

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**  
**GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**



**CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIO DURANTE  
EL ALMACENAMIENTO DE MAGDALENAS  
SIN AZÚCAR Y CON CO-PRODUCTO DE CHUFA**

TRABAJO FIN DE GRADO

SEPTIEMBRE 2016

Autor: Jorge Medina Santamarina

Tutora: Casilda Navarro Rodríguez de Vera



## RESUMEN

En este trabajo se pretende evaluar los efectos derivados de la adición de distintas cantidades de co-producto de chufa sobre magdalenas aptas para diabéticos elaboradas con el edulcorante Estevia frente a un control sin co-producto de chufa, además de evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo mediante análisis instrumentales y catas a consumidores. El estudio tendrá una duración de 5 días, siendo el día 0 el día en el que se realiza la elaboración de la masa y su horneado. Los análisis se realizaron en los días 0, 1, 2 y 4.

## PALABRAS CLAVE

- Magdalenas
- Estevia
- Diabetes
- Co-producto de chufa



## ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the effect of adding various amount of tigernut by-product on cupcakes, suitable for diabetics, made with stevia sweetener versus a control without tiger nut by-product, their behavior over time is also being assessed by instrumental analysis and consumer tastings. The study will last for five days, considering day 0 the day on which the preparation of the dough and baking is done. Analyses were performed on days 0, 1, 2 and 4.

## KEY WORDS

- Cupcakes
- Stevia
- Diabetes
- Tiger nut by-product

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. PRODUCTOS DE PASTELERÍA Y REPOSTERÍA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. MARCO LEGISLATIVO DE LOS PRODUCTOS DE PASTELERÍA Y REPOSTERÍA. ....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. SITUACIÓN DEL SECTOR DE LA ALIMENTACIÓN EN ESPAÑA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.1. Consumo de productos de pastelería y repostería .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1.1. Producción en España de productos de pastelería-repostería, bollería y confitería.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1.2. Gasto económico en España de productos de pastelería, repostería y bollería.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1.3. Consumo de magdalenas en España.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4. DIABETES MELLITUS.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2. Diabetes tipo 2 .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.3. Diabetes gestacional.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5. MEDIDAS DE CONTROL DE LA DIABETES .....</b>	<b>19</b>
<b>1.5.1. Alimentación .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6. LA DIABETES EN ESPAÑA.....</b>	<b>20</b>
<b>1.7. EDULCORANTES .....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.1. Definición.....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.2. Clasificación .....</b>	<b>22</b>
<b>1.7.3. El uso de edulcorantes en productos para diabéticos.....</b>	<b>22</b>
<b>1.7.4. Estevia .....</b>	<b>24</b>
<b>1.8. Definición y Tipos de fibra .....</b>	<b>25</b>
<b>1.8.1. Beneficios del uso de fibra en el control de la diabetes .....</b>	<b>26</b>
<b>1.8.2. Productos fuentes de fibra.....</b>	<b>26</b>
<b>1.9. INCORPORACIÓN DE CO-PRODUCTO DE CHUFA COMO POTENCIAL INGREDIENTE FUNCIONAL. ....</b>	<b>28</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. OBJETIVOS GENERALES .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1. MATERIAS PRIMAS Y FORMULACIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CO-PRODUCTO DE CHUFA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1. Composición química del co-producto de chufa.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2. Descongelación del co-producto de chufa.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3. Extracción del co-producto de chufa.....</b>	<b>36</b>

3.2.4.	Envasado al vacío del co-producto .....	36
3.3.	PROCESO DE ELABORACIÓN Y COCCIÓN DE LAS MAGDALENAS .....	37
3.4.	DIAGRAMA DE FLUJO .....	39
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	41
3.6.	METODOLOGÍA ANALÍTICA.....	42
3.6.1.	Determinaciones para masas previas al horneado .....	42
3.6.2.	Determinaciones en las magdalenas elaboradas a lo largo del estudio: .....	43
3.6.2.1.	Determinaciones Físicas .....	43
3.6.2.1.1.	Altura de copete.....	43
3.6.2.1.2.	Diámetro de las magdalenas.....	43
3.6.2.1.3.	Pérdida de peso tras el horneado de las magdalenas.....	43
3.6.2.1.4.	Densidad de las magdalenas .....	43
3.6.2.1.5.	Parámetros de color interno y externo de las magdalenas .....	44
3.6.2.1.6.	Textura de las magdalenas .....	45
3.6.2.2.	Determinaciones químicas y físico-químicas.....	46
3.6.2.2.1.	pH.....	46
3.6.2.2.2.	Actividad de agua.....	46
3.6.2.2.3.	Humedad .....	47
3.6.3.	ANÁLISIS SENSORIAL.....	47
3.7.	METODOLOGÍA ESTADÍSTICA .....	51
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	53
4.1.	DETERMINACIONES REALIZADAS A LA MASA.....	53
4.1.1.	Determinaciones Físicas.....	53
4.1.1.1.	Color de la masa.....	53
4.2.	DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MAGDALENAS.....	59
4.2.1.	Determinaciones Físicas.....	59
4.2.1.1.	Pérdida de peso producida tras el horneado .....	59
4.2.1.2.	Altura de copete .....	62
4.2.1.3.	Evolución de la pérdida de peso a lo largo del tiempo de almacenamiento 63	
4.2.1.4.	Diámetro de las magdalenas.....	64
4.2.1.5.	Color de las magdalenas .....	66
4.2.1.5.1.	Color externo .....	66
4.2.1.5.2.	Color interno magdalenas.....	73
4.2.1.6.	Determinación de la textura .....	81
4.2.1.6.1.	Firmeza o dureza .....	82

4.2.1.6.2. Esponjosidad o Elasticidad .....	83
4.2.2. Determinaciones Físico-Químicas De Las Magdalenas .....	85
4.2.2.1. pH y Actividad de agua (aw) .....	85
4.2.3. Determinaciones Químicas De Las Magdalenas .....	88
4.2.3.1. Determinación de la humedad .....	88
4.2.4. Análisis Sensorial .....	90
5. CONCLUSIONES .....	104
6. BIBLIOGRAFÍA .....	108



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de los diferentes tipos de edulcorantes según su aporte calórico.....	22
<b>Tabla 2:</b> Formulación de ingredientes y orden de adición en la preparación de magdalenas sin azúcar. ....	34
<b>Tabla 3:</b> Composición de co-producto de chufa sólido (g/100 g peso fresco).....	36
<b>Tabla 4:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color de la masa de las magdalenas con co-producto de chufa.....	53
<b>Tabla 5:</b> Resultados del test de Tukey de las coordenadas de color CIELAB ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) y las magnitudes psicofísicas ( $C^*_{ab}$ y $h_{ab}$ ). ....	53
<b>Tabla 6:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con co-producto de chufa.....	60
<b>Tabla 7:</b> Resultados del test de Tukey para la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con co-producto de chufa.....	60
<b>Tabla 8:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la altura de copete de magdalenas con co-producto de chufa.....	62
<b>Tabla 9:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la pérdida de peso a lo largo del tiempo de almacenamiento de magdalenas con co-producto de chufa.....	63
<b>Tabla 10:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) del diámetro de las magdalenas con co-producto de chufa.....	64
<b>Tabla 11:</b> Resultados del test de Tukey para el diámetro de las magdalenas con co-producto de chufa.....	64
<b>Tabla 12:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros de color externo de las magdalenas con co-producto de chufa.....	66
<b>Tabla 13:</b> Resultados del test de Tukey para el color externo de las magdalenas con co-producto de chufa.....	67
<b>Tabla 14:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros de color interno de las magdalenas con co-producto de chufa.....	74
<b>Tabla 15:</b> Resultados del test de Tukey para el color interno de las magdalenas con co-producto de chufa.....	74
<b>Tabla 16:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros del análisis de la textura de las magdalenas con co-producto de chufa.....	81
<b>Tabla 17:</b> Resultados del test de Tukey para los parámetros del análisis de textura de magdalenas con co-producto de chufa.....	81
<b>Tabla 18:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físico-químicos de pH y actividad de agua ( $a_w$ ) de magdalenas con co-producto de chufa.....	85
<b>Tabla 19:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) del parámetro químico humedad de magdalenas con co-producto de chufa.....	88
<b>Tabla 20:</b> Resultados del test de Tukey para el parámetro químico humedad de magdalenas con co-producto de chufa.....	88
<b>Tabla 21:</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de magdalenas con co-producto de chufa.....	91
<b>Tabla 22:</b> Resultados del test de Tukey para el análisis sensorial de magdalenas con co-producto de chufa.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Producción de productos de bollería y pastelería, galletas, cereales y productos navideños en % (Kg). Fuente: MAGRAMA, 2016.....	15
<b>Figura 2:</b> Gasto en hogares españoles (Millones de €) en productos de bollería, pastelería, galletas y cereales. Elaboración propia a partir de datos de Mercasa, 2015.....	16
<b>Figura 3:</b> Consumo de pastelería-bollería en España, en el año 2015. Millones de € Elaboración propia a partir de datos de Financial Food en el año 2015.....	16
<b>Figura 4:</b> Datos de mortalidad total en España por diferentes patologías. Fuente: OMS 2016.20	
<b>Figura 5:</b> Estructura química del Esteviósido .....	25
<b>Figura 6:</b> Ingredientes empleados para la elaboración de magdalenas .....	35
<b>Figura 7:</b> Diagrama de flujo de obtención de co-producto de chufa congelado .....	35
<b>Figura 8:</b> Co-producto de chufa envasado al vacío .....	37
<b>Figura 9:</b> Proceso de mezclado con THERMOMIX VORWERK TM21.....	37
<b>Figura 10:</b> Molde Witon de acero antiadherente para hornear. ....	38
<b>Figura 11:</b> Balanza de precisión Gram ST-1200.....	38
<b>Figura 12:</b> Diferentes lotes de magdalenas envasados y almacenados.....	39
<b>Figura 13:</b> Diagrama de flujo de elaboración de magdalenas sin azúcar.....	40
<b>Figura 14:</b> Medición de color de la masa. Colorímetro Minolta Cr-300. ....	42
<b>Figura 15:</b> Pie de rey electrónico .....	43
<b>Figura 16:</b> Semillas de lino y probeta utilizadas para la medición de volumen y densidad.....	44
<b>Figura 17:</b> Espectrofotómetro Minolta Camera CM 700-D. ....	45
<b>Figura 18:</b> Texturómetro con sonda AACC 11 mm y medición de textura. ....	46
<b>Figura 19:</b> Medición de pH por punción. pH-metro Crison GLP21. ....	46
<b>Figura 20:</b> Higrómetro Novasina. ....	47
<b>Figura 21:</b> Balanza de desecación por infrarrojos.....	47
<b>Figura 22:</b> Muestras y sala de catas para consumidores. ....	49
<b>Figura 23:</b> Valores de la coordenada de color Luminosidad ( $L^*$ ) de la masa de magdalena con co-producto de chufa .....	54
<b>Figura 24:</b> Valores de la coordenada de color verde-rojo ( $a^*$ ) de la masa de magdalena con co-producto de chufa .....	55
<b>Figura 25:</b> Valores de la coordenada $b^*$ (amarillo-azul) de la masa de magdalenas con co-producto de chufa .....	57
<b>Figura 26:</b> Valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) de la masa de magdalenas con co-producto de chufa .....	58
<b>Figura 27:</b> Valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) de la masa de las magdalenas con co-producto de chufa .....	59
<b>Figura 28:</b> Valores de pérdida de peso tras el horneado (%) de magdalenas con co-producto de chufa.....	60
<b>Figura 29:</b> Valores de diámetro de las magdalenas con co-producto de chufa.....	65
<b>Figura 30:</b> Valores de Luminosidad del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa	67
<b>Figura 31:</b> Valores de la coordenada de color verde-rojo ( $a^*$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa .....	69
<b>Figura 32:</b> Valores de la coordenada de color amarillo-azul ( $b^*$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa .....	70
<b>Figura 33:</b> Valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa.....	71

<b>Figura 34:</b> Valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa .....	72
<b>Figura 35:</b> Valores de Luminosidad ( $L^*$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa.....	75
<b>Figura 36:</b> Valores de la coordenada de color verde-rojo ( $a^*$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa.....	76
<b>Figura 37:</b> Valores de la coordenada de color amarillo-azul ( $b^*$ ) del interior de las magdalenas con co-productos de chufa.....	78
<b>Figura 38:</b> Valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa .....	79
<b>Figura 39:</b> Valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa .....	80
<b>Figura 40:</b> Valores de la Firmeza (g) de las magdalenas con co-producto de chufa.....	82
<b>Figura 41:</b> Valores de la Esponjosidad (%) de las magdalenas con co-producto de chufa .....	84
<b>Figura 42:</b> Valores del parámetro físico-químico pH de magdalenas con co-producto de chufa .....	86
<b>Figura 43:</b> Valores del parámetro físico-químico $a_w$ para magdalenas con co-producto de chufa .....	87
<b>Figura 44:</b> Valores del parámetro químico humedad para las magdalenas con co-producto de chufa.....	89
<b>Figura 45:</b> Valores del análisis sensorial (factor forma) de magdalenas con co-producto de chufa.....	93
<b>Figura 46:</b> Valores del análisis sensorial (factor color externo) de magdalenas con co-producto de chufa.....	93
<b>Figura 47:</b> Valores del análisis de sensorial (factor color interno) de magdalenas con co-producto de chufa .....	94
<b>Figura 48:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptación de la porosidad) de magdalenas con co-producto de chufa.....	95
<b>Figura 49:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptación del aroma) de magdalenas con co-productos de chufa .....	96
<b>Figura 50:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptación del sabor) de magdalenas con co-producto de chufa .....	97
<b>Figura 51:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptación del dulzor) de magdalenas con co-producto de chufa .....	98
<b>Figura 52:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptación de la Esponjosidad) de magdalenas con co-producto de chufa .....	99
<b>Figura 53:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptabilidad de la detección de partículas) de magdalenas con co-producto de chufa.....	100
<b>Figura 54:</b> Valores del análisis sensorial (factor aceptación general de las magdalenas) de magdalenas con co-producto de chufa.....	101
<b>Figura 55:</b> Resultados globales de las puntuaciones dadas por los jueces del análisis sensorial de magdalenas sin azúcar y con co-producto de chufa.....	102

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

A raíz de la puesta en marcha de la Estrategia NAOS (Estrategia para la Nutrición, Actividad Física y Prevención de la Obesidad) desde el Ministerio de Sanidad y Consumo, a través de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN), ha aumentado la preocupación por la relación entre la dieta y la salud por parte del consumidor, cada vez más concienciado a adoptar hábitos de vida saludables, principalmente a través de una alimentación sana y de la práctica regular de actividad física (Madera *et al.*, 2015).

De esta manera, la industria alimentaria trabaja para desarrollar alimentos originales, innovadores y optimizados que ayuden a la población a mejorar su salud, su bienestar y su longevidad. Estos productos, junto con cambios recomendados en los hábitos de vida, tendrán un impacto positivo en la salud pública y en la calidad de vida en general (FIAB, 2010).

El aumento de la población, el envejecimiento degenerativo y la obesidad son tres problemas clave para la industria alimentaria y las instituciones públicas, que deben trabajar juntas para encontrar soluciones (Nestlé, 2014).

Es en la obesidad donde se centran gran parte de los esfuerzos y recursos de la industria alimentaria en materia de I+D+I, ya que, como dice Lluís Serra Majem, especialista en medicina preventiva y salud pública y presidente de la Academia Española de Nutrición, la obesidad es uno de los problemas de salud pública más graves del siglo XXI.

La obesidad es un problema que se debe a un desequilibrio entre el aporte calórico de la dieta y su utilización. Su elevada incidencia en los países industrializados se debe a un aumento progresivo del consumo de grasas y azúcares refinados, que es significativamente mayor en las personas obesas, acompañado de una disminución de la ingesta de verdura y fruta, lo que condiciona un déficit de fibra en la dieta (Barberá Matéos y Marcos, 2007).

