los moldes de papel (60x35 mm) con 65 g de masa. Por último, las magdalenas se hornearon 25 minutos a 145 °C.

En este trabajo se estudiaron diez formulaciones diferentes de magdalenas variando el contenido en sacarosa, isomaltulosa y oligofruktosa. La composición en términos del porcentaje de azúcares de cada una de estas formulaciones se presenta en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Nomenclatura de las formulaciones estudiadas en función del porcentaje de isomaltulosa, oligofruktosa y sacarosa considerados en la proporción de azúcares de las magdalenas.

<b>Formulación</b>	<b>Isomaltulosa</b>	<b>Oligofruktosa</b>	<b>Sacarosa</b>
<b>100I</b>	100	0	0
<b>67I 33O</b>	67	33	0
<b>67I 33S</b>	67	0	33
<b>33I 67O</b>	33	67	0
<b>33I 33O 33S</b>	33	33	33
<b>33I 67S</b>	33	0	67
<b>100O</b>	0	100	0
<b>67O 33S</b>	0	67	33
<b>33O 67S</b>	0	33	67
<b>Control (100S)</b>	0	0	100

## **2.2 DETERMINACIONES ANALÍTICAS**

### **2.2.1 Actividad del agua ( $a_w$ )**

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

### **2.2.2 Humedad**

El análisis de contenido de agua de las magdalenas se llevó a cabo mediante el método gravimétrico AOAC 2000 por triplicado.

### **2.2.3 Gelatinización del almidón**

Con el objetivo de estudiar la influencia de la sustitución de la sacarosa en la capacidad para gelatinizar el almidón de las magdalenas se realizó un análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC). De esta forma, se pudo registrar la energía consumida en la etapa de gelatinización, mediante el área de los picos registrados en los termogramas. Este proceso se llevó a cabo sobre las tres muestras preparadas con un único azúcar

(100% Isomaltulosa, 100% Oligofructosa y 100% Sacarosa (control)) con el equipo (Perkin Elmer DSC-7, Norwalk, USA). Para ello, se pesaron 20 mg de masa en crisoles de acero. Se realizó un barrido de temperatura de 5 °C/min hasta llegar a 110 °C. Los parámetros extraídos por el software PE Series-DSC7 del equipo fueron: la temperatura inicial del pico ( $T_o$ ), la temperatura de gelatinización o temperatura a la que se produce el máximo del pico ( $T_p$ ), la temperatura al final de la curva ( $T_f$ ) y la entalpía ( $\Delta H$ ) para cada una de las masas. Las muestras se analizaron por triplicado.

#### **2.2.4 Análisis de imagen**

Con el objetivo de poder evaluar el porcentaje de alveolos presentes en las magdalenas en función de los azúcares estudiados, las muestras fueron cortadas perpendicularmente a la base y proyectadas sobre un escáner (HP Deskjet 3637). Para analizar las imágenes, se empleó el Software libre ImageJ (National Institutes Health, Bethesda, MD, U.S.A.) que permitió obtener tanto el área total del corte como el área de los alveolos. Se realizaron tres análisis de imagen para cada formulación.

#### **2.2.5 Altura**

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

#### **2.2.6 Propiedades mecánicas**

Para el análisis de la textura se realizó un corte horizontal de la parte superior de la magdalena para eliminar la corteza y además obtener una superficie uniforme. A continuación, se obtuvieron cilindros de 40 mm de altura y 40 mm de diámetro mediante un sacabocados. Una vez obtenidos estos cilindros uniformes, se analizó la textura de las magdalenas con una prensa universal (Analizador de textura TA.XT.plus, Microsystems estable, Godalming, Reino Unido) realizando un estudio de doble compresión TPA (Texture Profile Analysis). Para ello, se usó una sonda cilíndrica con 40 mm de diámetro en su base circular. Las condiciones del ensayo fueron las siguientes: deformación hasta el 50% (penetración de su altura original) a

una velocidad de 1 mm/s y un intervalo de 30 segundos entre compresiones. Se realizaron cinco repeticiones por cada formulación. Los parámetros obtenidos fueron: dureza y elasticidad.

### 2.2.7 Reología

Las propiedades reológicas de las masas batidas se analizaron mediante un reómetro (RheoStress 1, Haake) llevado a cabo con un sistema de medida placa-placa con una ranura entre las placas de 1 mm. Como en el caso del análisis de calorimetría diferencial de barrido, sólo se estudiaron las formulaciones preparadas con un único azúcar para ver cómo afecta la sustitución total de la sacarosa por oligofructosa e isomaltulosa.

Concretamente, se realizaron dos ensayos: el estacionario y el oscilatorio. En el ensayo estacionario se estudió el comportamiento pseudoplástico de las masas batidas consideradas. Para ello, los resultados se modelizaron con la ecuación de Herschel-Bulkley (ecuación 1). Este modelo puede describir el comportamiento de fluidos Newtonianos y no Newtonianos independientes del tiempo.

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

Donde:

$\tau$  (Pa): Tensión de cizallamiento.

$\tau_0$  (Pa): Tensión umbral para que el fluido comience a fluir.

$\kappa$  (Pa·s<sup>n</sup>): Índice de consistencia.

$\dot{\gamma}$  (s<sup>-1</sup>): Velocidad de cizallamiento.

n: Índice de fluidez.

Por otro lado, el ensayo oscilatorio permite caracterizar a los fluidos pseudoplásticos y dilatantes. En este caso, se consideran los términos del módulo de almacenamiento (G') y del módulo de pérdidas (G'') en la región viscoelástica lineal siguiendo los modelos establecidos por las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

$$G' = a \cdot \omega^b \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

a (Pa<sup>b</sup>)= Módulo de almacenamiento a baja frecuencia.

$\omega$  (rad·s<sup>-1</sup>)= Velocidad angular.

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

$$G''=c \cdot \omega^d \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

c (Pa<sup>d</sup>)= Módulo de pérdida a baja frecuencia.

$\omega$  (rad·s<sup>-1</sup>)= Velocidad angular.

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

Según estas ecuaciones, se puede determinar el comportamiento del fluido:

$G' > G''$  Comportamiento semisólido, es decir, será más elástico que viscoso.

$G' = G''$  Solución concentrada.

$G' < G''$  El alimento es como un semilíquido y se comporta como una disolución diluida.

### **2.2.8 Propiedades ópticas**

Para realizar las medidas de color de la corteza y de la parte interna de las magdalenas, se empleó un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM - 3600d, Tokio, Japón). Los resultados fueron expresados según el sistema de referencia CIE L\*a\*b\* con el iluminante D65 y un ángulo de visión de 10°. Se determinaron la luminosidad L\*, la coordenada a\* ((+) dirección del rojo y (-) dirección del verde), la coordenada b\* ((+) dirección del amarillo y (-) dirección del azul).

El color de la corteza se midió directamente de la parte superior de las doce magdalenas de cada lote de horneado. En cambio, el color de la parte interna, se midió directamente sobre una de las bases de los cilindros descritos para el análisis de textura antes de analizarla, por quintuplicado.

### **2.2.9 Análisis sensorial**

La posible aceptación de dos tipos de magdalenas formuladas con los azúcares estudiados en este trabajo (67I33O: 67 % Isomaltulosa 33 % Oligofruktosa y 33I33O33S: 33 % Isomaltulosa 33 % Oligofruktosa 33 % Sacarosa), respecto a las magdalenas formuladas sólo con sacarosa (control) se llevó a cabo mediante un panel compuesto por 57 catadores, todos ellos empleados o estudiantes de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) con edades comprendidas entre 18 y 65 años. Este estudio se realizó en un laboratorio sensorial con cabinas individuales (ISO 8589,1988) del Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el

Desarrollo (IUIAD). Las muestras fueron presentadas a los catadores simultáneamente, estando codificadas con números aleatorios de tres dígitos. Se valoraron el aspecto, el color (exterior e interior), el aroma, la textura, la esponjosidad y el sabor de cada formulación en una escala hedónica de nueve puntos (ISO 4121:2003 y UNE-87025:1996) considerando distintos niveles desde "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho". También se evaluaron estos parámetros según el test Just About Right (JAR) para conocer si preferirían mayor o menor intensidad de los atributos analizados. En el anexo I se muestra la ficha utilizada para el análisis.