El 35,8 por ciento de los adultos españoles tiene sobrepeso y el 19,9 por ciento obesidad, según se desprende del estudio *Sobrepeso y obesidad general y abdominal* en una muestra representativa de adultos españoles: resultados del estudio científico ANIBES, publicado en la revista '*BioMed Research International*' y que ha sido coordinada por la Fundación Española de Nutrición (FEN) (IMEO, 2016).

La reducción del consumo de fruta y verdura en la dieta de la población no solo supone un factor que aumenta las probabilidades de padecer sobrepeso u obesidad, sino que, además, se dejan de consumir nutrientes esenciales de una dieta saludable que contribuyen al bien estar. Es por esto que han surgido los denominados alimentos funciones, para ofrecer alimentos que se consumen en grandes volúmenes con características saludables o mejoras nutricionales con respecto al producto original.

Los Alimentos Funcionales son aquéllos que proporcionan un efecto beneficioso para la salud más allá de su valor nutricional básico. No constituyen un grupo de alimentos como tal, sino que resultan de la adición, sustitución o eliminación de ciertos componentes a los alimentos habituales, si bien en un concepto amplio de alimento funcional se incluyen no sólo los productos manufacturados, sino también ciertos alimentos tradicionales (aceite de oliva, tomate, legumbres, etc.) que contienen componentes con “otras propiedades” beneficiosas para la salud que los avances científicos van descubriendo, más allá de las conocidas desde el punto de vista nutricional clásico (Barberá Matéos y Marcos, 2007).

La industria alimentaria está realizando una fuerte inversión en el desarrollo de este tipo de productos, que se refleja en el aumento de su presencia en los lineales de los supermercados. Esta presencia surge como respuesta a una creciente preocupación de la población por tener una alimentación adecuada y por la creciente asociación entre la alimentación, la salud y la belleza (Barberá Matéos y Marcos, 2007).

Uno de los productos de la industria alimentaria que más se está reinventando en el campo de los alimentos funcionales son los productos del sector de la panadería, bollería y repostería. Esto se debe fundamentalmente a su alto contenido en azúcares y grasas. Estos alimentos se caracterizan por su dulzor, su palatabilidad y su textura blanda, lo que favorece su masticabilidad. Todo esto va asociado, precisamente, a su elevado contenido en azúcares y grasas. Este es el motivo por el que, generalmente, se asocia el consumo de productos de bollería con el sobrepeso y la obesidad (Madera *et al.*, 2015).

Como consecuencia, las empresas del sector de bollería y pastelería se han visto obligadas a establecer la reducción de grasas y azúcares como una de sus prioridades, al mismo tiempo que se plantean aumentar los niveles de fibra y proteína en sus productos. Para alcanzar estos objetivos, la industria se ha visto obligada a realizar cambios en la formulación de sus productos (Madera *et al.*, 2015).

Dentro del sector de la bollería y la pastelería, el azúcar es uno de los ingredientes con mayor funcionalidad en los productos de bollería, por lo que es muy difícil encontrar un solo ingrediente capaz de realizar sus mismas funciones. Para sustituir al azúcar, la industria utiliza los edulcorantes, que pueden ser de dos tipos: los que únicamente tienen función edulcorante y los que además actúan como agentes de carga. Los primeros tendrán que ir siempre acompañados de otro ingrediente, como una fibra o un polialcohol que ejerza como agente de carga (Madera *et al.*, 2015).

El uso de la fibra como ingrediente funcional, además de como coadyuvante de los edulcorantes en la reducción del aporte calórico, cobró su propia importancia tras el establecimiento conjunto de OMS y la FAO de una ingesta diaria recomendada de fibra dietética total de 25 gramo/día y la dificultad de muchos sectores de la población para cumplir con esta recomendación de ingesta diaria, comenzaron a surgir los productos funcionales con alto contenido de fibra, que cada vez aparecen con más frecuencia a disposición de los consumidores.

El interés por la fibra surge a principios de los años 70, a partir de los trabajos de Burkitt en los cuales, a través de un estudio epidemiológico, puso de manifiesto que ciertas “enfermedades de la civilización” tales como el estreñimiento, la obesidad, la diabetes, o el cáncer de colon eran prácticamente inexistentes en países africanos, donde la ingesta de fibra dietética era mucho más elevada (Sánchez Almaraz *et al.*, 2015).

Distintos estudios han puesto de manifiesto el efecto beneficioso que el consumo de fibra puede tener sobre el metabolismo de la glucosa tanto en la población en general, como en personas con diabetes mellitus (Barberá Matéos y Marcos, 2007).

Esta es la causa por la que la industria alimentaria está trabajando en la elaboración de productos enriquecidos en fibra dietética con la intención de mantener en niveles bajos el IG, lo que favorecerá el control de esta patología (Barberá Matéos y Marcos, 2007).

Aun a pesar de todos los avances de los últimos años, el sector de panadería-bollería-pastelería tiene aún un largo camino por recorrer, dirigido a llevar a cabo iniciativas y proyectos en materia de innovación y desarrollo de nuevos productos.

### 1.1. PRODUCTOS DE PASTELERÍA Y REPOSTERÍA

Los productos de pastelería y repostería comprenden cuatro grupos principales de productos, que se encuentran definidos y clasificados según lo dispuesto en **el Real Decreto 496/2010**, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería, pastelería, bollería y repostería:

- Productos de confitería: A efectos de esta norma se entiende por productos de confitería aquellos productos alimenticios cuyos ingredientes fundamentales son los azúcares, junto con otros ingredientes incluidos los aditivos autorizados, y que en alguna fase de la elaboración se someten a un tratamiento térmico adecuado.
- Productos de bollería: Son los productos alimenticios elaborados básicamente con masa de harinas fermentada y que han sido sometidos a un tratamiento térmico adecuado. Pueden contener otros alimentos, complementos panarios y aditivos autorizados. Tipos de bollería: bollería ordinaria, sin relleno ni guarnición, y bollería rellena o guarnecida, que antes o después del tratamiento térmico adecuado se ha rellenado o guarnecido con diferentes productos alimenticios dulces o salados
- Productos de pastelería y repostería: Son los productos alimenticios elaborados básicamente con masa de harina, fermentada o no, rellena o no, cuyos ingredientes principales son harinas, aceites o grasas, agua, con o sin levadura, a la que se pueden añadir otros alimentos, complementos panarios o aditivos autorizados y que han sido sometidos a un tratamiento térmico adecuado. Existen dos variantes: pastelería y repostería dulce, y pastelería y repostería salada. En ambas se distinguen, al menos, cinco masas básicas:

- Masas de hojaldre: masas trabajadas con aceites o grasas, con las que se producen hojas delgadas superpuestas. Elaboradas básicamente con harina y con ingredientes como aceites o grasas y agua, con sal o no.
- Masas azucaradas: masas elaboradas fundamentalmente con harina, aceite o grasa y azúcares.
- Masas escaldadas: masas cocidas antes de someterlas al tratamiento térmico. Elaboradas fundamentalmente con harina, sal, agua, leche, aceites o grasas, y en su caso, bebidas alcohólicas.
- Masas batidas: masas sometidas a un batido, resultando masas de gran volumen, tiernas y suaves. Elaboradas fundamentalmente con huevos, azúcares, harinas o almidones.
- Masas de repostería: masas elaboradas a partir de las anteriores, preparadas con relleno o guarnición de otros productos. Se preparan en formas y tamaños diversos.
- Productos de bollería, repostería y panadería semielaborada: Son aquellos preparados alimenticios elaborados básicamente con masa de harinas fermentada o no, rellena o no, con ingredientes como harinas, aceites o grasa, sal, agua, con o sin levadura, a la que se le han añadido o no otros alimentos o aditivos. Posteriormente, son necesarios procesos de conservación autorizados.

## 1.2. MARCO LEGISLATIVO DE LOS PRODUCTOS DE PASTERERÍA Y REPOSTERÍA.

La normativa, tanto europea como nacional, que regula los productos de pastelería, repostería, bollería y confitería vigentes son:

- ❖ Real Decreto 496/2010, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería – pastelería, bollería y repostería.
- ❖ Reglamento (UE) nº 852/2004, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.
- ❖ Reglamento (UE) nº 2073/2005 de la Comisión, de 15 de noviembre de 2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios.

## 1.3. SITUACIÓN DEL SECTOR DE LA ALIMENTACIÓN EN ESPAÑA

España es uno de los principales productores agrarios de Europa. Ocupa el segundo lugar de la Unión Europea de este sector en términos de renta, explotaciones (989.800) y superficie (23,7 Mill. Has.), y el cuarto puesto en producción y valor monetario promedio de la producción final agraria (43.151 Mill. de €), (FIAB, 2016).

### 1.3.1. Consumo de productos de pastelería y repostería

Según los datos obtenidos por los Paneles de Consumo Alimentario del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), los españoles consumen 595,8 millones de kilos de bollería, pastelería, galletas y cereales (Mercasa, 2015).

Los hogares destinan el 4,19% de su presupuesto medio a la compra de esta categoría, lo que implica un gasto aproximado por persona y año de 62,92€, una cantidad superior en un 2,2% a la invertida en el año 2014, (MAGRAMA, 2016).

#### 1.3.1.1. Producción en España de productos de pastelería-repostería, bollería y confitería.

En cuanto a volumen y por orden de importancia, bollería y pastelería son las que mayor proporción de volumen en Kilogramos tienen, con el 43,3% sobre el total mercado. A continuación, le siguen las galletas con el 38,7%, siendo el resto de tipos más minoritarios. En el caso de productos navideños, su cuota en volumen es de tan solo un 5,7% (MAGRAMA, 2016). En la Figura 1 puede verse de forma clara la distribución del volumen de productos en España en función de su categoría.

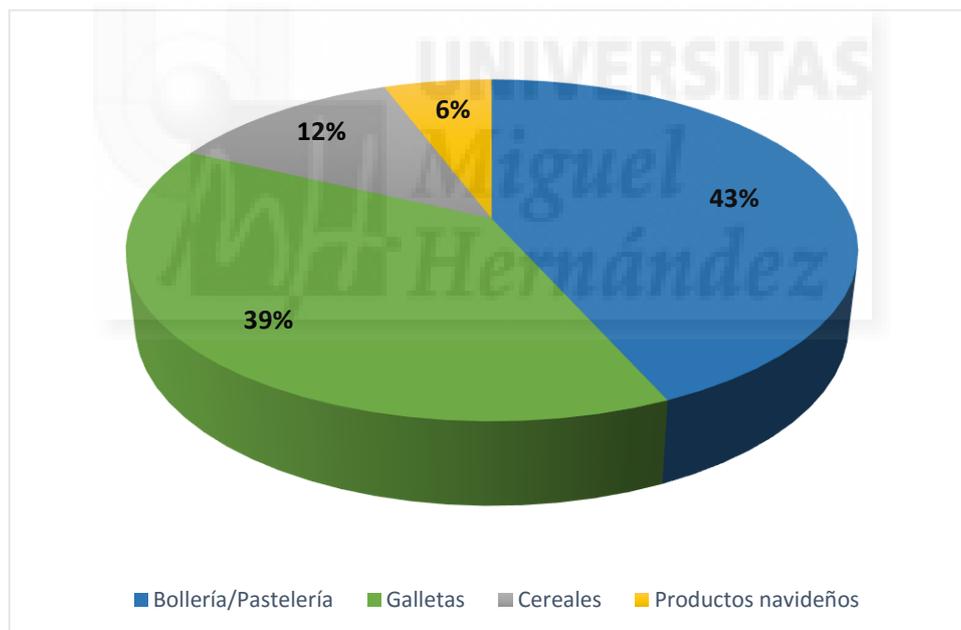


Figura 1: Producción de productos de bollería y pastelería, galletas, cereales y productos navideños en % (Kg).  
Fuente: MAGRAMA, 2016.

#### 1.3.1.2. Gasto económico en España de productos de pastelería, repostería y bollería.

El gasto total en productos de pastelería, repostería y bollería en España durante el 2014 alcanzó los 2.515,3 millones de euros (Mercasa, 2015). El desglose del gasto de los hogares españoles en cada categoría se muestra en la Figura 2.

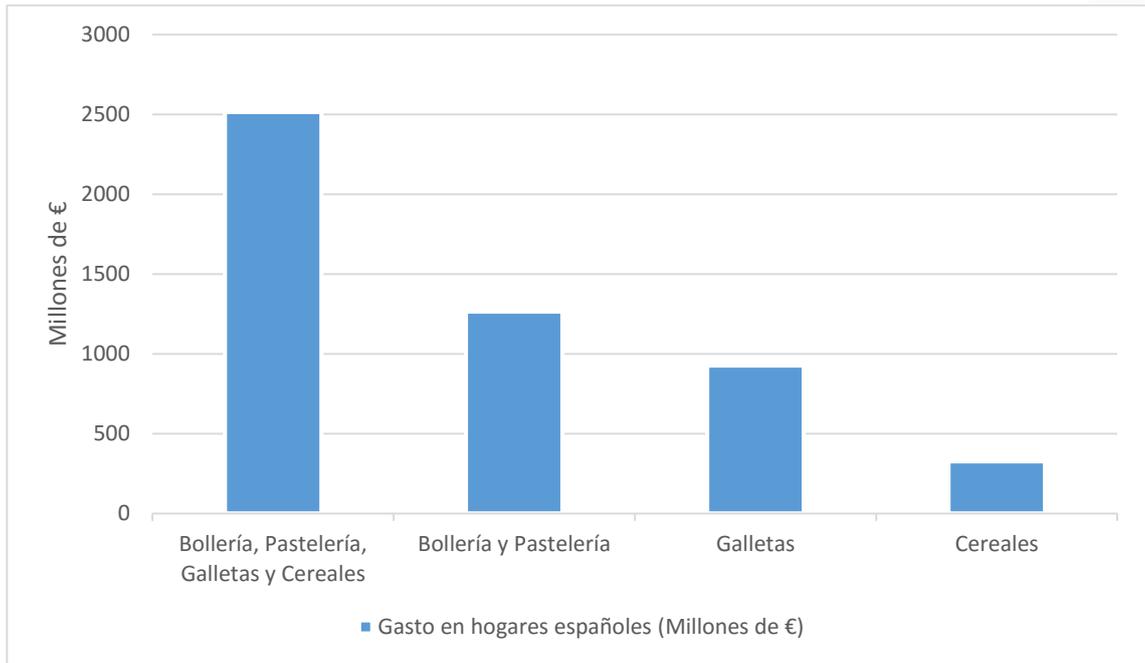


Figura 2: Gasto en hogares españoles (Millones de €) en productos de bollería, pastelería, galletas y cereales. Elaboración propia a partir de datos de Mercasa, 2015.

### 1.3.1.3. Consumo de magdalenas en España.

Una de las principales características de este mercado es la diversificación. Cuenta con numerosas categorías de producto, con pequeñas cuotas de mercado cada una de ellas. En la Figura 3 puede verse como se distribuye la cuota de mercado entre las tantas categorías.