### **2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el programa Statgraphics Centurión versión XVI.I (2013). Por un lado, se realizaron Análisis de la Varianza para evaluar el efecto de la formulación sobre los diferentes parámetros analizados.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

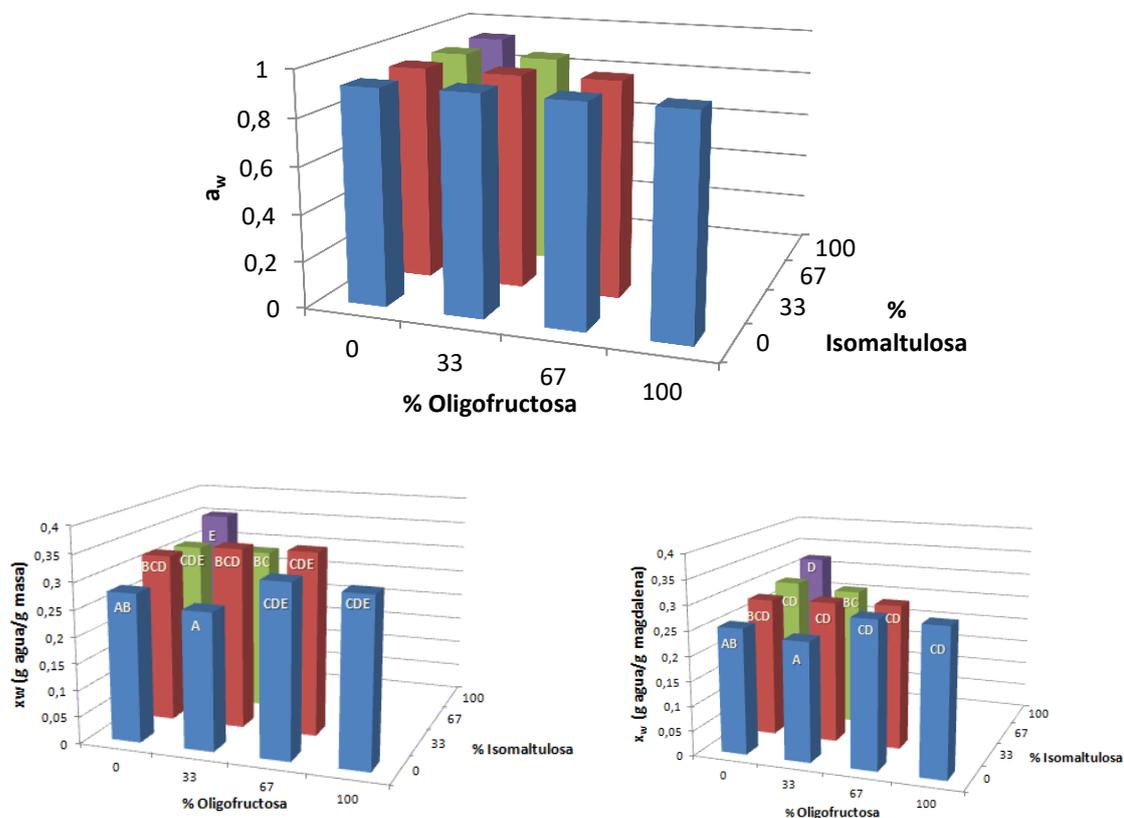
### **3.1 HUMEDAD Y ACTIVIDAD DE AGUA**

En la figura 3.1 se presentan los resultados de actividad de agua y humedad de las formulaciones estudiadas. Como puede observarse, los valores de  $a_w$  estaban en todos los casos en torno a  $0.925 \pm 0.003$ , por lo que la sustitución de la sacarosa por las diferentes alternativas estudiadas no modificó significativamente este parámetro. Desde un punto de vista fisicoquímico, la actividad de agua presentó valores próximos a los que se dieron en otros estudios de magdalenas (Channaiah et al., 2017).

Respecto a la humedad, tanto de la masa como en el producto terminado, sí se registraron diferencias significativas. Esto se puede deber a que tanto la isomaltulosa como la oligofructosa afectan al contenido en humedad, tal como se muestra en la figura 3.1.

En ambos casos, se observa que cuanto mayor es el contenido en sacarosa, menor es la humedad de la magdalena. Por el contrario, coincide que un elevado contenido de isomaltulosa o de oligofructosa, como se da en los casos de la formulación en la que se sustituye por completo la sacarosa

(100I o 100O), la humedad sufre un aumento significativo. En consecuencia, las condiciones de almacenamiento y envasado habría que adaptarlas.



**Figura 3.1.** Actividad de agua ( $a_w$ ) de las magdalenas y humedad tanto de las masas batidas como del producto horneado expresando en fracción másica ( $x_w$ ) de las formulaciones estudiadas. Las letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos del ANOVA realizado tanto para la masa como para las magdalenas de forma independiente.

### 3.2 CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO

Los resultados de los parámetros térmicos expresados como entalpía de gelatinización y de evaporación de agua, así como sus respectivas temperaturas se muestran en la tabla 3.1. Por otra parte, en la figura 3.2. se presentan un ejemplo del termograma de una de las masas de magdalenas control estudiadas. Los resultados obtenidos indican que la temperatura de gelatinización del almidón en las masas tuvo lugar entre 92 y 101°C. Sin embargo, los resultados reportados en otros estudios reflejan que en general, la temperatura de gelatinización del almidón en diferentes matrices de bizcochos/magdalenas se encuentra alrededor de 50°C

(Guadarrama-Lezama et al., 2016), de 65-70°C (Chung et al., 2010; Martínez-Cervera et al., 2014). No obstante, según Hesso et al., 2015, la gelatinización del almidón y la desnaturalización de la proteína del huevo en masas con un contenido de humedad del 24%, muy similar al de las masas del presente trabajo, se produjo a 95°C, como en este estudio. De la misma manera, las investigaciones llevadas a cabo por Marcotte et al., 2004 muestran que la gelatinización del almidón en presencia de otros ingredientes de las masas de bizcochos se producía entre 94 y 97°C, aumentando la temperatura de gelatinización del almidón y la desnaturalización de la proteína como consecuencia de la adición del azúcar, grasa y huevos al almidón.

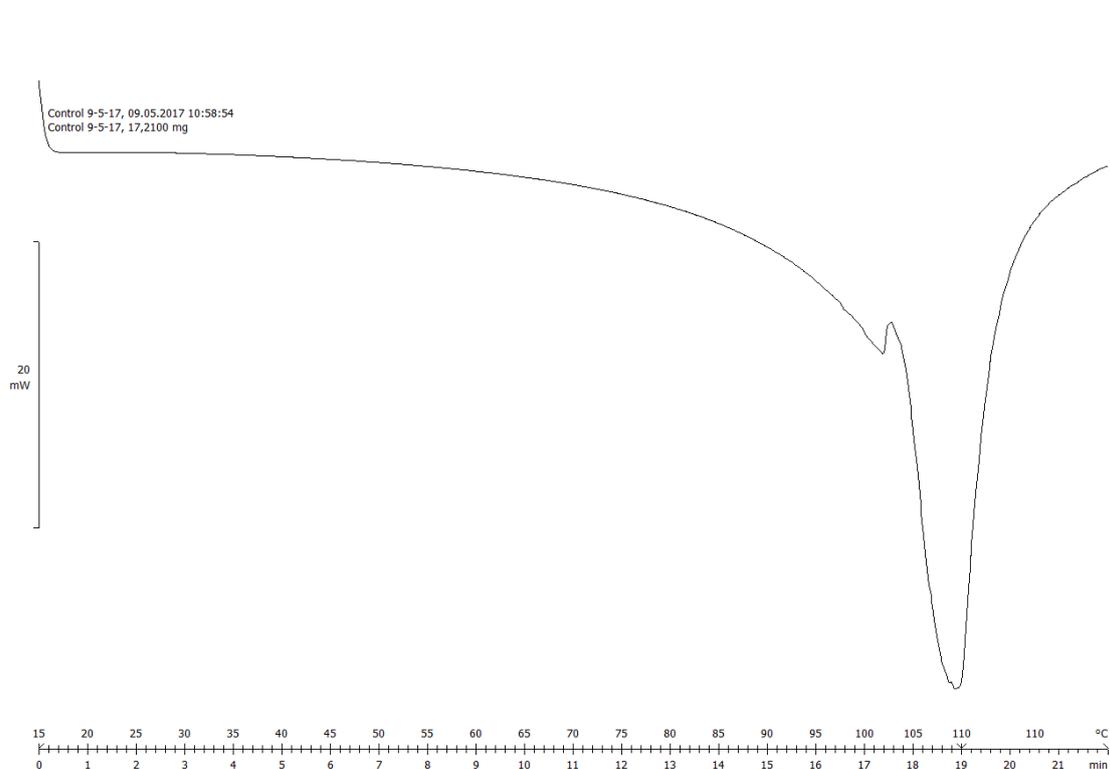
Las entalpías de gelatinización reportadas de almidones nativos están generalmente en el rango de 5–20 Jg<sup>-1</sup> (James et al., 2009; Pineda-Gómez et al., 2009). En cuanto a los resultados de la entalpía de gelatinización de las masas batidas, comentar que Guadarrama et al., 2016 obtuvieron valores próximos a 7 Jg<sup>-1</sup> en masas elaboradas con almidón de trigo y este valor fue aumentando a medida que se reemplazaba este almidón por el de maíz nativo. Por otra parte, según Chung et al. 2010, la entalpía de gelatinización de las masas de magdalenas formuladas con diferentes concentraciones de octenil succinato para sustituir parcialmente la grasa fue de aproximadamente 17 Jg<sup>-1</sup>. En este estudio, los resultados de entalpía de gelatinización obtenidos se encuentran en los rangos comentados anteriormente. De acuerdo a estos valores, la isomaltulosa implicaría mayores necesidades energéticas para que se llevara a cabo la gelatinización de los almidones respecto a la sacarosa, mientras que la oligofruktosa provocaría el efecto contrario. Además, tanto para la isomaltulosa como para la oligofruktosa la temperatura a la que se produjo la gelatinización fue menor que en la masa preparada con sacarosa.

En la tabla 3.1 se puede ver que el endotermo de evaporación del agua en las tres formulaciones de masa de magdalena estudiadas se produce alrededor de 108°C, siendo tanto la temperatura como la entalpía de evaporación mayor en la masa con oligofruktosa, seguida de la masa con isomaltulosa y por último la de sacarosa. Este comportamiento sería consecuencia del mayor contenido en agua registrado en las masas de las formulaciones 100I y 100O comentado anteriormente y también a la mayor

longitud en la estructura molecular de la oligofructosa (compuesta por entre 10-20 monómeros de fructosa) o al enlace más fuerte entre la glucosa y la fructosa de la isomaltulosa respecto al de la sacarosa.

**Tabla 3.1.** Parámetros térmicos de la masa de las magdalenas estudiadas considerando como azúcares: sacarosa (Control), isomaltulosa (100I) y oligofructosa (1000).

Formulación	Gelatinización			Evaporación de agua		
	T <sub>o</sub>	T <sub>p</sub>	ΔH <sub>G</sub> (J/g)	T <sub>o</sub>	T <sub>p</sub>	ΔH <sub>w</sub> (J/g)
<b>Control</b>	98.94	101.26	3.02	103.64	107.73	80
<b>100I</b>	92.02	94.48	16.49	98.07	108.12	166.47
<b>1000</b>	90.65	92.66	1.18	102.4	109.29	277.73

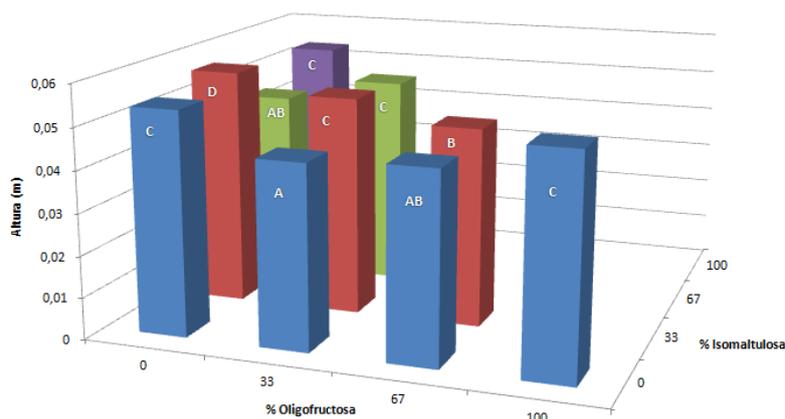


**Figura 3.2.** Ejemplo de termograma de la masa de magdalena control.

### 3.3 ALTURA DE LAS MAGDALENAS

En la figura 3.3 se presentan los resultados de altura de las magdalenas. Como puede observarse, las magdalenas preparadas con la formulación 33I67S tuvieron la altura significativamente mayor, seguida de las formuladas con los azúcares puros (Control, 100I y 1000). Según estos

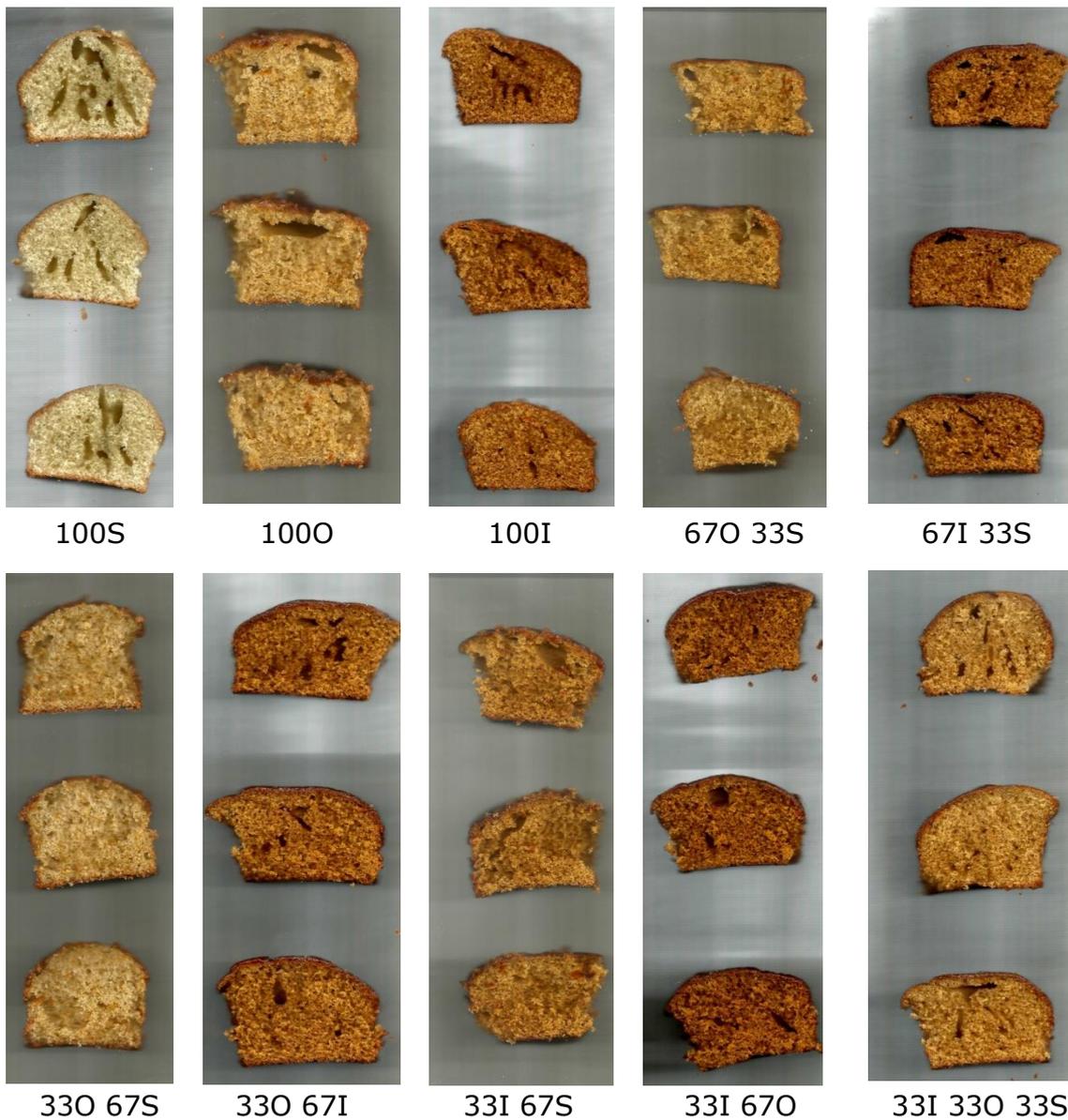
resultados, las mezclas en las que predominan la oligofruktosa o la isomaltulosa combinadas con la sacarosa, así como en la 33O67S presentaron la menor altura, esto coincide con el estudio realizado por Martínez-Cervera et al., 2012 en el que se indica que los valores de altura obtenidos para magdalenas control (100% sacarosa) fueron superiores que los de aquellas formulaciones en las que se sustituyó la sacarosa. Esta disminución de la altura, está asociada al número y tamaño de poros que, como se podrá observar en el apartado de análisis de imagen, disminuye cuando se reemplaza la sacarosa (Hicsasmaz et al., 2003). En este sentido, para mantener o potenciar la altura de las magdalenas sería recomendable reemplazar la sacarosa totalmente por oligofruktosa o isomaltulosa o por combinaciones de estos dos azúcares. No obstante, la mezcla formada por isomaltulosa, oligofruktosa y sacarosa en la misma proporción también presentó una altura similar a la control.