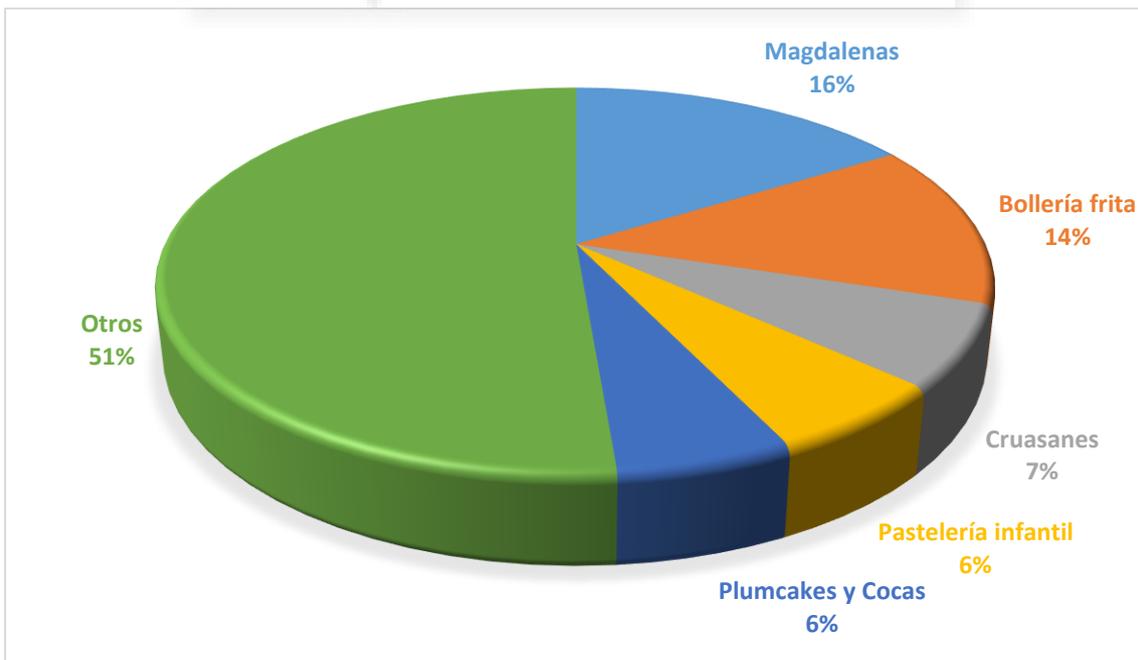


Figura 3: Consumo de pastelería-bollería en España, en el año 2015. Millones de € Elaboración propia a partir de datos de Financial Food en el año 2015.

De acuerdo con los datos de la revista *Financial Foods*, el segmento más relevante en valor (Millones de €) es el de las magdalenas, con un 16,1% del total del mercado, lo que supone un descenso del 0,4% con respecto al año anterior. En segundo lugar, aparece la bollería frita grande, con un 13,8% de participación. Esta categoría, en cambio, ha registrado un incremento del 15,1% frente al año 2014.

La tercera categoría en importancia son los cruasanes, con un 6,9% del mercado. En este segmento ha experimentado una subida del 1,9%. Por otro lado, ocurre lo contrario con la pastelería infantil, que cae un 7,4% en 2015, hasta lograr una cuota de mercado del 6,1% este año.

Con una participación del 5,8% se sitúan los *plumcakes* y las cocas, mientras que por debajo de la barrera del 5% se sitúan el resto de productos de esta categoría, abarcando entre todos ellos el 51,3% del consumo total de productos de pastelería-bollería, galletas y cereales.

A pesar de la popularidad de estos productos y su habitual consumo por la población general, hay sectores especiales de población que por motivos de salud no pueden consumir este tipo de productos.

Los productos de pastelería, bollería y repostería, entre los que se encuentran las magdalenas, suelen contener una importante cantidad de azúcar en su formulación. El azúcar cumple un papel importante en las características de estos productos, más allá de su función endulzante. Forma parte de una compleja emulsión formada por el azúcar y el resto de ingredientes que determinan la obtención de una buena estructura y una masa estable, lo que requiere una incorporación de muchas burbujas de aire pequeñas. El azúcar juega un rol importante en el retraso de la gelatinización del almidón, lo que permite la expansión apropiada de las burbujas (Martínez Cervera *et al.*, 2010).

Sin embargo, la utilización de azúcar en estos productos los hace, en la mayoría de los casos, inapropiados para un sector de la población como son las personas diabéticas, que a menudo se ven olvidadas por el sector alimentario en cuanto a la oferta de productos para sectores concretos de la población.

#### **1.4. DIABETES MELLITUS.**

La *diabetes mellitus*, o simplemente diabetes, es una enfermedad crónica que ocurre cuando el páncreas no es capaz de producir insulina o cuando el cuerpo no puede hacer un buen uso de la insulina que produce. La insulina es una hormona producida por el páncreas, que actúa como una llave para que la glucosa de los alimentos que ingerimos pasen de la sangre a las células en el cuerpo para producir energía. Todos los alimentos ricos en carbohidratos se descomponen en glucosa en la sangre. La insulina ayuda a la glucosa a entrar en las células. No ser capaz de producir insulina o utilizarla conduce efectivamente a un incremento de los niveles de glucosa en la sangre (conocido como hiperglucemia). A largo plazo altos niveles de glucosa

están asociados con daños en el cuerpo y el fallo de diversos órganos y tejidos. (*International Diabetes Federation, 2016*).

Existen tres tipos de diabetes:

- Diabetes tipo 1
- Diabetes tipo 2
- Diabetes gestacional

#### **1.4.1. Diabetes tipo 1.**

La diabetes tipo 1 está causada por una reacción autoinmune, en la que el sistema de defensa del cuerpo ataca las células beta productoras de insulina en el páncreas. Como resultado, el cuerpo ya no puede producir la insulina que necesita. No se sabe muy bien por qué ocurre esto. La enfermedad puede afectar a personas de cualquier edad, pero generalmente se presenta en niños o adultos jóvenes. Las personas con este tipo de diabetes necesitan insulina todos los días para controlar los niveles de glucosa en sangre. Sin insulina, una persona con diabetes tipo 1 muere.

Las personas con diabetes tipo 1 pueden llevar una vida normal y saludable a través de una combinación de terapia de insulina diaria, vigilancia estrecha, una dieta saludable y ejercicio físico regular (*Federación Internacional de la Diabetes, 2016*).

#### **1.4.2. Diabetes tipo 2**

La diabetes tipo 2 es el tipo de diabetes más común. Por lo general ocurre en adultos, pero cada vez más aparece en niños y adolescentes. En la diabetes tipo 2, el cuerpo puede producir insulina, pero o bien esto no es suficiente o bien el cuerpo no puede responder a sus efectos, dando lugar a una acumulación de glucosa en sangre. Muchas personas con diabetes tipo 2 no son conscientes de su enfermedad durante mucho tiempo, ya que los síntomas pueden tardar años en aparecer o ser reconocidos, pero durante este tiempo el cuerpo está siendo dañado por el exceso de glucosa en sangre. Estas personas suelen ser diagnosticadas sólo cuando las complicaciones de la diabetes ya se han desarrollado.

A diferencia de las personas con diabetes tipo 1, la mayoría de las personas con diabetes tipo 2 no requieren, por lo general, dosis diarias de insulina para sobrevivir. Muchas personas pueden controlar su enfermedad a través de una dieta sana y una mayor actividad física, y medicación oral. Sin embargo, si no son capaces de regular sus niveles de glucosa en sangre, puede que tengan que tomar insulina (*Federación Internacional de la Diabetes, 2016*).

#### **1.4.3. Diabetes gestacional**

La diabetes gestacional tiende a ocurrir tarde en el embarazo, por lo general alrededor de la semana 24. La condición se produce debido a que la acción de la

insulina es bloqueada, probablemente por las hormonas producidas por la placenta, provocando insensibilidad a la insulina.

Dado que la diabetes gestacional normalmente se desarrolla tarde en el embarazo, el feto ya está bien formado, pero sigue creciendo. Por tanto, el riesgo inmediato para el bebé no es tan grave como en el caso de que la madre tenga diabetes tipo 1 o diabetes tipo 2 antes del embarazo. Sin embargo, la diabetes gestacional no controlada puede tener graves consecuencias, tanto para la madre como para el bebé (Federación Internacional de la Diabetes, 2016).

### **1.5. MEDIDAS DE CONTROL DE LA DIABETES**

El tratamiento de los diabéticos tiene por objeto normalizar la glucemia y también minimizar las complicaciones derivadas de la diabetes. El tratamiento debe adaptarse al paciente, que ha de aprender a conjugar el control de la glucemia con la regulación de su alimentación y la actividad física, así como, si es necesario, la toma de hipoglucémicos orales o inyecciones de insulina (Comisión de las Comunidades Europeas, 2008).

#### **1.5.1. Alimentación**

Las recomendaciones en materia de alimentación para la población diabética no difieren mucho de las dadas para una dieta sana y equilibrada para toda la población. Sin embargo, la Fundación para la Diabetes indica que si es fundamental que las personas diabéticas cumplan una serie de objetivos y recomendaciones con mayor rigurosidad que el resto de población para disminuir los factores de riesgo y mejorar la calidad de vida, como son: Alcanzar y mantener el normopeso, comer poco y a menudo y evitar los azúcares de absorción rápida, porque elevan de forma brusca los niveles de glucosa en la sangre.

La alimentación de las personas diabéticas es parte del tratamiento, que como toda dieta y estilo de vida sana debe incluir actividad física.

En el tratamiento nutricional de esta enfermedad se manejan con frecuencia conceptos de índice glucémico y cantidad de fibra:

Las mejores opciones de alimentación para las personas con diabetes deberían tener en cuenta su efecto sobre otros factores de riesgo, como la tensión arterial y el colesterol en sangre. Los alimentos que a este respecto deberían limitarse son los alimentos con un alto contenido en grasas y los ricos en azúcares, incluso aunque estos alimentos puedan tener un índice glucémico bajo.

Respecto a la fibra, cuando la estructura del grano sigue intacta, como sucede en los productos integrales, el alimento es más probable que se resista a ser digerido para convertirse en glucosa en el intestino delgado y que pase al intestino grueso, en donde fermentará. Además, un alto contenido en fibras (especialmente cuando la fibra está en forma soluble) parece ir asociado a un bajo índice glucémico (Mann *et al.*, 2004).

La Asociación Americana de Diabetes (ADA) sigue recomendando un consumo de fibra entre 20-35 g/día tanto soluble como insoluble para mantener un mejor control glucémico e insulínico.

### 1.6. LA DIABETES EN ESPAÑA.

Con motivo del día mundial de la diabetes, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado perfiles de la situación nacional en cuanto a la prevención y control de la diabetes de los diferentes países. Los perfiles que se han desarrollado incluyen datos sobre la prevalencia y tendencias; mortalidad, factores de riesgo; disponibilidad de planes nacionales de lucha contra la diabetes; vigilancia; políticas de prevención y tratamiento; medicamentos disponibles; técnicas y procedimientos básicos.

La diabetes representa directamente el 3% de la mortalidad total, teniendo en cuenta las diferentes patologías causantes del fallecimiento de la población. En la figura siguiente puede verse la distribución de la mortalidad en España en porcentaje total de muertes en todas las edades.

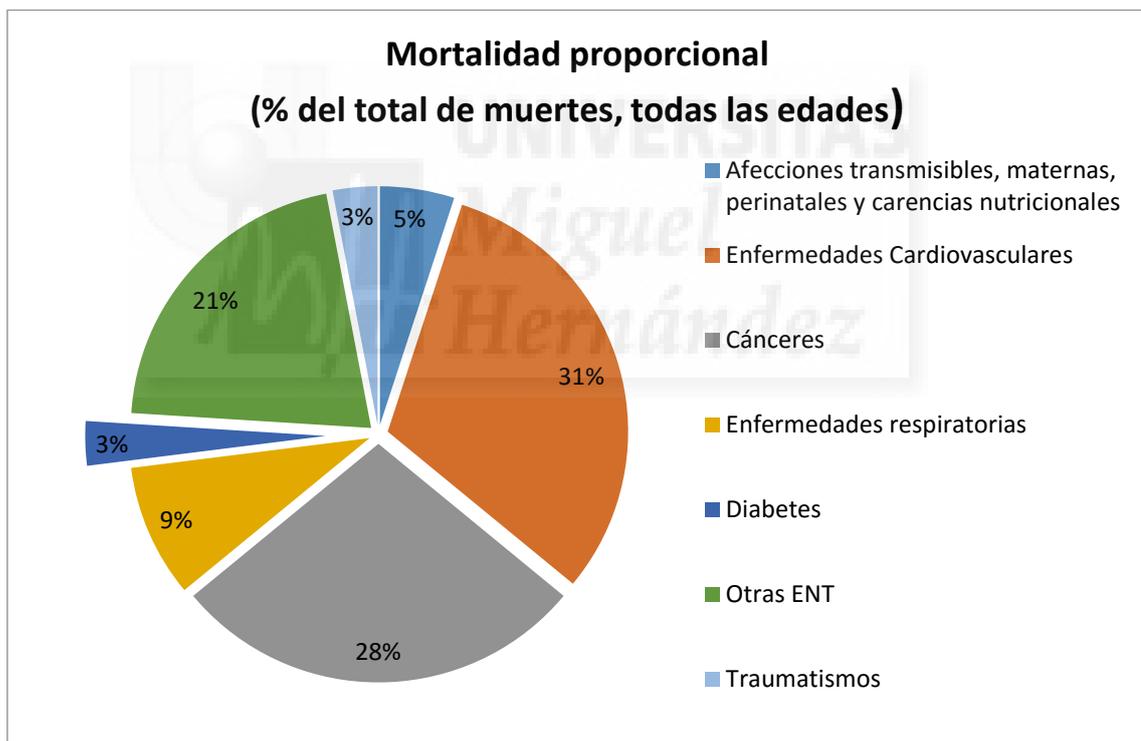


Figura 4: Datos de mortalidad total en España por diferentes patologías.  
Fuente: OMS 2016.

En el análisis realizado a España, la mortalidad por diabetes en población, de entre 30 y 69 años, es de un 67'6% hombres y el 32'4% mujeres, mientras que en el rango de edad de 70 o más años las defunciones en hombres suponen el 39'9% y las mujeres el 60'1%.

Por otro lado, se atribuyen a la hiperglucemia 2.090 muertes de varones de entre 30 y 69 años frente a 630 de mujeres de la misma edad. En cuanto a población mayor

de 70 años estos datos se disparan en ambos casos, con respecto a los datos anteriores, con 8.590 defunciones en hombres y 11.100 en mujeres.

En cuanto a la prevalencia de la diabetes y los factores de riesgo, el sobrepeso es el factor de mayor incidencia en España, afectando en un 70'3% a hombres y en un 60'9% a mujeres. La inactividad física y la obesidad siguen al sobrepeso, con una prevalencia del 29'2% en hombres y del 37'4% en mujeres la inactividad física tiene mayor peso que la obesidad, que supone el 24'9% en hombres y el 28% en mujeres.

Por último, la prevalencia de la diabetes se encuentra en un 10'6% en hombres y 8'2% en mujeres, que a pesar de parecer una cifra baja la tendencia es al aumento en todas las edades y principalmente en hombres más que en mujeres.

La OMS considera que España aplica políticas, estrategias y planes de acción contra la diabetes y para reducir el sobrepeso, la obesidad y la inactividad física, cumpliendo y aplicando plenamente las directrices, protocolos y normas nacionales. Sin embargo, España desgraciadamente no cuenta con un registro de casos de diabetes, lo que dificulta el seguimiento de esta enfermedad y su evolución a lo largo de los años, una herramienta útil a la hora de comprobar la efectividad de las estrategias y planes de acción contra la diabetes (Organización Mundial de la salud, 2016).

Como medida para contrarrestar la incidencia de casos de diabetes y sus factores de riesgo en la población, la industria panadera y repostería trata de elaborar cada vez más productos con un contenido en azúcar más reducido e incluso nulo. Para lograr este objetivo y colaborar con el control y reducción de la diabetes y la obesidad, la industria desarrolla y lleva a los consumidores cada vez más productos elaborados con edulcorantes.

## **1.7. EDULCORANTES**

El contenido energético de los productos dulces puede ser apropiadamente reducida por sustitutos de la sacarosa con edulcorantes de alta intensidad no nutritivos, naturales o artificiales. Sin embargo, la reducción del contenido en sacarosa está acompañado por cambios significativos en la textura, volumen, color, sabor y la vida media de los productos. Estos cambios pueden influenciar negativamente la aceptabilidad de los productos e incluso afectar a las propiedades del procesado de la masa (Struck *et al.*, 2014).

### **1.7.1. Definición**

Los edulcorantes se definen, según el Anexo I del Reglamento (CE) No 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios, como sustancias que se emplean para dar un sabor dulce a los alimentos o en edulcorantes de mesa.

### 1.7.2. Clasificación

Los edulcorantes se pueden agrupar en diferentes grupos, en función de su contenido calórico, según su origen e incluso según su estructura química. El origen natural del edulcorante no implica una mayor seguridad o eficacia y, en este sentido, existe una gran desinformación por parte del consumidor. Existen multitud de sustancias con poder edulcorante. En la Tabla 1 se muestran algunos de ellos clasificados por su contenido calórico, origen y tipo de edulcorante.

Tabla 1: Clasificación de los diferentes tipos de edulcorantes según su aporte calórico.

Tipos de edulcorantes			
Calóricos	Naturales	Azúcares	Sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa y trehalosa, tagatosa
		Edulcorantes naturales calóricos	Miel, jarabe de arce, azúcar de palma o de coco y jarabe de sorgo
	Artificiales	Azúcares modificados	Jarabe de maíz de alto fructosa, caramelo, azúcar invertido
		Alcoholes del azúcar	Sorbitol, xilitol, manitol, eritritol, maltitol, isomaltulosa, lactitol, glicerol
Sin calorías	Naturales	Edulcorantes naturales sin calorías	Luo Han Guo, Estevia, taumatina, pentadina, monelina, brazzeína
	Artificiales	Edulcorantes artificiales	Aspartamo, sucralosa, neotamo, acesulfame K, ciclamato, neohesperidina DC, alitamo, advantamo

Fuente: García-Almeida *et al.* 2013

### 1.7.3. El uso de edulcorantes en productos para diabéticos

Existe mucha polémica sobre el uso de edulcorantes en personas con diabetes. En algunos casos se ha relacionado su consumo con efectos secundarios no deseados para la salud.

Como, por ejemplo, un estudio realizado por los investigadores Eran Elinav y Eran Segal del *Weizmann Institute of Science* (Israel) y publicado en la revista *Nature*, sobre los efectos de la ingesta de tres sustancias edulcorantes (Sacarina, sucralosa y aspartamo), en poblaciones de ratones. Los investigadores sostienen que el consumo de estos aditivos puede provocar en algunas personas intolerancia a la glucosa, lo que supone el primer paso hacia la diabetes y otras alteraciones metabólicas relacionadas con la obesidad.

Por otro lado, otros profesionales son más prudentes y matizan los resultados obtenidos por el grupo israelí, como en el caso de Miguel Ángel Rubio, secretario de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición. El secretario español hace hincapié en que no se han reportado problemas sanitarios relacionados con el consumo de las dosis habituales de consumo de los edulcorantes comercializados. Esta aclaración se debe a que en el estudio israelí se aplica a los ratones la máxima dosis permitida por las autoridades sanitarias estadounidenses (*Food and Drugs Administration, FDA*).

Además, critica que gran parte de las conclusiones expresadas en el artículo provienen de las pruebas realizadas a ratones, que claramente son una especie diferente a la humana y, por tanto, no se pueden trasladar los resultados a las condiciones humanas directamente.

El endocrino del hospital de Móstoles, Alberto Fernández, opina en la misma dirección que Miguel Ángel Rubio, exponiendo además que “la flora de los ratones es distinta a la nuestra”. Insiste en que los cientos de miles de estudios realizados en personas avalan que “el consumo de edulcorantes es seguro” (Prats, 2014).

En cualquier caso, estos estudios no son los suficientemente serios y concluyentes, por lo que en la actualidad su uso está autorizado en nuestro país, siendo considerados como seguros. No obstante, se recomienda el uso razonable de estos edulcorantes, evitando el uso abusivo que podría dar lugar a dosis por encima de las recomendadas. Algunas personas utilizan edulcorantes a base de fructosa o similares, como algunos siropes de agave. La fructosa, aunque de forma más lenta, también aumenta las cifras de glucosa en sangre (Murillo, 2015).

Para poder ofrecer productos aptos para personas diabéticas se emplea habitualmente **Edulcorantes**.

Los edulcorantes artificiales, como se ha indicado anteriormente (Punto 1.5.1) son un grupo de sustancias que aportan sabor dulce a los alimentos sin aumentar el aporte en hidratos de carbono. De este modo, al utilizar estas sustancias en lugar del azúcar se reduciría la cantidad de hidratos de carbono ingeridos y con ello, se moderarán los niveles de glucosa en sangre.

Estos sustitutos presentan tres ventajas potenciales frente a la sacarosa como ingredientes alimentarios: no promueven el desarrollo de caries dentales, debido a que las bacterias cariogénicas no pueden fermentar los polialcoholes; en segundo lugar, producen una menor respuesta glucémica que la sacarosa, por lo tanto son aptos para diabéticos; y por último, contienen un menor contenido calórico, además de por su contenido en sí, por ser más endulzantes que el azúcar y necesitar una menor cantidad en masa (Kroger *et. al.* 2006)

No todos los edulcorantes vistos anteriormente en la Tabla 1 son aptos para ser usados en productos horneados, debido a que deben ser capaces de soportar unas ciertas condiciones de temperatura sin sufrir alteración de algún tipo. Ejemplos de estos edulcorantes aptos para su uso en productos horneados son los alcoholes de azúcares o polialcoholes, que son típicos reemplazantes del azúcar (Oligner y Velasco, 1996), usándose en combinación por sus efectos sinérgicos. La sacarina es posiblemente el más antiguo y conocido de estos endulzantes dentro y fuera de los productos de panadería y bollería. La sucralosa y la estevia son los edulcorantes que han tomado el relevo a la sacarina y uso en éste ámbito se ha incrementado en los últimos años, al igual que los estudios en torno a estos edulcorantes, como los realizados por Lemus Mondaca *et al.*, (2012), Abdalbasit *et al.*, (2014), Ródenas Gallego (2014) y Struck *et al.*, (2015).

#### 1.7.4. Estevia

La *Stevia rebaudiana Bertoni* es un pequeño arbusto herbáceo de la familia de los crisantemos, el mayor dulzor de la planta reside en sus hojas perennes.

Actualmente solo se permite la comercialización y el uso del edulcorante E-960, glucósidos de esteviol, procedentes de *Stevia rebaudiana*, mediante el Reglamento (UE) nº 1131/2011. Con respecto a la planta y hojas de *Stevia rebaudiana*, a día de hoy se encuentra bajo la consideración de nuevo alimento/ingrediente, por lo tanto, requiere de autorización bajo el Reglamento de Nuevos alimentos, junto con una evolución de su seguridad por no existir historiales previos del consumo en alimentación de la planta o alguna de sus partes, ya sea fresca o seca, antes del 15 de mayo de 1997, fecha de entrada en vigor del Reglamento CE 258/1997, sobre nuevos alimentos y nuevos ingredientes alimentarios (AECOSAN, 2016).

Hasta la fecha, se encuentran diez diferentes compuestos químicos, responsables del sabor dulce de la planta: esteviósido, rebaudiósido A, B, C, D, E y F, dulcosida A, rubusosida y steviolbiosida. La mayor concentración del efecto dulce proviene del esteviósido y del rebaudiosida A (De María Méndez *et al.*, 2012).

El esteviósido es un glucósido diterpenoide alrededor de 300 veces más dulce que la sacarosa (solución 0.4 %). Es una sustancia 100 % natural y sin calorías. Las ventajas del esteviósido son numerosas: no es tóxico, sin calorías, estable al calor, no fermenta, resalta los sabores, 100 % natural, sin retrogusto ni amargor, sin efectos cariogénicos, no es un edulcorante adictivo para niños, las hojas y el esteviósido pueden ser cocinados, y sólo se necesitan pequeñas cantidades (*European Stevia Association*, 2016).

La estevia como edulcorante puede presentarse en diferentes formatos, en los cuales su poder edulcorante varía en función de lo purificados que estén los esteviósidos.

En forma de hoja molida es entre 20 y 35 veces más dulce que el azúcar. El líquido claro y transparente obtenido por disolución de los esteviósidos es 40 veces más dulce que el azúcar. El líquido concentrado negro verdoso obtenido por cocción es 70 veces más dulce que el azúcar. El polvo blanco o esteviósido es superior a 300 veces el dulzor del azúcar (Martínez, 2002).

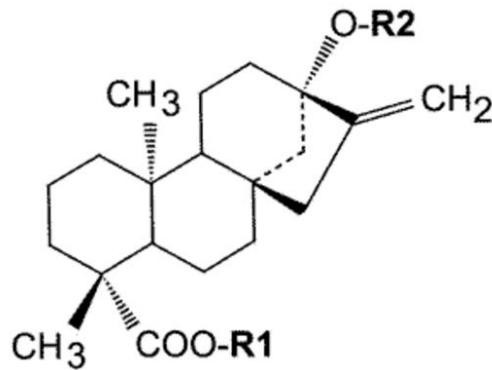


Figura 5: Estructura química del Esteviósido

### 1.8. Definición y Tipos de fibra

A lo largo de los años, la fibra ha sido definida de diversas formas en un gran número de artículos y por distintas asociaciones nacionales e internacionales. A continuación, podemos encontrar algunas de las muchas definiciones que han sido dadas para la fibra alimentaria o dietética:

A principios de los 70, la fibra dietética fue definida como la parte de las paredes celulares de las plantas, incluidas en la dieta humana, que resiste la acción de las secreciones del tracto gastrointestinal y que, por lo tanto, no es bien digerida por los seres humanos (López Salinas, 2012).

En 1974 se modificó la definición para incluir otras sustancias asociadas a los polisacáridos estructurales, tales como: la lignina, ceras, polifenoles, etc. (García Ochoa *et al.*, 2008).

Posteriormente en 1976, varios autores definieron la fibra alimentaria como “la suma de todos los polisacáridos y la lignina, resistente a (hidrólisis) la digestión por las enzimas digestivas de los seres humanos (Mc Cleary *et al.*, 2012).

Por otro lado, la *American Association of Cereal Chemists* (AACC) publicó en 2001 una nueva definición de fibra. Se entiende por fibra la parte de las plantas comestibles que no es degradada por los procesos de digestión y absorción en el intestino del gado humano y que fermenta parcial o totalmente en el intestino grueso. Esta fibra alimentaria está formada por polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias análogas (Borderías *et al.*, 2005; Delcour, 2012).

La fibra dietética se encuentra en alimentos de origen vegetal poco procesados tecnológicamente, como los cereales, frutas, verduras y legumbres. Las fibras se describen como polisacáridos no almidonados, entre los que se encuentran: celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucílagos. También presentan algunos compuestos no polisacáridos como la lignina y los taninos (García Latorre, 2009).

Actualmente, la legislación española define la fibra alimentaria según el Real Decreto 1669/2009 como los polímeros de hidratos de carbono con tres o más

unidades monoméricas, que no son digeridos ni absorbidos en el intestino delgado humano.

La fibra total es la suma de la dietética, que corresponde a la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. Incluye los polisacáridos, los oligosacáridos, la lignina y las sustancias asociadas de la planta, y la funcional, un concepto moderno que incluye otros hidratos de carbono absorbibles como el almidón resistente, la inulina y la lactulosa (Navarro Ramirez, 2012).

Se puede clasificar en fibra fermentable, soluble y viscosa, y en fibras escasamente fermentables, insolubles y no viscosas.

- Las fibras solubles en contacto con el agua forman un retículo en el que esta queda atrapada, con lo que se originan soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico e hidrocarbonado (Navarro Ramirez, 2012).
- Las fibras insolubles o poco solubles son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal (Navarro Ramirez, 2012).

#### **1.8.1. Beneficios del uso de fibra en el control de la diabetes**

Los beneficios del consumo de la fibra sobre la diabetes tipo 2 radican principalmente en el consumo de la fracción soluble, la cual es la más eficaz en el control de la glucemia. Esta retrasa el vaciamiento gástrico y disminuye la absorción de glucosa al quedar atrapada por la viscosidad de la fibra. Como consecuencia queda menos accesible a la acción de la amilasa pancreática. Además de que a diferencia de la insoluble no tiene efecto laxante. Por otro lado, el propionato influiría en la neoglucogénesis: al disminuir la producción hepática de glucosa y el butirato reduce la resistencia periférica a la insulina.

El papel que juega la dieta tanto en el tratamiento de la diabetes como de otras patologías es vital, por lo que se recomienda un consumo adecuado de fibra en la ingesta diaria para obtener los beneficios de la misma. Para esto debe aumentarse la ingesta de frutas, vegetales, legumbres y cereales integrales como el trigo, el centeno y el arroz, sin necesidad de utilizar suplementos de fibra purificados (Navarro Ramirez, 2012).

#### **1.8.2. Productos fuentes de fibra.**

El Reglamento (CE) Nº 1924/2006 es la legislación según la cual se regula que alimentos pueden recibir la declaración nutricional de “fuente de” o “alto contenido en”, dependiendo de la cantidad de fibra que estos alimentos contengan. En el caso de

la denominación fuente de fibra, podrá usarse esta declaración para productos con un mínimo de 3 g fibra/100 g (ó 1,5 g fibra/100 kcal), mientras que alto contenido en fibra serán aquellos productos con un mínimo de 6 g fibra/100 g (ó 3 g/100 kcal).

Las fuentes de fibra pueden ser naturales y sin procesar (por ej.: el salvado), aisladas (por ej.: celulosa y diversas gomas), modificadas (por ej.: carboximetilcelulosa) o de no procedencia vegetal, (por ej.: xilanos y polidextrosa) (Lebesi y Tzia, 2009).

Tradicionalmente los principales alimentos donde podemos encontrar la fibra en su composición nutricional son de origen vegetal, aunque las cantidades en las que está presente en estos alimentos varía en función del tipo de vegetal, es decir, no contienen la misma cantidad de fibra un cereal que una fruta, una legumbre o una hortaliza.

Actualmente, tanto las fuentes de fibra tradicionales como las más recientes sirven de base para la elaboración y formulación de alimentos enriquecidos. El enriquecimiento en fibra de alimentos ya no es solo la adición de los alimentos que sean ricos en ella, como es la adición de cereales o sustitución de la harina por otras integrales, sino que la adición de la fibra purificada es cada vez más habitual, extraída directamente de la fuente sin procesar o a partir de subproductos generados en la producción de alimentos, que pasan a ser co-productos con su propio valor comercial.

La fibra dietética obtenida a partir de frutas (naranja, melocotón, higo, uva, kiwi, etc.) tiene, en general, una mejor calidad nutricional que la fibra que se encuentra en los cereales. Estas fibras tienen una ventaja adicional debida a la presencia de compuestos bioactivos asociados (flavonoides, Vitamina C, carotenoides, entre otros), con propiedades antioxidantes y una composición más equilibrada (en general, mayor contenido de fibra, agua y capacidad de retención de grasa) (Lario *et al.*, 2004; Fernández López, 2008; Fernández López, 2009; Sendra *et al.*, 2008).

La principal ventaja de la fibra dietética obtenida de frutas, en comparación con otras fuentes de fibra tales como cereales, es su mayor proporción en fibra dietética soluble (alrededor del 33% en fruta y sólo un 7% en salvado de trigo) (Fernández López, 2008)

Las frutas, verduras, cereales y legumbres contienen fibra soluble e insoluble en diferente proporción. Los cereales y vegetales poseen aproximadamente un 30 por ciento de fibra soluble con respecto al contenido de fibra total, las legumbres un 25 por ciento, y las frutas casi un 40 por ciento. La fibra insoluble se encuentra en el tegumento y en el esqueleto del vegetal, así como en la cáscara de la fruta y los cereales (Fundación Española del Corazón, 2016).

Las fibras solubles se encuentran principalmente en las frutas y verduras, especialmente en manzanas, naranjas, zanahorias, brócoli y cebollas. También en el salvado de avena, cebada, nueces, almendras, avellanas, y legumbres (Fundación Española del Corazón, 2016).

Las insolubles están presentes en la parte externa de semillas y granos, salvado de trigo, maíz, cereales integrales, en las cáscaras de las manzanas y peras, en la parte blanca de las frutas cítricas y legumbres (Fundación Española del Corazón, 2016).