**Figura 3.3.** Altura de las magdalenas en las formulaciones estudiadas. Las letras iguales corresponden a los diferentes grupos homogéneos.

### 3.4 ANÁLISIS DE IMAGEN

En la figura 3.4 se muestran imágenes del corte transversal a la base de las magdalenas estudiadas en este trabajo con el fin de presentar el aspecto de las mismas según la formulación de azúcares considerada. Además, en la tabla 3.4. se recoge el área total del corte transversal mostrado en la figura 3.4 así como el área ocupada por los alveolos en cada caso.



**Figura 3.4.** Imagen del corte transversal a la base de todas las formulaciones estudiadas.

Como puede verse, todas las nuevas formulaciones presentaron un aspecto más oscuro que la magdalena control, especialmente en las que el contenido de isomaltulosa fue mayor, así como en la 33I670 en la que no hubo sacarosa para contrarrestar este efecto de oscurecimiento. En este sentido, la isomaltulosa potenciaría las reacciones de Maillard habituales en este tipo de productos como indican en la descripción de la patente "Isomaltulose-containing instant beverage poder" registrada por Dörr et al., (2009). El efecto contrario fue descrito por Martínez-Cervera et al., 2013 que al reemplazar la sacarosa por eritritol total o parcialmente en

magdalenas, éstas presentaron un color más pálido debido a que este edulcorante no está implicado en las reacciones de Maillard. Además, la control mostró un tamaño de alveolos muy superior al del resto de formulaciones, como se corrobora con los resultados recogidos en la tabla 3.4. Por otra parte, la forma de las magdalenas fue mucho más cónica en el caso de la control que en el resto de formulaciones con una forma más rectangular, debido al difícil ascenso del carbónico a través de estas matrices. En coherencia con estos resultados, durante el horneado se pudo observar un ascenso más limitado de las masas con los nuevos azúcares que con sacarosa, produciéndose un encostramiento de la parte superior.

**Tabla 3.4.** Área de las magdalenas y los alveolos para cada formulación.

Muestra	Magdalena	Alveolos	% alveolos
	Área (cm <sup>2</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	
<b>33I 33O 33S</b>	38.8±0.2 <sup>G</sup>	0.22±0.03 <sup>cde</sup>	0.6±0.07
<b>33I 67O</b>	37.9±0.4 <sup>FG</sup>	0.20±0.04 <sup>cd</sup>	0.5±0.09
<b>33I67S</b>	32.5±0.9 <sup>C</sup>	0.09±0.003 <sup>ab</sup>	0.3±0.02
<b>33O67I</b>	35.0±0.2 <sup>E</sup>	0.14±0.09 <sup>bc</sup>	0.4±0.3
<b>33O67S</b>	37.7±0.6 <sup>F</sup>	0 <sup>a</sup>	0
<b>67I33S</b>	35.7±0.5 <sup>E</sup>	0.13±0.07 <sup>bc</sup>	0.4±0.2
<b>67O33S</b>	29.07±1.01 <sup>A</sup>	0.26±0.006 <sup>de</sup>	0.9±0.01
<b>100I</b>	33.1±0.6 <sup>CD</sup>	0.29±0.05 <sup>e</sup>	0.9±0.2
<b>100O</b>	33.56±0.17 <sup>D</sup>	0.21±0.03 <sup>cde</sup>	0.6±0.08
<b>CONTROL</b>	31.35±0.13 <sup>B</sup>	0.45±0.03 <sup>f</sup>	1.422±0.102

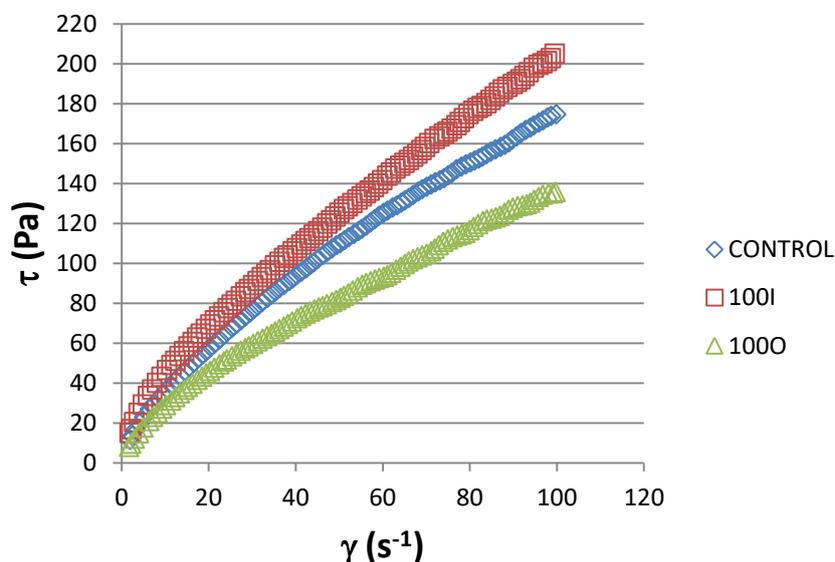
### 3.5 PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 3.5.1 Reología de las masas

Las propiedades reológicas de las formulaciones estudiadas fueron determinadas por dos ensayos el estacionario y el oscilatorio obteniendo los parámetros de los modelos considerados en cada caso. Los reogramas del ensayo estacionario se presentan en la figura 3.5 y las curvas del ensayo oscilatorio se muestran en la figura 3.6. Asimismo, en la tabla 3.5 se recogen los valores de los parámetros del modelo de la ley de potencia y de Herschel-Bulkley.

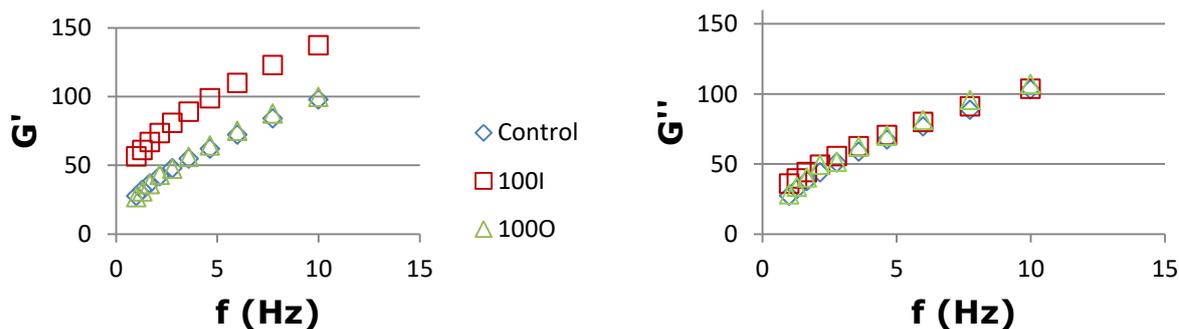
En cuanto a los resultados del estudio estacionario (figura 3.5), la oligofructosa dio lugares a reogramas con menor pendiente y a su vez con

un índice de consistencia (K) más bajo que en la masa control (tabla 3.5), a diferencia de lo que se observó en la masa con isomaltulosa. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Por otra parte, el índice de comportamiento al flujo fue inferior a 1 y similar en todos los casos, poniendo de manifiesto el carácter pseudoplástico de la masa.