Dos buenos ejemplos de alimentos fuentes de fibra son el melocotón y la chufa. A pesar de ser ambos alimentos fuentes de fibra, las proporciones de fibra soluble e insoluble que componen su contenido en fibra dietética total son diferentes, variabilidad que ya ha sido comentada anteriormente.

La fibra dietética procedente del melocotón tiene una proporción de fibra soluble mayor que la encontrada en cereales, ésta representó el 34% del contenido de fibra dietética total del producto, y la ingestión de este tipo de fibra puede tener efectos fisiológicos beneficiosos. También presenta un contenido equilibrado en fibra, grandes propiedades funcionales y un bajo valor energético, por lo que puede ser utilizada en la industria alimentaria como ingrediente en productos dietéticos y bajos en calorías (Grigelmo Miguel *et al.*, 1999)

El co-producto de horchata puede formar hasta el 60% del material vegetal cosechado, cuya administración representa un problema adicional para la industria. Este co-producto alimentario puede ser usado para la producción de ingredientes alimenticios, por ejemplo, polifenoles, proteínas aisladas y fibra dietética. Los restos sólidos de la elaboración de horchata contienen una alta proporción de fibra dietética total (59,71 g/100 g), compuesto principalmente por fibra dietética insoluble (99,8%) (Sánchez Zapata *et al.*, 2009).

El aumento de las aplicaciones del subproducto generado en la producción de alimentos, en diferentes áreas de la industria alimentaria y dentro de la no alimentaria, concede soluciones a las dificultades de industrias concretas como la horchatera, con una elevada producción de subproductos, a la hora de su tratamiento administrativo y aportando un valor añadido al material vegetal. Esto repercute también de manera positiva en el consumidor al ver ampliada la gama de productos que hay a su alcance en el mercado.

### **1.9. INCORPORACIÓN DE CO-PRODUCTO DE CHUFA COMO POTENCIAL INGREDIENTE FUNCIONAL.**

España es un gran productor de chufa, contando con una superficie de 309 hectáreas de cultivo en toda España durante el año 2015, según la Encuesta sobre superficies y rendimiento de cultivos anual que realiza el MAGRAMA. La producción de este tubérculo tiene como fin ser usado como materia prima en la elaboración de horchata (MAGRAMA, 2016).

Tras la fabricación de esta se genera una gran cantidad de residuos (aproximadamente el 60%). Este residuo constituye ya no solo un problema económico para las empresas, sino también un problema medioambiental. Es por ello que las industrias intentan darle un uso a este residuo.

El aprovechamiento de los subproductos puede servir para obtener un valor añadido a los productos donde podrían incluirse, mejorando sus características sensoriales, equilibrándolos en cuanto a las necesidades nutritivas, así como elaborando alimentos sensoriales (Mateos Aparicio, 2008).

Hasta ahora los co-productos de la industrialización de la chufa se destinaban al compostaje, como materia orgánica o a la alimentación animal. Estos co-productos presentan en su composición una gran cantidad de compuestos bio-activos de elevado valor añadido como son polifenoles, aislados proteicos y fibra dietética (Sánchez-Zapata *et al.*, 2009).

En la composición química de los co-productos procedentes de la industrialización de la chufa hay que destacar que las grasas que aporta tienen un perfil de ácidos grasos similares al aceite de oliva. Así mismo presenta un alto contenido en fibra dietética, fundamentalmente fibra insoluble con la consiguiente mejora en la función intestinal, disminuye la colesterolemia y la glucemia y el riesgo de padecer cáncer de colon (Sánchez-Zapata *et al.*, 2009).

Por su potencial como ingrediente funcional en los alimentos se investiga su aceptación, por parte de los consumidores, cuando se incorpora a diversos productos como son productos cárnicos o en pastelería. A su vez, se estudia los efectos que su incorporación tienen sobre las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y sensoriales. Estos parámetros determinan la adecuación de la incorporación del co-producto al evaluar la calidad analítica y organoléptica del producto final.

En el presente estudio se realizará la adición de co-producto de chufa a magdalenas con estevia, basado en los resultados de los estudios anteriormente realizados por López Salinas (2012), en donde se evalúa tanto la aceptación organoléptica como parámetros físicos, químicos y físico-químicos de la aplicación de co-productos de chufa y naranja en magdalenas, y por Rodenas Gallego (2014), donde se estudia la aplicación de diferentes edulcorantes aptos para diabéticos (Estevia y Sucralosa) frente a la sacarosa y en combinación de la adición de diferentes aromas. La elección de incorporar el co-producto y el edulcorante mencionado se justifica en que en ambos estudios las muestras mejor valoradas en el estudio sensorial fueron las magdalenas con co-producto de chufa y las elaboradas con estevia.

En los últimos años la demanda de productos saludables y funcionales por parte de los consumidores ha ido en aumento, al igual que la exigencia por parte de los consumidores de un mayor aprovechamiento de los recursos y reducir los residuos generados por las industrias. Es por esto que la revalorización de subproductos se ha vuelto un objetivo importante para las empresas, ofreciendo así nuevos productos en el mercado.

Este estudio pretende ofrecer un producto saludable por su incorporación de co-producto de chufa y su reducción calórica al utilizar estevia como edulcorante, el cual está destinado a la población general que esté preocupada por su salud, pero fundamentalmente pretende cubrir la demanda de productos aptos para personas

diabéticas. Este co-producto tiene una doble misión, la primera es la de aumentar el contenido en fibra dietética del producto base y con ello aumentar los beneficios saludables ofrecidos al consumidor. Otra es la de ofrecer un nuevo uso al subproducto resultante del proceso de fabricación de horchata de chufa que, como ya se ha dicho anteriormente, supone hasta el 60% del material vegetal recolectado.

La formulación de las magdalenas se hará de acuerdo con la formulación para magdalenas con Estevia de Rodenas Gallego (2014) y con la correspondiente al co-producto de chufa de López Salinas (2014) para avanzar en esta línea de investigación.



## 2. OBJETIVOS



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVOS GENERALES

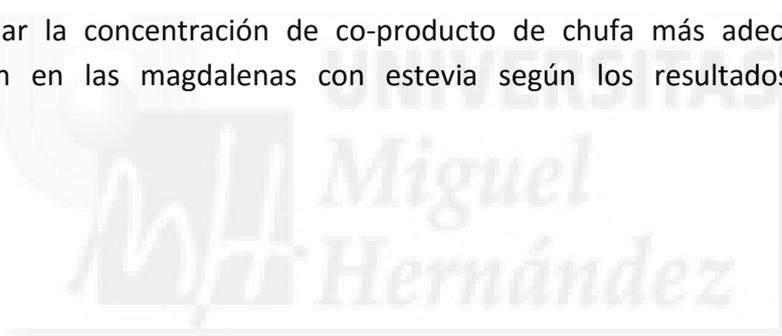
El objetivo general de este trabajo ha sido el estudio de la aplicación de diferentes concentraciones de co-producto de chufa en magdalenas sin azúcar para diabéticos y evaluar cómo les afecta sensorial, física, química y físico-químicamente su incorporación a lo largo del tiempo de estudio.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la influencia de las diferentes concentraciones de co-producto de chufa sobre los parámetros de color de la masa de las magdalenas, previo al horneado.

Evaluar los cambios producidos por la incorporación de diferentes concentraciones de co-producto de chufa en las magdalenas elaboradas con estevia a lo largo del tiempo de estudio mediante la determinación de parámetros físicos (pérdida de peso tras el horneado y a lo largo del estudio, altura de copete, diámetro, parámetros de color y textura), químicos (humedad), físico-químicos (pH y  $a_w$ ) y sensoriales.

Determinar la concentración de co-producto de chufa más adecuada para su incorporación en las magdalenas con estevia según los resultados del estudio sensorial.



# 3. MATERIALES Y MÉTODOS



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de elaborar unas magdalenas aptas para diabéticos se sustituyó la sacarosa de la receta original por el edulcorante estevia, además de esto les fue incorporada un co-producto de chufa. El estudio se realizó durante los 4 días siguientes al horneado de las magdalenas para analizar sus cambios durante el almacenamiento, entre formulaciones y su aceptación entre los consumidores.

#### 3.1. MATERIAS PRIMAS Y FORMULACIÓN

Para la elaboración de las magdalenas se partió de la misma formulación en la que la sacarosa ha sido sustituida por el edulcorante estevia, en donde el único cambio se encuentra en las cantidades adicionadas de co-producto de chufa y por tanto las proporciones de los ingredientes.

En la tabla se muestran los porcentajes de materias primas utilizados para cada una de las formulaciones, además del orden en el que fueron añadidos a la mezcla para la elaboración de la masa:

Tabla 2: Formulación de ingredientes y orden de adición en la preparación de magdalenas sin azúcar.

Ingredientes	% del ingrediente en la masa final			
	0% Fibra	5% Fibra	10% Fibra	15% Fibra
Huevo	30,47	29,02	27,70	26,48
Estevia	9,67	9,21	8,79	8,37
Fibra	-	5	10	15
Aceite	14,50	13,81	13,18	12,59
Yogur	18,14	17,27	16,49	15,77
Harina	24,66	23,48	22,41	21,40
Levadura	2,32	2,21	2,10	2,01
Canela	0,18	0,17	0,16	0,15
Cloruro sódico	0,04	0,04	0,039	0,037

Dado que la Estevia posee un poder edulcorante 3 veces superior al de la sacarosa la proporción de azúcar en el total de la masa es mucho menor que las recetas que contienen sacarosa. Esto reduce ligeramente la cantidad total de la masa que se obtiene como resultado y es un factor a tener en cuenta.

Las materias primas utilizadas para la elaboración de las magdalenas fueron obtenidas de un supermercado local.



Figura 6: Ingredientes empleados para la elaboración de magdalenas

### 3.2. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CO-PRODUCTO DE CHUFA

El co-producto de chufa utilizado para la elaboración de las magdalenas ha sido obtenido a partir de los residuos de la elaboración de horchata de chufa, de acuerdo con el protocolo descrito por Sánchez Zapata *et al.*, (2009). El proceso seguido se muestra en el siguiente diagrama (Figura 7):

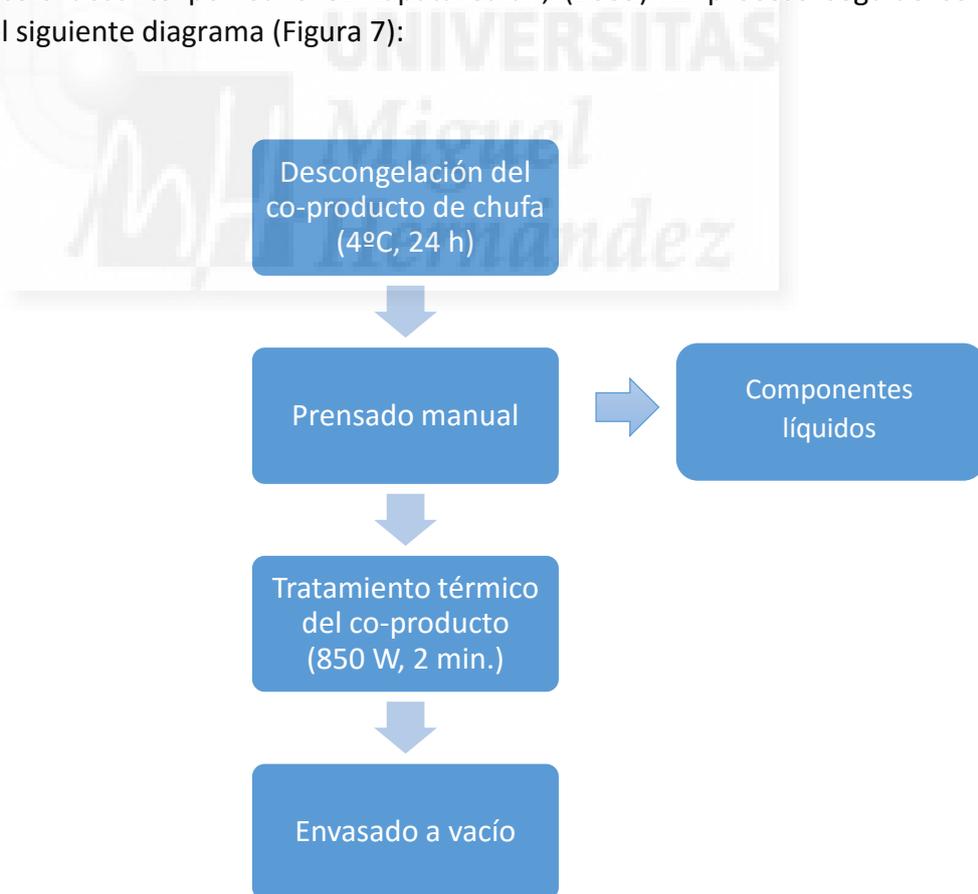


Figura 7: Diagrama de flujo de obtención de co-producto de chufa congelado

### 3.2.1. Composición química del co-producto de chufa

La composición química del co-producto de chufa fue determinada por Sánchez Zapata *et al.*, (2009). Destaca su contenido en fibra dietética total (TDF), el cual se encuentra próximo al 60 g/100 g en peso fresco. A continuación, en la Tabla se muestra la composición química del co-producto de chufa.

Tabla 3: Composición de co-producto de chufa sólido (g/100 g peso fresco).

Componente	Co-producto de chufa
<b>Humedad</b>	61,23 ± 4,12
<b>Proteínas</b>	1,75 ± 0,12
<b>Grasa</b>	8,85 ± 1,11
<b>Cenizas</b>	0,99 ± 0,24
<b>Fibra dietética total</b>	59,71 ± 10,30

Fuente: Sánchez Zapata *et al.*, (2009).

### 3.2.2. Descongelación del co-producto de chufa

El co-producto de chufa, del cual obtendremos el ingrediente para nuestro producto, se encuentra congelado a -20º C para evitar su deterioro y poder alargar así su vida útil. Para la elaboración de las magdalenas se realizó una descongelación previa manteniendo el co-producto en refrigeración durante 24 horas a 4ºC para poder realizar la extracción total del co-producto.

### 3.2.3. Extracción del co-producto de chufa

Para realizar la extracción del co-producto se emplearon paños filtrantes. Se situó el co-producto en los paños filtrantes y mediante presión manual se exprimó la mayor cantidad posible de líquido retenido, obteniendo un ingrediente seco.

### 3.2.1. Tratamiento térmico del co-producto

Tras la extracción del co-producto se realizó un tratamiento térmico para la estabilización del ingrediente. Para dicho tratamiento, se ha utilizado un microondas a 850W durante 2 minutos, ya que este, además de realizar un tratamiento térmico rápido, elimina agua, quedando las muestras con un contenido más bajo de agua y ayudando así a su conservación.

### 3.2.4. Envasado al vacío del co-producto

Para una mejor conservación, y asegurarnos de que no se realiza una contaminación microbiana, el co-producto seco es envasado al vacío con la envasadora EGARVAC.



Figura 8: Co-producto de chufa envasado al vacío

### 3.3. PROCESO DE ELABORACIÓN Y COCCIÓN DE LAS MAGDALENAS

Primero se pesaron los ingredientes en el orden establecido en las tablas para cada una de las formulaciones y posteriormente mezclados siguiendo un orden. Para ello se utilizó THERMOMIX VORWERK TM21.



Figura 9: Proceso de mezclado con THERMOMIX VORWERK TM21

Añadimos en la jarra balanza el huevo y la estevia a velocidad 3 durante 20 segundos. A continuación, añadimos el co-producto de chufa a velocidad 4 durante un minuto. Seguidamente incorporamos el yogur y el aceite a velocidad 4 durante 10 segundos. Finalmente se añadieron harina, levadura, sal y canela a la mezcla y se mezcló a velocidad 2 durante un minuto, observando tras este tiempo que no quede harina u otras materias primas sin homogeneizar y que no se hayan formado grumos. Una vez preparadas las masas se almacenaron en el frigorífico a 4°C hasta su posterior horneado.

Una vez lista la masa para ser horneada se pesaron 15 gramos de la misma por cápsula, colocándolas en un molde *Wilton* de acero antiadherente de alta calidad para hornear 24 mini *cupcakes* de base 3,5 cm.



Figura 10: Molde Witon de acero antiadherente para hornear.

Antes del horneado se precalentó el horno a 220°C. Se hornearon durante 9 minutos a 220°C, rotando los moldes para una mejor homogeneidad del horneado. El peso utilizado durante el pesado de la masa cruda en los moldes fue una balanza de precisión Gram serie ST modelo ST-1200.



Figura 11: Balanza de precisión Gram ST-1200.

Finalizado el horneado se dejaron enfriar las magdalenas y se introdujeron en bolsas de polietileno de baja densidad, numeradas y selladas.

Se realizaron cuatro lotes de magdalenas, un primer lote que representa las magdalenas control con Estevia, sin co-producto de chufa y otros tres lotes con los porcentajes de fibra 5, 10 y 15. Cada lote se compuso de 26 magdalenas repartidas de la siguiente manera: 10 magdalenas destinadas a análisis sensorial, 7 magdalenas para textura, 3 magdalenas para pH, humedad y actividad de agua, 3 más para color externo e interno y por último 3 magdalenas para determinaciones de volumen, peso, densidad y altura de copete.

Las magdalenas envasadas de todos los lotes fueron almacenadas en condiciones controladas (22°C, humedad ambiente, lugar seco y oscuro) hasta el final del estudio.



Figura 12: Diferentes lotes de magdalenas envasados y almacenados.

### 3.4. DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación, se presenta la figura resumen del proceso de elaboración de las magdalenas a través de un diagrama de flujo.



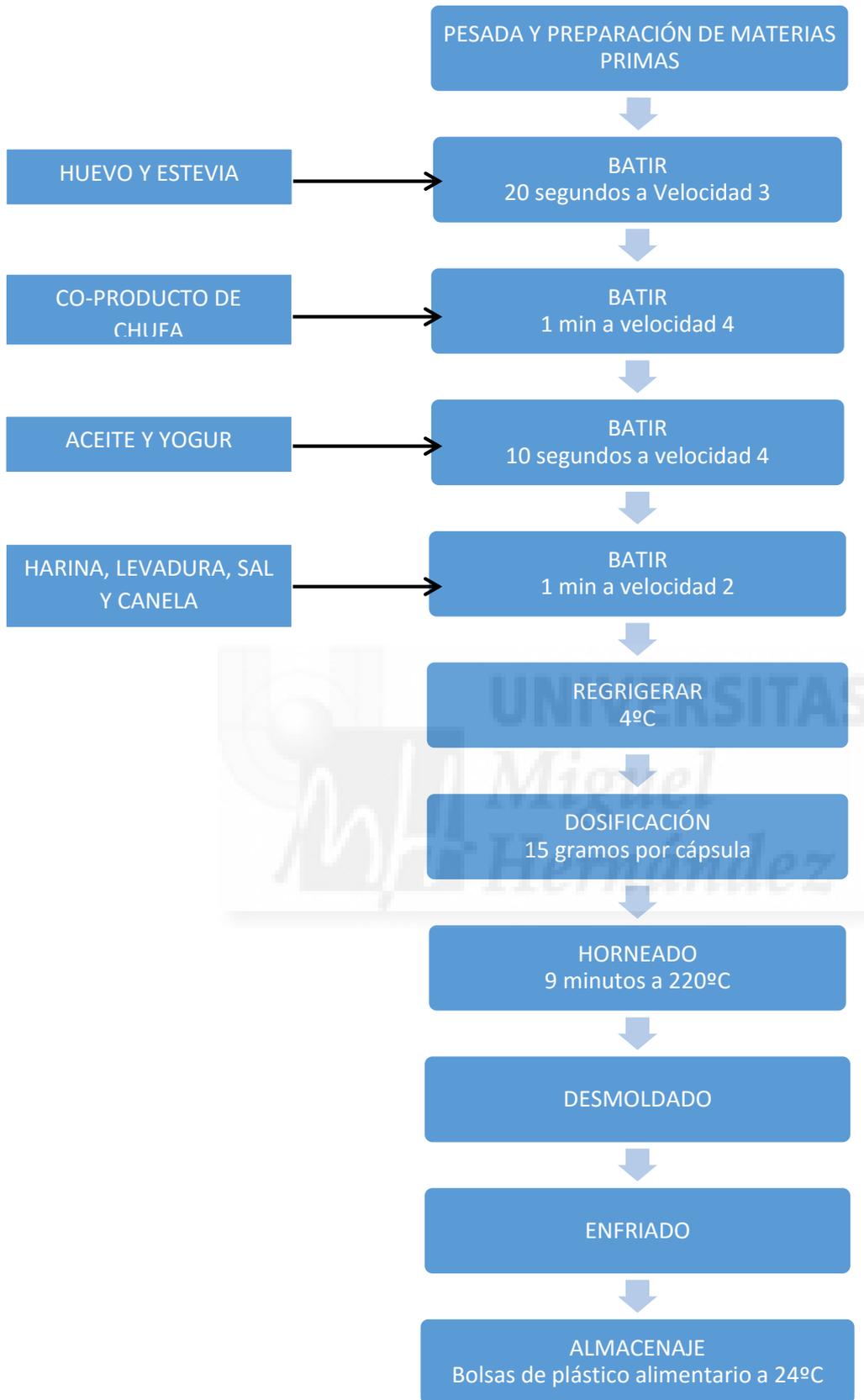


Figura 13: Diagrama de flujo de elaboración de magdalenas sin azúcar.

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio se ha dividido en dos partes:

- Determinaciones en la masa previa al horneado: se estudiaron los parámetros de color de la masa de las magdalenas y el peso.
- Determinaciones en las magdalenas elaboradas a lo largo del tiempo del estudio:
  - Determinaciones físicas: pérdida de peso tras el horneado, diámetro, densidad, parámetros de color: interno y externo, textura.
  - Determinaciones químicas: humedad
  - Determinaciones físico-químicas: pH y actividad de agua
  - Análisis sensorial: cata hedónica de las muestras de magdalenas por jueces consumidores.



### 3.6. METODOLOGÍA ANALÍTICA

#### 3.6.1. Determinaciones para masas previas al horneado

Las determinaciones de color fueron realizadas mediante un colorímetro MINOLTA modelo CR-300 (Minolta Camera Co. Osaka, Japan). Iluminante D65, observador 10°. Las coordenadas de color obtenidas durante la medición pertenecen al espacio de color CIELAB, siendo: luminosidad (L), rojo-verde ( $a^*$ ), amarillo-azul ( $b^*$ ). A partir de las citadas coordenadas se obtuvieron las magnitudes psicofísicas: Croma ( $C^*$ ) y Tono (H) de acuerdo con las normas UNE (UNE 1984). Croma ( $C^*$ ) es la proporción por la que un color se distingue por su diferente saturación y se obtiene mediante la siguiente expresión matemática (UNE, 1984):

$$C^* = [(a^2 + b^2)]^{1/2}$$

Tono ( $H^*$ ) representa la sensación visual por la que se diferencian los colores (UNE, 1984). Se obtiene mediante la expresión matemática siguiente:

$$H^* = \arctg \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

La masa se dispuso en tubos de ensayo de cristal de baja reflectancia de 30 a 40 ml de cada formulación para efectuar la medida de color. Estos tubos fueron colocados en el accesorio para líquidos y se realizaron 9 medidas para cada formulación.



Figura 14: Medición de color de la masa. Colorímetro Minolta Cr-300.

### **3.6.2. Determinaciones en las magdalenas elaboradas a lo largo del estudio:**

#### **3.6.2.1. Determinaciones Físicas**

##### **3.6.2.1.1. Altura de copete**

Para calcular la altura de copete se midieron la altura más favorable y la más desfavorable de cada magdalena, es decir, la altura desde la base hasta la parte más alta del producto y la altura desde la base hasta el inicio del copete. Se midieron las alturas por triplicado por cada formulación y día. Las mediciones se realizaron con un pie de rey electrónico: calibre milimétrico con lectura digital modelo 5900601, COMECTA. Mediante la resta entre las alturas máximas y mínimas se obtuvo la altura de copete y se comparó con las magdalenas control.

##### **3.6.2.1.2. Diámetro de las magdalenas**

Se midió el diámetro de las magdalenas para comprobar su evolución con el tiempo y si existían diferencias. Esta medida se realizó por triplicado para cada formulación y día de análisis. Las mediciones se realizaron con un pie de rey electrónico: calibre milimétrico con lectura digital modelo 5900601, COMECTA.



Figura 15: Pie de rey electrónico

##### **3.6.2.1.3. Pérdida de peso tras el horneado de las magdalenas**

Previamente al horneado se pesaron todas las cápsulas llenas de masa de cada lote, para después ser comparados los pesos de las magdalenas ya horneadas y en el transcurso del estudio. De este modo se calculó el porcentaje de pérdida de peso y su evolución con respecto al tiempo. La balanza utilizada para la medida fue una balanza de gran precisión Gram serie AM modelo AM-3000 (Gram Precisión, España).

##### **3.6.2.1.4. Densidad de las magdalenas**

La densidad de las magdalenas se midió mediante desplazamiento de semillas.

Se llenó una probeta de 2 litros con semillas de lino hasta un volumen conocido. A continuación, vaciamos la probeta conservando las semillas en un recipiente e introducimos la magdalena dentro de la probeta. Seguidamente volvemos a incorporar las semillas anteriores dentro de la probeta. La diferencia entre el volumen conocido de semillas y el nuevo volumen obtenido de semillas más la magdalena nos proporciona el volumen de la magdalena. Esta medición se realizó por

triplicado. Con los datos obtenidos en esta prueba y los pesos de las magdalenas calculamos su densidad.



Figura 16: Semillas de lino y probeta utilizadas para la medición de volumen y densidad.

#### 3.6.2.1.5. Parámetros de color interno y externo de las magdalenas

El color interno y externo de las magdalenas fue medido utilizando un colorímetro espectrofotómetro Minolta CM 2600-D (Minolta Camera Co. Osaka, Japan). Se realizaron 9 mediciones de 3 magdalenas cada lote.

Antes de medir las muestras debe realizarse un calibrado con estándares negro y blanco proporcionados por el fabricante. Los parámetros analizados son: Luminosidad ( $L^*$ ), rojo-verde ( $a^*$ ), amarillo-azul ( $b^*$ ), croma ( $C^*$ ) y Tono ( $h^*$ ).

Medida externa: Durante cada medida se desplazaba levemente el colorímetro por el copete de la magdalena para obtener una lectura homogénea y salvar las diferencias de color por el cocido.

Medida interna: Se cortó por la mitad la magdalena y se repitió el procedimiento de medida empleado para el exterior.



Figura 17: Espectrofotómetro Minolta Camera CM 700-D.

#### 3.6.2.1.6. Textura de las magdalenas

Para la determinación de la textura fueron utilizadas 7 magdalenas de cada lote y para cada día de estudio, teniendo la precaución de evitar deformaciones durante su almacenamiento. Para la evaluación de la textura se utilizó un texturómetro TA-XT2 (Stable MicroSystem, Surrey, England). Para conocer la firmeza y la esponjosidad se usó un test de compresión, donde la muestra se deforma y la medida de la deformación y/o resistencia ofrecida por la muestra se observa y se utiliza como índice de la textura de alimentos.

La esponjosidad se refiere a la altura recuperada por la muestra durante el tiempo que transcurre entre la aplicación de una fuerza y segundos después de dejar de aplicar dicha fuerza. Estos son los parámetros utilizados:

- Modo: Medición de la fuerza de compresión
- Opción: Sostenga hasta tiempo
- Pre-Test de velocidad: 1,0 mm/s
- Test de velocidad: 1,0 mm/s
- Post-Test de velocidad: 10,0 mm/s
- Variedad: 25%
- Tiempo: 60s
- Tipo de disparo: Auto – 5g
- Modo de tara: 200 pps
- Sonda: AACC 11mm Cylinder Probe with radius\* con 5 Kg

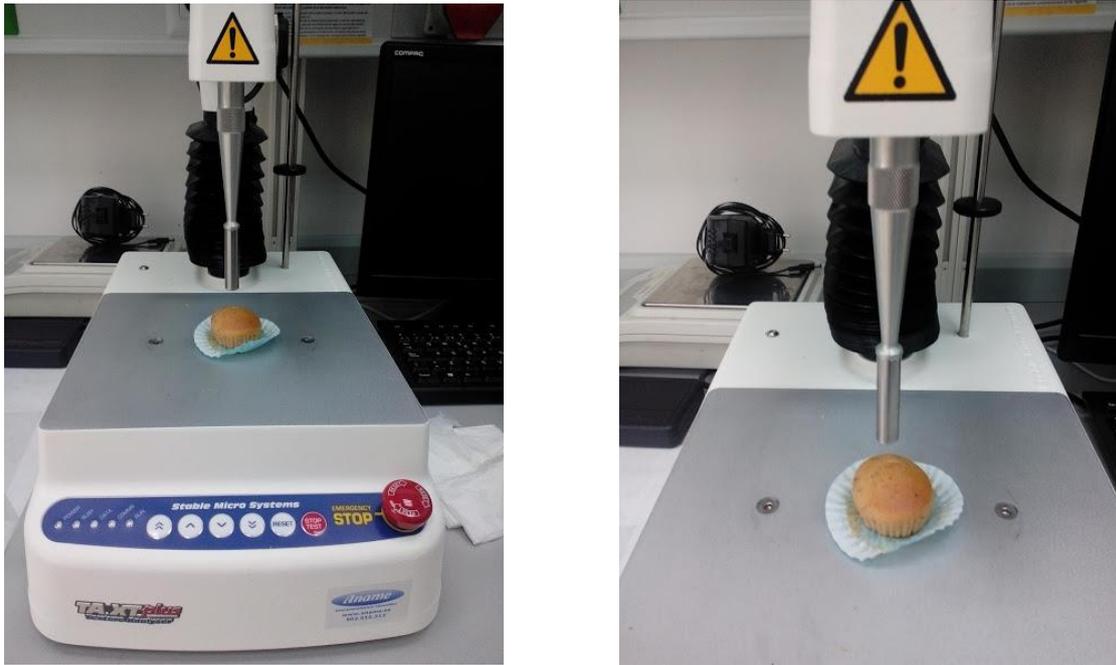


Figura 18: Texturómetro con sonda AACC 11 mm y medición de textura.

### 3.6.2.2. Determinaciones químicas y físico-químicas

#### 3.6.2.2.1. pH

Para la determinación del pH de las magdalenas cocidas se utilizó un pH-metro modelo GLP21 con un electrodo de punción. Se emplearon 3 magdalenas de cada lote para las medidas.

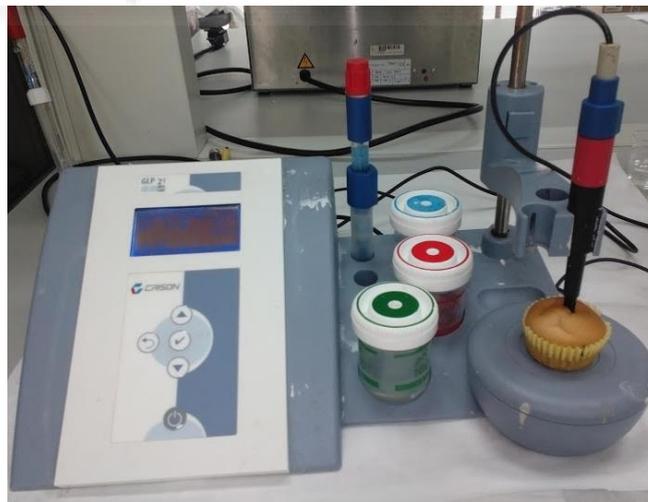


Figura 19: Medición de pH por punción. pH-metro Crison GLP21.