**Figura 3.5.** Reogramas obtenidos del ensayo estacionario de diferentes formulaciones de magdalenas. Las muestras fueron codificadas según el contenido en azúcares Control (100% sacarosa), 100I (100% isomaltulosa) y 1000 (100% oligofruktosa).

De acuerdo a los resultados del ensayo oscilatorio (figura 3.6), se puede ver que la formulación 100I presentó un comportamiento de semisólido puesto que la curva media del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) fue mayor que la curva media del módulo de pérdidas. En el resto de formulaciones se registraron valores similares de ambos módulos, lo que indicaría que tienen un comportamiento de disolución concentrada (Rubio-Arreaz, 2015). Respecto a los parámetros del modelo de la ley de potencia, comentar que los coeficientes  $a$  y  $c$  fueron significativamente mayores en la formulación 100I, mientras que lo contrario sucedió en los coeficientes de potencia ( $b$  y  $d$ ) (tabla 3.5).



**Figura 3.6** Curvas medias de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdidas ( $G''$ ) de las masas de magdalenas formuladas con sacarosa (control), isomaltulosa (100I) u oligofruktosa (100O).

**Tabla 3.5.** Parámetros de los modelos oscilatorio y estacionario del estudio reológico.

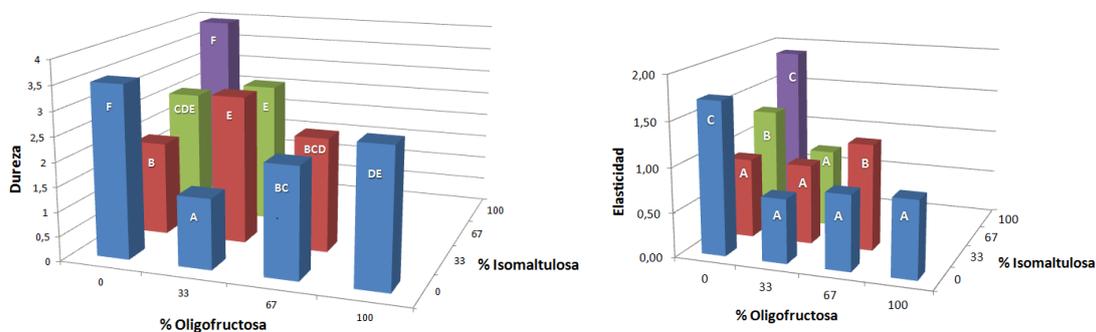
Parámetro del modelo oscilatorio (Ley de Potencia)						
	Módulo almacenamiento ( $G'$ )		Módulo pérdidas ( $G''$ )		Parámetros del modelo estacionario (Herschel-Bulkley)	
	a	b	c	d	n	k
<b>CONTROL</b>	$26 \pm 5^A$	$0.54 \pm 0.05^B$	$28 \pm 2^A$	$0.57 \pm 0.03^B$	$0.70 \pm 0.01^A$	$7.5 \pm 0.2^{AB}$
<b>100I</b>	$55.14 \pm 2.9^A$	$0.39 \pm 0.04^B$	$35 \pm 3^{AB}$	$0.46 \pm 0.02^B$	$0.68 \pm 0.00^A$	$8.24 \pm 0.78^B$
<b>100O</b>	$27 \pm 5^B$	$0.57 \pm 0.05^A$	$30 \pm 3^B$	$0.57 \pm 0.02^A$	$0.67 \pm 0.03^A$	$6.28 \pm 1.07^A$

### 3.5.2. Textura de las magdalenas

En la figura 3.7 se muestran los resultados de los parámetros de textura (dureza y elasticidad) estudiados en las magdalenas en función de las formulaciones consideradas. Como puede observarse, tanto las magdalenas elaboradas sólo con sacarosa o isomaltulosa presentaron valores de dureza y elasticidad significativamente superiores al resto. En contraposición, la menor dureza se registró en la formulación 33067S. Aunque en general, hay cierta concordancia entre los valores de dureza y elasticidad, las formulaciones 33I33O33S y 67I33O mostraron una dureza intermedia, pero una elasticidad dentro del grupo homogéneo con el valor más bajo de este parámetro.

De acuerdo a estos resultados, a excepción del reemplazo total por isomaltulosa, el resto de las combinaciones dieron lugar a magdalenas más

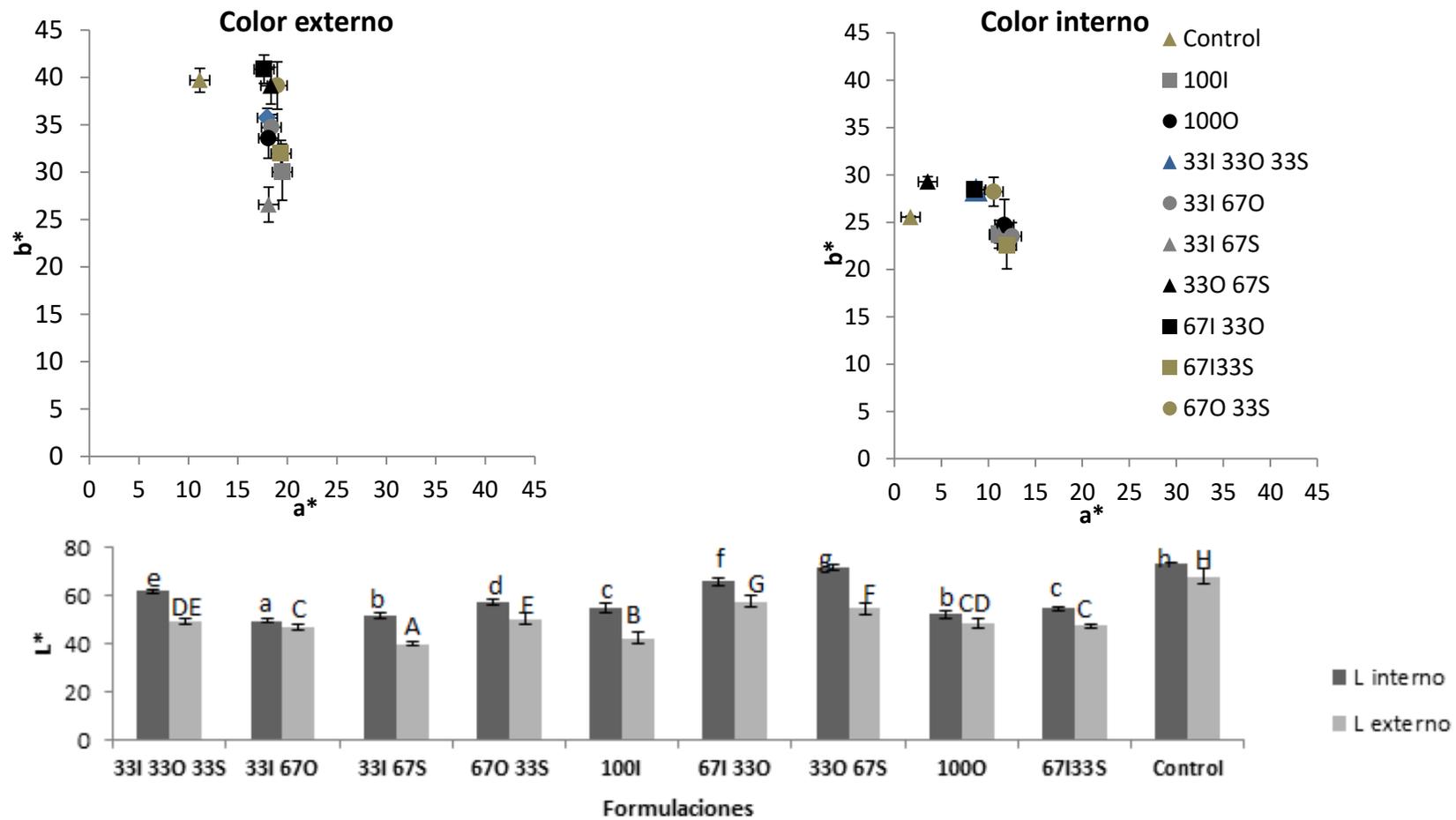
blandas y con menor elasticidad que la control, lo que podría condicionar su aceptación sensorial, así como su capacidad para soportar las posibles incidencias sobre su forma durante el transporte.