#### 3.6.2.2.2. Actividad de agua

La actividad de agua se determinó a 25°C usando un higrómetro de punto de rocío NOVASINA TH200 (Novasina, Axair Ltd., Pfaeffikon, Switzerland). Se realizaron dos medidas de cada formulación.



Figura 20: Higrómetro Novasina.

### 3.6.2.2.3. Humedad

Se introdujo 1 gramo de magdalena en platillos de aluminio en una balanza de desecación por infrarrojos (Moisture Analyzer LP16J, Mettler Toledo, Switzerland). Se realizaron dos mediciones de cada formulación.



Figura 21: Balanza de desecación por infrarrojos.

### 3.6.3. ANÁLISIS SENSORIAL

Cuando se está desarrollando un nuevo producto es necesario analizar tanto los parámetros fisicoquímicos, como los parámetros sensoriales para los atributos más importantes que se presentan en los alimentos, como olor, sabor y textura, entre

otros. En nuestro estudio los parámetros sensoriales estudiados fueron color, aspecto, aroma, dulzor, esponjosidad, intensidad de aroma... finalizando la cata con una evaluación de aceptación global del producto.

El objetivo principal de esta evaluación sensorial era la de comprobar si a lo largo del tiempo de estudio existían diferencias y si aparecían anomalías, además de evaluar la aceptación del producto por parte de los consumidores. Para ello se realizaron catas hedónicas los días 1, 2, y 4 con 20 jueces consumidores.

El análisis sensorial hedónico describe el grado de aceptación y satisfacción de los consumidores con los atributos de un producto. Se realizaron 20 catas diarias por las personas que se encontraban en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela en el mes de Julio de 2015. Los datos de la cata se recogieron en un cuestionario que abarcaba los siguientes aspectos:

- La apreciación global de producto y de sus competidores
- La apreciación de cada uno de los atributos
- La importancia relativa de los atributos
- La valoración obtenida en cada atributo
- La ponderación de ambas
- Comentarios libres

Las magdalenas se presentaron partidas por la mitad, para tener a primera vista, el color interno, el color externo, la cantidad de miga, etcétera, y así homogeneizar las condiciones y respuestas, ya que todos los catadores ven a primera vista lo mismo.

Las muestras para las catas fueron presentadas en platos de plástico, donde se presentó una muestra de cada formulación. Cada muestra iba codificada con un número marcada en el plato. Los catadores debían evaluarlas y rellenar su correspondiente hoja de cata. Las catas se realizaron en una sala de cata homologada (UNE 87-008, 1992). En la Figura 22 se puede ver tanto la disposición de las muestras en platos codificados como la sala y la disposición de las muestras y hoja de catas en cada puesto.



Figura 22: Muestras y sala de catas para consumidores.

A continuación, se presenta la hoja de catas que recibió cada juez consumidor para realizar el estudio. Cada uno recibió cuatro hojas como la que se presenta abajo, una para cada muestra. La escala hedónica empleada consta de cinco puntos graduados desde “me desagrada extremadamente” a “me agrada extremadamente”.

**Cata magdalenas para diabéticos**

Se trata de una cata a ciegas de magdalenas para diabéticos. Cada catador, podrá recibir una magdalena, elaborada sin azúcar y con fibra. Deberá opinar, personalmente sobre su aspecto, aroma, textura, sabor... Las magdalenas han sido elaboradas de igual manera, con los mismos ingredientes. La finalidad de esta cata es meramente informativa.

Nº consumidor: \_\_\_\_\_

Código muestra: \_\_\_\_\_

**Aspecto:**

Sin probar la muestra, por favor indique, su agrado o desagrado, en una escala de 1 a 5, donde 1 significa me desagrada extremadamente, 2 me desagrada, 3 ni me gusta ni me desagrada, 4 me gusta y 5 me gusta extremadamente; de los siguientes descriptores:

	1	2	3	4	5
Forma					
Color exterior					

Ahora, **dele la vuelta a la muestra** y obsérvela por dentro. Indique, como en la escala anteriormente citada, si le agrada o desagrada:

	1	2	3	4	5
Porosidad					
Color interior					

**Aroma y sabor:**

Huela y pruebe la muestra:

Indique la intensidad del aroma, del sabor y dulzor: Siendo 1 Muy poco intenso, 2 poco intenso, 3 intensidad adecuada, 4 intensidad fuerte, 5 muy intenso.

	1	2	3	4	5
Aroma					
Sabor					
Dulzor					
Esponjosidad					
Detección de partículas de fibra					

**Aceptación general:**

Indique su grado de satisfacción con la misma. Siendo 1 me desagrada excesivamente y 5 me gusta en extremo.

	1	2	3	4	5
Aceptación general					

**Observaciones:**

### 3.7. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software SPSS 23.0 para el sistema operativo Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

Los diseños estadísticos, aplicados a cada una de las experiencias, fueron los siguientes:

En primer lugar, se determinaron la media y la desviación estándar de todas las propiedades químicas, físicas, físico-químicas y sensoriales llevadas a cabo en el estudio.

A continuación, se determinó el efecto de la adición de diferentes concentraciones de co-producto de chufa en los diferentes parámetros y magnitudes psicofísicas de color de la masa fresca de magdalenas. Para ello se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor (% de co-producto añadido). Se realizaron contrastes ortogonales aplicando el test de Tukey, con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ), para aquellos factores que mostraban diferencias significativas entre las medias.

Por último, se determinó el efecto producido por la adición de diferentes concentraciones de co-producto de chufa y el tiempo de almacenamiento (0, 1, 2 y 4), sobre los parámetros físicos, químicos, físico-químicos y sensoriales de las magdalenas elaboradas. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) multifactorial a partir de la interacción de los factores anteriores. Se realizaron contrastes ortogonales aplicando el test de Tukey, con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ), para aquellos factores que mostraban diferencias significativas entre las medias.

# 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se procederá a la exposición y discusión de los resultados de cada una de las determinaciones físicas, químicas y físico-químicas realizadas a la masa y las magdalenas a lo largo del estudio.

### 4.1. DETERMINACIONES REALIZADAS A LA MASA

#### 4.1.1. Determinaciones Físicas

Se han determinado los parámetros de color en la masa cruda de magdalenas. Los resultados de la determinación se muestran a continuación:

##### 4.1.1.1. Color de la masa

Con el objetivo de determinar los efectos sobre el color de las diferentes concentraciones de co-producto de chufa se ha medido el color de la masa. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se muestran a continuación en la Tabla 3:

Tabla 4: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color de la masa de las magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Factor	Factor variable	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Color de la masa	Concentración de co-producto de chufa	L*	46,840	3	15,613	36,148	,000
		a*	0,748	3	0,249	19,244	,000
		b*	16,621	3	5,540	88,023	,000
		C* <sub>ab</sub>	16,439	3	5,480	88,615	,000
		h <sub>ab</sub>	0,005	3	0,002	20,004	,000

Los resultados de la Tabla 3, muestran que existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en todos los parámetros de color, excepto en el tono ( $h_{ab}$ ), de las muestras analizadas, con respecto al porcentaje de co-producto de chufa añadido.

Por otro lado, en la Tabla 4 se muestran los resultados del test de Tukey, donde pueden verse diferencias e igualdades estadísticas de los diferentes parámetros de color, en función de la concentración de co-producto de chufa.

Tabla 5: Resultados del test de Tukey de las coordenadas de color CIELAB (L\*, a\*, b\*) y las magnitudes psicofísicas (C\*<sub>ab</sub> y h<sub>ab</sub>).

Variable	Concentración de co-producto (%)			
	0	5	10	15
L*	a	b	b	c
a*	c	b	ab	a
b*	a	a	b	c
C* <sub>ab</sub>	a	a	b	c
h <sub>ab</sub>	a	b	bc	c

a-c: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y c el valor más pequeño.

Una vez observadas las diferencias significativas entre los parámetros de color de la masa con diferentes concentraciones de co-producto de chufa, mostradas en el test de Tukey de la Tabla 4, se analizarán individualmente cada una de las coordenadas y magnitudes psicofísicas, acompañadas de sus valores medios representados gráficamente.

Los resultados del test de Tukey, correspondientes a la Tabla 4, muestran que existen diferencias entre la muestra control y el resto de muestras con diferentes concentraciones. Mientras que las muestras de 5% y 10% no tienen diferencias entre sí, si las hay entre estas y la mayor concentración de co-producto. Los valores representados varían desde 73,49 hasta 70,30. El valor de la luminosidad decrece conforme incrementa la adición de co-producto, siendo el control de 0% el valor más alto y el 15% el más bajo.

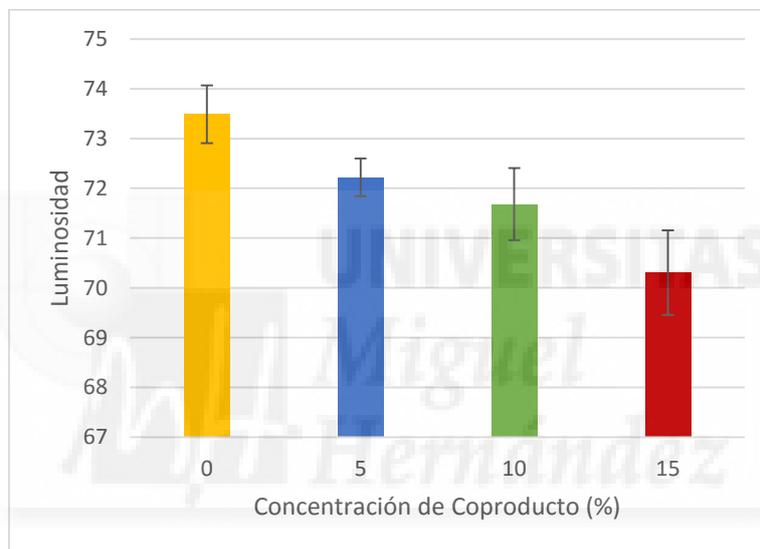


Figura 23: Valores de la coordenada de color Luminosidad (L\*) de la masa de magdalena con co-producto de chufa

Los resultados obtenidos por López Salinas (2012), en su estudio sobre la aplicación de co-producto de chufa y naranja en magdalenas, comparten la misma tendencia descendente en el parámetro de luminosidad cuando se aumenta la concentración de co-producto de chufa en la masa sin cocer de magdalenas.

Del mismo modo en el trabajo de Abellán Mínguez (2015), sobre el estudio de la incorporación de co-producto de chufa a magdalenas sin gluten, el parámetro de luminosidad disminuye con el aumento de co-producto en la masa.

En el trabajo sobre las propiedades físico-químicas de masa fresca y magdalenas de trigo almacenadas con y sin harina de linaza, realizado por Shearer y Davies (2004), la adición de linaza también produce una leve disminución de la luminosidad, siendo mayor cuanto más alta es la dosis.

El estudio realizado por Codina Torrella *et al.* (2014), donde se caracterizan y comparan chufas de diferentes orígenes geográficos, muestra un valor medio de 40,72 para el parámetro de luminosidad en chufas de tres orígenes distintos. Por lo tanto, el hecho de que la chufa tenga un bajo valor de luminosidad, con respecto a la masa, probablemente sea el responsable de la progresiva disminución del valor en las masas que contienen co-producto.

Otra posible razón para la cual este parámetro se ve afectado por la cantidad de co-producto viene dada por Sánchez Zapata *et al.* (2009) que, en un estudio sobre la preparación de fibra dietética en polvo procedente de co-producto de leche de chufa (“Horchata”) y sus propiedades físico-químicas, advierten que la adición de este co-producto puede causar cambios en el color a causa de su elevada humedad, afectando a parámetros como la luminosidad.

En la coordenada  $a^*$  (rango verde-rojo), la evolución de los valores ha resultado de forma inversa a la vista en la luminosidad, incrementándose progresivamente con la adición de co-producto. Estadísticamente existen diferencias entre las muestras de 0%, 5% y 15% entre sí, mientras que la muestra de 10% de co-producto es diferente al 0% y estadísticamente similar a la muestra de 5% y 15%. En la Figura 25 puede verse gráficamente la evolución de esta coordenada y su incremento en función de la cantidad de co-producto que ha sido añadida.

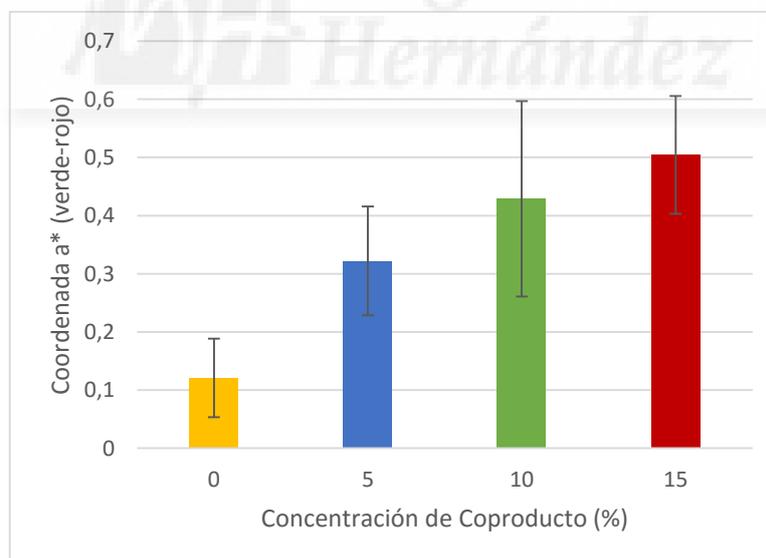


Figura 24: Valores de la coordenada de color verde-rojo ( $a^*$ ) de la masa de magdalena con co-producto de chufa

En el estudio sobre la incorporación de co-producto de chufa y naranja en magdalenas realizado por López Salinas (2012), donde fue analizada esta coordenada, no se observaron diferencias significativas en la adición de co-producto de chufa por debajo del 15% en magdalenas.

Resultados similares a los de López Salinas (2012) fueron obtenidos por Abellán Mínguez (2015) en su estudio de la incorporación de co-producto de chufa a magdalenas sin gluten, donde la coordenada  $a^*$  no tuvo diferencias significativas por debajo del 15% de adición de co-producto.

En el estudio de Shearer y Davies (2004), sobre el estudio de las propiedades físico-químicas de masa fresca y magdalenas almacenadas con y sin harina de linaza, también sufre un incremento en la coordenada  $a^*$  conforme aumenta la adición de linaza, como ocurre en las muestras analizadas.

En el trabajo realizado por Sánchez Zapata (2009), donde se analizaron las propiedades físico-químicas de fibra dietética en polvo a partir de co-producto de chufa procedente de la elaboración de horchata, el valor obtenido para la coordenada  $a^*$  es de 2,17, mientras que los obtenidos en la masa fresca de magdalenas del presente estudio oscilan entre 0,12 y 0,50. El elevado valor de este parámetro en el co-producto puede ser el responsable del incremento progresivo de la coordenada  $a^*$ , a la vez que se incrementa el porcentaje añadido del co-producto.

El estudio de Codina Torrella *et al.* (2015), sobre la caracterización y comparación de chufas de diferente origen geográfico y sus propiedades físico-química, también indica que el incremento en la coordenada  $a^*$  se debe a la adición de co-producto de chufa, ya que en las muestras de chufa analizadas han obtenido un valor medio de 10,5, que contrasta con los obtenidos en la masa.

En la coordenada  $b^*$  (amarillo-azul), no hay diferencias estadísticas entre la muestra control de 0% y la muestra con 5% de co-producto, pero sí se han encontrado diferencias significativas con el resto de muestras de 10% y 15%. La Figura 25 muestra los resultados analíticos de la coordenada  $b^*$  obtenidos para cada concentración.