**Figura 3.7** Valores de dureza y elasticidad para las diferentes formulaciones estudiadas. Las letras iguales corresponden a los grupos homogéneos.

### 3.6 PROPIEDADES ÓPTICAS

En la figura 3.8 se presenta la ubicación en los planos cromáticos  $b^*$ - $a^*$  del color tanto de la parte externa como de la parte interna de las magdalenas estudiadas. También se muestran en la misma los valores de luminosidad analizados en ambas partes. En todos los casos, se observó que la combinación de los nuevos azúcares dio lugar a valores de  $a^*$  significativamente superiores a los de las magdalenas control (utilizando sólo sacarosa como azúcar). Estos resultados son coherentes con los aportados en la figura 3.4. El color interno presentó una disminución de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  en todos los casos, destacando la mayor similitud de la formulación 33067S a la magdalena control, como se constata con la imagen de la figura 3.4. Asimismo, la luminosidad interna de esta formulación fue la más próxima a la de la magdalena control. A nivel externo, conviene resaltar que la sustitución total o parcial de sacarosa por isomaltulosa produjo un descenso significativo de la coordenada  $b^*$  y de la luminosidad, potenciando el color más marrón relacionado con la posible mayor incidencia de las reacciones de Maillard causadas por este azúcar (Dörr et al., 2009).

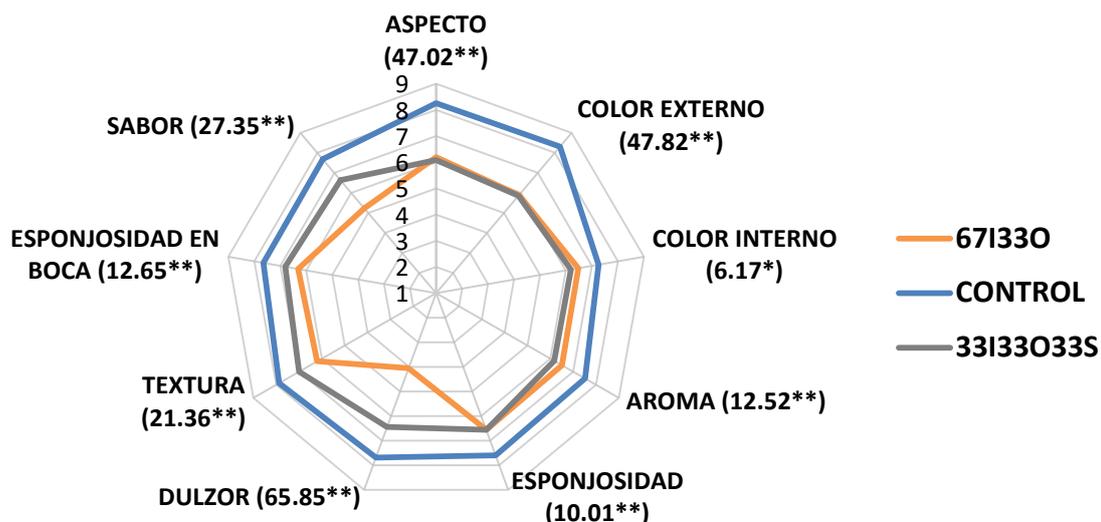


**Figura 3.8.** Planos cromáticos  $b^*-a^*$  de la parte exterior y de la parte interior de las magdalenas y luminosidad en función de las formulaciones estudiadas.

### **3.7 ANALISIS SENSORIAL**

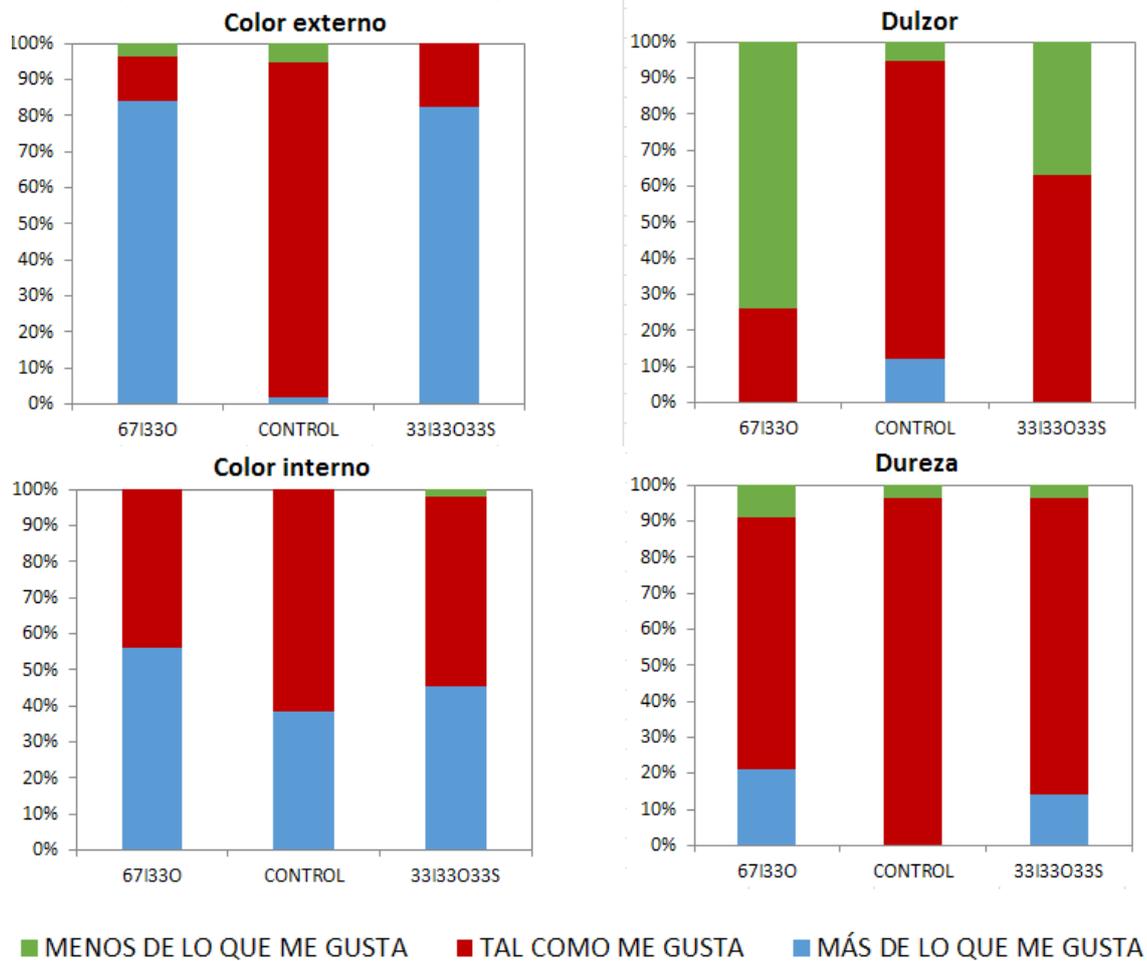
En la figura 3.9 se presentan los resultados del análisis sensorial en base a una escala hedónica y en la figura 3.10 la información registrada sobre si el panel de catadores preferiría un aumento o disminución de la intensidad del atributo.

Como puede verse en la figura 3.9, el factor formulación fue significativo en todos los parámetros sensoriales analizados, siendo la magdalena control la mejor evaluada. Conviene destacar que los atributos más diferenciados por parte de los catadores fueron el dulzor, el color externo y el aspecto. Respecto al dulzor, las magdalenas formuladas con la combinación de los nuevos edulcorantes obtuvieron la peor puntuación, especialmente en aquéllas en las que predominaba la isomaltulosa. Estos resultados son coherentes con el menor poder edulcorante tanto de la isomaltulosa como de la oligofructosa en relación a la sacarosa, tal y como se ha descrito en la introducción (tabla 1.2.). En cuanto al aspecto y al color externo, el panel sensorial no pudo diferenciar entre las formulaciones 67I330 y 33I33033S, que en los resultados de las medidas instrumentales de color reflejaron valores de luminosidad similares y también una ubicación muy próxima en el plano cromático, aunque en ambos casos diferentes del control. El nivel significativo de la formulación sobre el color interno de las magdalenas fue menor que en el resto de los atributos, aunque también se valoró mejor a la magdalena con sacarosa, pero sin registrarse diferencias entre las magdalenas formuladas con los nuevos azúcares. Esta respuesta podría estar relacionada con la mejor aceptación del color claro de la parte interna, como se puede apreciar en la figura 3.4.



**Figura 3.9.** Resultados del análisis sensorial con la escala hedónica de magdalenas elaboradas con diferentes porcentajes de azúcares. Los valores del cociente F-ratio obtenidos del ANOVA para analizar el efecto significativo de las formulaciones sobre los atributos se presentan entre paréntesis. \*Nivel de significancia del 95% y \*\*Nivel de significancia del 99%.

Debido a que los nuevos azúcares potencian la coloración oscura de las magdalenas, por su posible mayor interacción en las reacciones de Maillard, se constata que las formulaciones 67I330 y 33I33033S registraron un color externo de mayor intensidad del que les gustaría a los catadores (figura 3.10), mientras que el de la magdalena control es tal y como les gusta. Sin embargo, en el color interno la demanda de disminuir la intensidad del mismo no fue tan elevada. Respecto al grado de dulzor, como era de esperar los catadores lo consideraron menor al deseado en las nuevas magdalenas, pero sobre todo en la 67I330 por su mayor proporción de isomaltulosa. Por último, la dureza fue bien valorada por los catadores, registrando en la categoría "tal como me gusta" un 96.49% la formulación control, un 82.46% la 33I33033S y un 70.18% la 67I330. En estas dos últimas formulaciones la categoría "más de lo que me gustaría" registró un 14.05% y un 21.05% respectivamente.



**Figura 3.10.** Resultados del análisis sensorial con la escala Just About Right de magdalenas elaboradas con diferentes porcentajes de azúcares.

## 4. CONCLUSIONES

- El reemplazo de la sacarosa por diferentes proporciones de oligofructosa o isomaltulosa no afectó a la actividad de agua de las magdalenas. Sin embargo, la humedad tanto de la masa como de las magdalenas con estos componentes fue superior a las preparadas con sacarosa. Por ello, los parámetros del material de envasado tendrían que adaptarse a esta característica.
- Los requerimientos energéticos para gelatinización del almidón fueron mayores para la masa de magdalena preparada con isomaltulosa que con sacarosa, en contraposición a lo sucedido con la oligofructosa. En consecuencia, sería conveniente revisar las condiciones de horneado para ajustarse mejor a cada componente.
- La sustitución total de la sacarosa por oligofructosa o isomaltulosa no modificó la altura de las magdalenas. Sin embargo, la combinación de la sacarosa con cualquiera de estos dos azúcares la redujo.
- El transporte de carbónico en el interior de las masas de magdalenas durante el horneado dio lugar a alveolos más grandes en presencia de sacarosa que cuando se reemplazó ésta total o parcialmente por isomaltulosa y oligofructosa. En consecuencia, la forma de las magdalenas con sacarosa fue más cónica, mientras que en el resto más rectangular.
- Desde el punto de vista mecánico, la isomaltulosa modificó en mayor medida la reología de la masa, pero la dureza y la elasticidad de la magdalena formulada sólo con este azúcar fueron similares a las elaboradas con sacarosa. El resto de combinaciones provocaron magdalenas más blandas y con menor elasticidad, lo que podrían condicionar la estabilidad de la textura durante el almacenamiento y transporte.
- Respecto a las propiedades ópticas, las nuevas formulaciones presentaron un aumento en la coordenada  $a^*$  tanto en el color interno como en el externo, potenciando los colores marrones. Además, en aquéllas en las que predominaba la isomaltulosa se redujo también la luminosidad y la coordenada  $b^*$  de la parte externa, poniendo de manifiesto la mayor intensidad de las Reacciones de Maillard con este edulcorante.

- La mayor intensidad de color marrón y el menor grado de dulzor de los azúcares utilizados fueron los atributos más penalizados en el análisis sensorial. Estos problemas podrían contrarrestarse con la incorporación de edulcorantes intensivos o la modificación del tipo de harina. No obstante, la dureza de las nuevas magdalenas fue bien valorada, a pesar de las diferencias registradas en las medidas instrumentales de las propiedades mecánicas.

Como conclusión final, es posible sustituir parcialmente la sacarosa por una combinación de isomaltulosa y oligofructosa a partes iguales para contrarrestar el menor poder edulcorante de los mismos y el oscurecimiento del producto provocado por la oligofructosa y especialmente la isomaltulosa. Además, desde el punto de vista mecánico, estos azúcares permiten formar texturas esponjosas típicas de las magdalenas, aunque con una forma más aplanada por menor presencia de alveolos. Por otro lado, la potencia de horneado podría ser menor en formulaciones con mayor presencia de oligofructosa y mayor cuando predominara la isomaltulosa, aunque sería necesario realizar más estudios para constatarlo.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Aidoo, R. P., Depypere, F., Afoakwa, E. O., & Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates–Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in food science & technology*, 32(2), 84-96.

Blakely, S. R., Hallfrisch, J., Reiser, S., & Prather, E. S. (1981). Long-term effects of moderate fructose feeding on glucose tolerance parameters in rats. *The Journal of nutrition*, 111(2), 307-314.

Blakely, S. R., Mislo, B. L., Basi, N. S., & Pointer, R. H. (1995). Dietary fructose alters the insulin-like effects of dietary vanadate in adipocytes from rats. *Nutrition Research*, 15(1), 25-35.

Chacón-Villalobos, A. 2006. Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofructosacáridos (FOS). *Agronomía Mesoamericana*, 17(2):265-286.

Channaiah, L. H., Michael, M., Acuff, J. C., Phebus, R. K., Thippareddi, H., Olewnik, M., & Milliken, G. (2017). Validation of the baking process as a kill-step for controlling Salmonella in muffins. *International Journal of Food Microbiology*, 250, 1-6.

Chung, H. J., Lee, S. E., Han, J. A., & Lim, S. T. (2010). Physical properties of dry-heated octenyl succinylated waxy corn starches and its application in fat-reduced muffin. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 496-501.

Dörr, T., Guderjahn, L., Keme, T., Sentko, A., & Kowalczyk, J. (2009). U.S. Patent No. 7,553,509. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Durán, S., Quijada, M., Silva, L., Almonacid, N., Berlanga, M., & Rodríguez, M. (2011). Niveles de ingesta diaria de edulcorantes no nutritivos en escolares de la región de Valparaíso. *Revista chilena de nutrición*, 38(4), 444-449.

Edwards, W. P. (2002). La ciencia de las golosinas. En W. P. Edwards. Essex.

Edwards, C. H., Rossi, M., Corpe, C. P., Butterworth, P. J., & Ellis, P. R. (2016). The role of sugars and sweeteners in food, diet and health: Alternatives for the future. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 158-166.

García-Almeida, J. M., Casado Fdez, G. M., & García Alemán, J. (2013). Una visión global y actual de los edulcorantes: aspectos de regulación. *Nutrición hospitalaria*, 28, 17-31.

Guadarrama-Lezama, A. Y., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. (2016). Thermal and rheological properties of sponge cake batters and texture and microstructural characteristics of sponge cake made with native corn starch in partial or total replacement of wheat flour. *LWT-Food Science and Technology*, 70, 46-54.

Halimi, S., Studer, N., & Faure, P. (2010). Le fructose: effet des régimes riches en fructose sur l'incidence de l'obésité, du syndrome métabolique, du diabète de type 2 et le risque cardiovasculaire et rénal. *Médecine des maladies Métaboliques*, 4(5), 521-529.

Hesso, N., Loisel, C., Chevallier, S., Marti, A., Le-Bail, P., Le-Bail, A., & Seetharaman, K. (2015). The role of ingredients on thermal and rheological properties of cake batters and the impact on microcake texture. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 1171-1178.

Hicsasmaz, Z., Yazgan, Y., Bozoglu, F., & Kaunas, Z. (2003). Effect of polydextrosesubstitution on the cell structure of the high-ratio cake system. *LebensmittelWissenschaft und Technologie*, 36(4), 441e450.

Holub, I., Gostner, A., Theis, S., Nosek, L., Kudlich, T., Melcher, R., & Scheppach, W. (2010). Novel findings on the metabolic effects of the low glycaemic carbohydrate isomaltulose (Palatinose™). *British journal of nutrition*, 103(12), 1730-1737

Hooshmand, S., Holloway, B., Nemoseck, T., Cole, S., Petrisko, Y., Hong, M. Y., & Kern, M. (2014). Effects of agave nectar versus sucrose on weight gain, adiposity, blood glucose, insulin, and lipid responses in mice. *Journal of medicinal food*, 17(9), 1017-1021.

James N. BeMiller and Roy L. Whistler. *Starch – Chemistry and Technology*, third Edition, ISBN 9780127462752. Academic Press, 2009. Referenciado en 132-136.

Johnson Jr, M. B. *Edulcorantes Naturales y Artificiales:¿ Una Bendición o Una Maldición?*. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología, 2014.

Ledur, M.J.; Tessaro, I.; Zapata, C.P. 2013. Physicochemical characterization of Saccharides Powder Obtained from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*) by Membrane Technology. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(6):1024-1033

Lina, B.A.R.; Jonker, G.; Kozianowski, G. 2002. Isomaltulose (Palatinose review of biological and toxicological studies). *Food and Chemical Toxicology*, 40(10): 1375-1381.

Maldonado, L., & Zaragoza, J. (2015). Jarabe de maíz alto en fructosa, una revisión sobre su metabolismo y efectos de un consumo excesivo. *Gaceta Hidalguense de Investigación en Salud*, 9.

MAPAMA. (Mayo de 2016). Informe del consumo de alimentación en España 2015. Obtenido de [http://www.mapama.gob.es/imagenes/es/informeconsumoalimentacion2015\\_tcm7-422016.pdf](http://www.mapama.gob.es/imagenes/es/informeconsumoalimentacion2015_tcm7-422016.pdf)

Marcotte, M., Sablani, S. S., Kasapis, S., Baik, O.-D., & Fustier, P. (2004). The thermal kinetics of starch gelatinization in the presence of other cake ingredients. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 807-810.

- Martínez. (2017). *Evidencia científica actual en la prevención nutricional de obesidad, síndrome metabólico y diabetes*. Universidad de Navarra.
- Martínez-Cervera, S., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. M. (2012). Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose. *LWT-Food Science and Technology*, 45(2), 213-220.
- Martínez-Cervera, S. (2013). Reemplazo de grasa y azúcar en magdalenas. Efecto sobre las propiedades reológicas, térmicas, de textura y sensoriales. Tesis Doctoral.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., & Sanz, T. (2014). Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: Thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocolloids*, 35, 1-8.
- Murcia, J. L. (2016). La preocupación por la salud y la curiosidad marcan tendencia en la alimentación. Distribución y consumo. *Mercasa- Distribución y consumo*, 26 (141), 16-21.
- Núñez, D. P., & García Bacallao, L. (2010). Bioquímica de la caries dental. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 9(2), 156-166.
- OMS, O. M. (2015). *Nota informativa sobre la ingesta de azúcares recomendada en la directriz de la OMS para adultos y niños*.
- Pérez, B. (2017). *Tendencias en el desarrollo de productos de alimentación para el 2017*. Obtenido de AINIA: <http://www.ainia.es/tecnoalimentalia/consumidor/tendencias-en-el-desarrollo-de-productos-de-alimentacion-para-2017/>
- Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rorales Rivera, A., & Rodríguez García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Revista Ingeniería y Ciencia, ISSN*, 9165(6), 11.
- Rippe, J. M., & Angelopoulos, T. J. (2013). Sucrose, high-fructose corn syrup, and fructose, their metabolism and potential health effects: what do we really know?. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 4(2), 236-245.
- Rubio-Arreaez, S. (2015). Incorporación de edulcorantes no cariogénicos y con bajo índice glicémico en el procesado de fruta (cítricos y sandía) y monitorización de parámetros a lo largo del almacenamiento (tesis doctoral).
- Sierra, L. I., Uscategui, R., Gaviria, D. M., Alvarez, P., Galeano, M. E., del Socorro Estrada, M., ... & Restrepo, B. (2016). Correlación de las pruebas de susceptibilidad a la caries. Índices clínicos de caries e ingesta de sacarosa en niños escolares de 9 a 11 años en Caldas, Antioquia, Colombia. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, 6(2).
- Villaécija, R. (2017). Cataluña, sola contra el azúcar: Los refrescos serán hasta un 20% más caros que en el resto de España. *El Mundo*. Publicado el 31 de Marzo de 2017.

## 6. ANEJO

### CATA DE MAGDALENAS

Antes de comenzar el análisis sensorial de las magdalenas, indique los siguientes datos:

Nombre:

Hombre  Mujer

Edad:

Entre 18-30	
Entre 31-45	
Entre 46-60	
Mayor de 60	

Marque con una cruz la frecuencia con que consume magdalenas:

Varias veces a la semana	
Una vez a la semana	
Una vez al mes	
Ocasionalmente	

Usted dispone de 3 magdalenas diferentes. Debe responder el cuestionario adjunto para cada una de ellas, siguiendo las instrucciones facilitadas.

Muestra nº

**Antes de probar la magdalena, valore las siguientes características:**

1. ¿Cuánto te agrada el **ASPECTO** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Me disgusta mucho			Indiferente		
gusta mucho						Me		

2. ¿Cuánto te agrada el **COLOR EXTERNO** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Me disgusta mucho			Indiferente		
Me gusta mucho								

3. En cuanto al **color externo**, en tu opinión el producto **debería ser:**

Mucho menos oscuro	<input type="checkbox"/>
Algo menos oscuro	<input type="checkbox"/>
Está bien así	<input type="checkbox"/>
Algo más oscuro	<input type="checkbox"/>
Mucho más oscuro	<input type="checkbox"/>

4. ¿Cuánto te agrada el **COLOR INTERNO** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Me disgusta mucho			Indiferente		
Me gusta mucho								

5. En cuanto al **color interno**, en tu opinión el producto **debería ser:**

Mucho menos oscuro	<input type="checkbox"/>
Algo menos oscuro	<input type="checkbox"/>
Está bien así	<input type="checkbox"/>
Algo más oscuro	<input type="checkbox"/>
Mucho más oscuro	<input type="checkbox"/>

6. ¿Cuánto te agrada el **AROMA** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Me disgusta mucho			Indiferente		
Me gusta mucho								

7. **ESPONJOSIDAD AL ABRIRLA**

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Me disgusta mucho			Indiferente		
Me gusta mucho								

**Después de probar la magdalena, valore las siguientes características:**

8. ¿Cuánto te agrada el **DULZOR** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Me gusta mucho Me disgusta mucho Indiferente

9. En cuanto al **dulzor**, en tu opinión el producto **debería ser:**

Mucho menos dulce	
Algo menos dulce	
Está bien así	
Algo más dulce	
Mucho más dulce	

10. ¿Cuánto te agrada la **DUREZA** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Me gusta mucho Me disgusta mucho Indiferente

11. En cuanto a la **dureza**, en tu opinión el producto **debería ser:**

Mucho menos dura	
Algo menos dura	
Está bien así	
Algo más dura	
Mucho más dura	

12. ¿Cuánto te agrada la **esponjosidad en boca**?, en tu opinión el producto **debería ser:**

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Me disgusta mucho Indiferente Me gusta mucho

13. ¿Cuánto te agrada el **SABOR** de este producto?

<input type="checkbox"/>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Me gusta mucho Me disgusta mucho Indiferente

14. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe mejor la **PROBABILIDAD DE COMPRA** de este producto si el precio fuera adecuado?

No lo compraría	
Tal vez la compraría	
Sí lo compraría	

**MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**