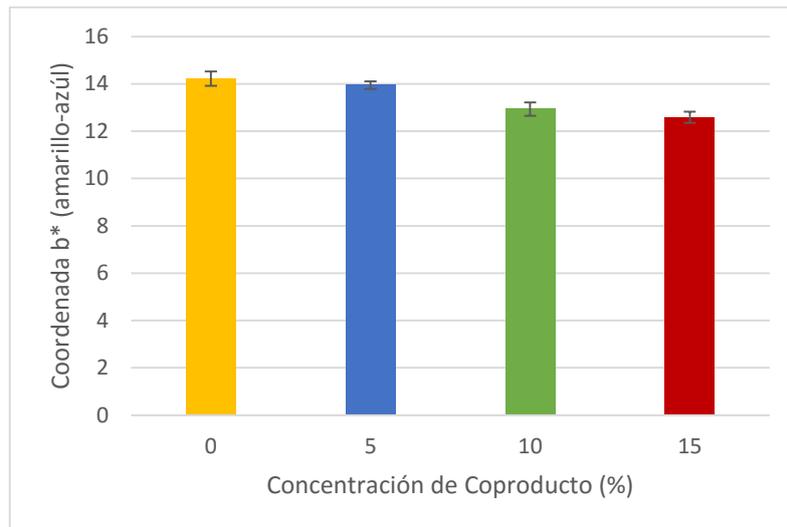


Figura 25: Valores de la coordenada b\* (amarillo-azul) de la masa de magdalenas con co-producto de chufa

En el ya mencionado trabajo de López Salinas (2012), la coordenada b\* se mantiene estadísticamente sin cambios importantes hasta la concentración del 15% en la que aumenta.

Por otro lado, en el estudio de Abellán Mínguez (2015), anteriormente citado, se obtienen resultados similares a los de este trabajo, donde las concentraciones 0 % 5% de co-producto de chufa son estadísticamente iguales y, a continuación, para las concentraciones 10% y 15% los valores de la coordenada b\* disminuyen.

En el caso del estudio realizado por Shearer y Davies (2004), la adición de linaza también ha ocasionado una disminución de los valores de la coordenada b\* que se incrementa con la cantidad añadida de linaza.

En el estudio de Sánchez Zapata (2009) se determina que el bajo valor de la coordenada b\* no debería causar grandes modificaciones a la hora de ser incorporada en otros alimentos.

En la Figura 26 se muestran los valores analíticos obtenidos para la magnitud psicofísica Croma en la masa de magdalenas con diferentes concentraciones de co-producto de chufa. Entre la masa control y la correspondiente al 5% de adición de co-producto no se han encontrado diferencias estadísticas, mientras que si hay diferencias entre las anteriores y las masas de 10% y 15%, como se ha visto anteriormente en la Tabla 4.

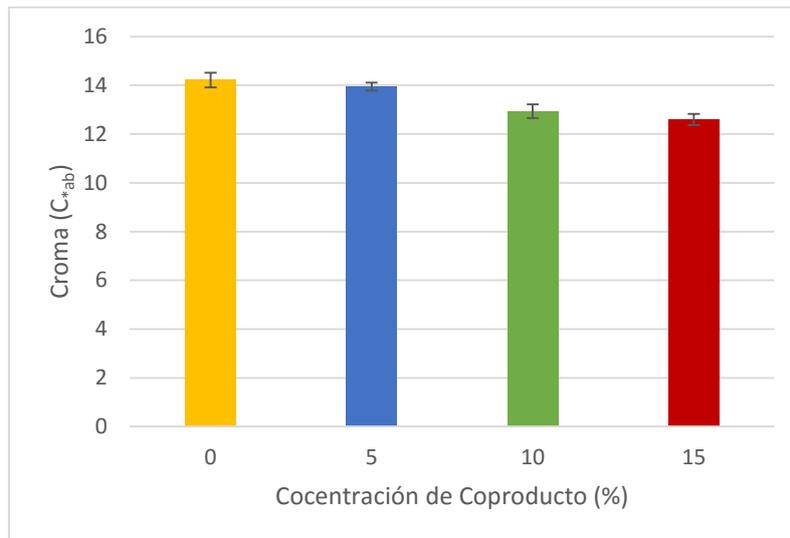


Figura 26: Valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) de la masa de magdalenas con co-producto de chufa

Como ya ha sido visto en los trabajos realizados por Abellán Mínguez (2015) y López Salinas (2012), la magnitud  $C^*_{ab}$  se comporta del mismo modo que la coordenada  $b^*$  analizada anteriormente. En vista de los resultados obtenidos se refuerza la teoría de relación dependiente entre la coordenada  $b^*$  y la magnitud psicofísica  $C^*_{ab}$  expuesta en ambos trabajos.

Los resultados del test de Tukey de la Tabla 4 indican que hay diferencias significativas entre los valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) tras la incorporación de diferentes concentraciones de co-producto. Todas las muestras con co-producto fueron estadísticamente distintas e inferiores a los valores del control sin co-producto. La concentración de 5% es estadísticamente igual a la de 10% y diferente a la concentración máxima del 15%. La concentración de 10% de co-producto de chufa fue estadísticamente igual a las concentraciones de 5 y 10%. Las interacciones entre los valores medios del tono de las diferentes muestras con co-producto se muestran de forma gráfica en la Figura 27.

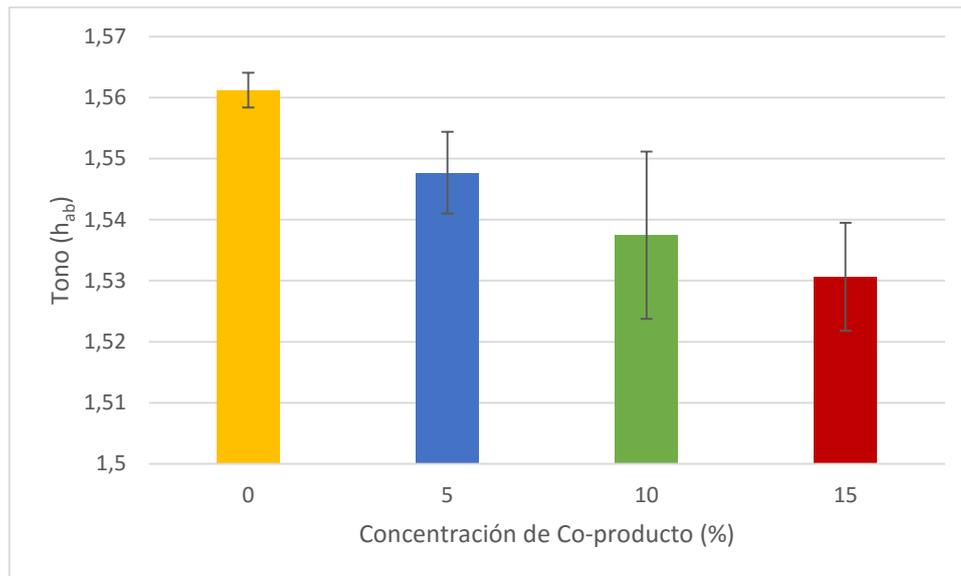


Figura 27: Valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) de la masa de las magdalenas con co-producto de chufa

En el estudio de López Salinas (2012) el tono de las magdalenas con co-producto de chufa analizadas no sufrió cambios significativos a causa de la incorporación del co-producto.

En el estudio de los efectos de la sustitución de la sacarosa por otros edulcorantes en magdalenas realizado por Rodenas Gallego (2014) no se encontraron diferencias significativas en los valores de la magnitud psicofísica Tono.

Por otro lado, en el estudio realizado por Abellán Mínguez (2015) el tono de las magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa disminuyó significativamente en la concentración de 15% de co-producto.

## 4.2. DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MAGDALENAS

Tras las determinaciones sobre la masa anteriores, se procedió a la cocción de las muestras. Una vez cocidas se reanudaron las determinaciones, que serán explicadas a continuación:

### 4.2.1. Determinaciones Físicas

#### 4.2.1.1. Pérdida de peso producida tras el horneado

La determinación de la pérdida de peso tras el horneado fue la primera medida realizada a las magdalenas horneadas, que fue realizada inmediatamente después de su enfriado. La rapidez en la realización de esta medida influirá en el resultado final, ya que una vez horneada la magdalena estará en contacto con la atmósfera, quien la hará variar su contenido en humedad y, por lo tanto, su peso.

Para su determinación se pesaron individualmente todas las magdalenas antes y después del horneado, siendo la diferencia la pérdida de peso experimentada por cada muestra. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), que se encuentran en la

Tabla 5, muestran que existen diferencias significativas entre las muestras con diferente concentración de co-producto ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 6: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con co-producto de chufa**

Variable	Factor	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Pérdida de peso por el horneado	Concentración de co-producto	115,529	3	38,510	5,106	,002

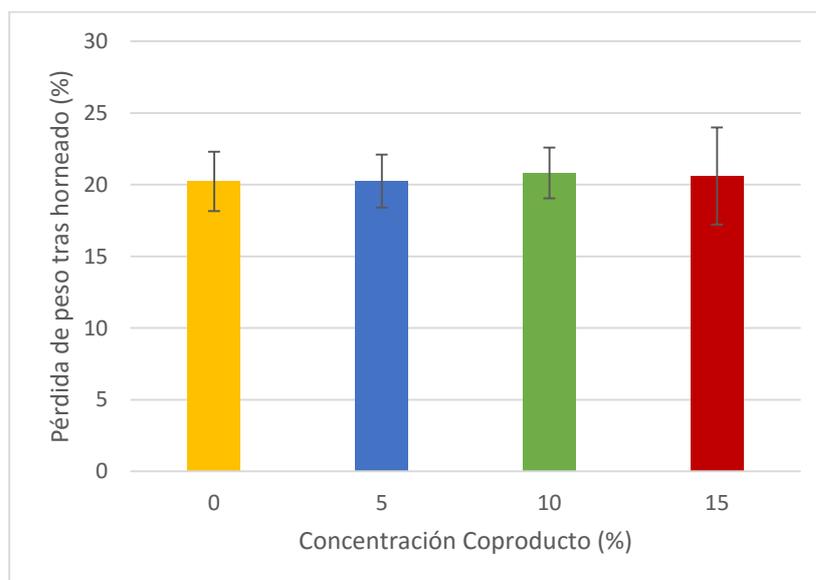
A continuación, en la Tabla 6 se muestran los resultados del test de Tukey para la pérdida de peso tras el horneado de la masa, donde se muestran las igualdades y diferencias estadísticas entre las muestras analizadas en función de su concentración de co-producto.

**Tabla 7: Resultados del test de Tukey para la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con co-producto de chufa**

Variable	Co-producto %			
	0	5	10	15
Pérdida de peso	ab	b	a	ab

a-b: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y b el valor más pequeño.

En la Figura 28 se muestran los resultados de la pérdida de peso de la masa de magdalenas tras el horneado, donde la única diferencia significativa encontrada corresponde a las magdalenas con un 5% de co-producto con las magdalenas de 10% de concentración de co-producto. Las magdalenas control de 0% y la máxima concentración de 15% son estadísticamente iguales al resto de muestras analizadas.



**Figura 28: Valores de pérdida de peso tras el horneado (%) de magdalenas con co-producto de chufa**

Una vez vistos los resultados de la pérdida de peso tras el horneado de la Tabla 6 y la Figura 28, podemos concluir que la pérdida de peso por el horneado no se ha visto afectada notablemente por la adición de co-producto, ya que esta ha sido muy homogénea, destacando levemente una mayor pérdida de peso en las magdalenas de 10% de co-producto. El horneado ha supuesto de media un 20,5% de pérdida de peso en general en las magdalenas.

En el trabajo de Rodenas Gallego (2014), sobre caracterización y estudio durante el almacenamiento de magdalenas sin azúcar, no se encontraron diferencias significativas en la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas control con sacarosa y los edulcorantes, Estevia y sucralosa, utilizados como sustitutos.

En el caso del estudio con magdalenas sin gluten de Abellán Mínguez (2015) las pérdidas de peso tras el horneado disminuyeron en concentraciones de 10% y 15% de co-producto de chufa, mientras que en las magdalenas con estevia analizadas se han mantenido unas pérdidas estables con un ligero aumento en las magdalenas del 10% de co-producto añadido.

En el estudio realizado por Goswami *et al.* (2015), sobre la adición de mijo a magdalenas en sustitución de harina refinada de trigo, se determina que no hay un incremento significativo de la pérdida de peso con el horneado al aumentar la proporción de mijo añadido. Por otro lado, la menor pérdida de peso se registró en la magdalena control del 100% de harina de trigo por su mayor capacidad de retención de agua.

Por otro lado, el trabajo Struck *et al.* (2015), en el que se enriquecen magdalenas con un contenido en azúcar reducido usando fibras vegetales, las magdalenas de harina de trigo con una sustitución del azúcar del 30% por rebaudiosido A fueron las que obtuvieron la mayor pérdida de peso en el horneado con un 13,4%, mientras que sus homólogos del 60% y 100% obtuvieron una pérdida de 13,4% y 13% respectivamente.

En el trabajo realizado por Martínez Cervera *et al.* (2011), donde se analizan las propiedades reológicas, texturales y sensoriales de magdalenas bajas en azúcar reformuladas con sucralosa y polidextrosa, no se encontraron diferencias significativas entre las magdalenas cuya cantidad de azúcar había sido sustituida desde el 25 al 100% con sucralosa y polidextrosa, siendo menores las pérdidas de peso que la muestra control, con aproximadamente un 14% de peso perdido en el horneado.

En términos generales las pérdidas de peso han sido superiores en las muestras analizadas en este estudio que en los citados anteriormente, en torno a un 5% más de peso perdido en el horneado. Sin embargo, al igual que en la mayoría de los citados artículos no se ha visto modificado notablemente este parámetro por la adición de co-producto de chufa.

#### 4.2.1.2. Altura de copete

La altura de copete de las magdalenas se define como la diferencia entre la altura máxima y la altura mínima tras el horneado. Este parámetro es muy importante para los consumidores, que prefieren los productos de mayor volumen a aquellos de menor y más compactos.

En la Tabla 7 se observan los datos del análisis de varianza (ANOVA), que muestran que no existen diferencias significativas en la altura de copete de las muestras de diferente concentración de co-producto de chufa.

**Tabla 8: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la altura de copete de magdalenas con co-producto de chufa**

Variable	Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura de copete	Concentración de co-producto	20,927	3	6,976	1,917	,154

Del mismo modo que la altura de copete no se ve alterada por la adición de co-producto de chufa en magdalenas con estevia, tampoco hay cambios por su incorporación en las magdalenas sin gluten analizadas por Abellán Mínguez (2015).

En el estudio realizado por Rodenas Gallego (2014) se observaron diferencias significativas en la altura de copete cuando se sustituía la sacarosa por estevia en magdalenas, presentando alturas mayores a las muestras control de sacarosa.

Por el contrario, en el trabajo realizado por Goswami *et al.* (2015) la sustitución de harina de trigo por harina de mijo produjo un descenso significativo en la altura de las magdalenas según se aumentaba la cantidad sustituida.

A diferencia de lo que sucede con la harina de mijo, en el trabajo de Shearer y Davies (2004) la adición de harina de linaza un aumento en la altura de las magdalenas analizadas.

En el estudio realizado por Martínez Cervera *et al.* (2011) la sustitución de sacarosa por sucralosa y povidexrosa produjo una disminución en la altura de las magdalenas. La teoría que se maneja para justificar la menor altura de las magdalenas es la disminución del número de canales de difusión y células de aire que se produce con la sustitución de más del 25% de la sacarosa.

Los resultados obtenidos por Struck *et al.* (2015), en su estudio sobre enriquecimiento de magdalenas con azúcar reducido, son parecidos a los ya vistos en el trabajo de Martínez Cervera *et al.* (2011). En este caso la adición de fibra de trigo, pera y manzana combinada con una sustitución parcial del azúcar con rebaudiosido A generó una importante disminución de la altura de las magdalenas, alcanzando una

diferencia de hasta 16 mm entre la muestra de referencia y la muestra con fibra de trigo y 100% de sacarosa sustituida.

#### 4.2.1.3. Evolución de la pérdida de peso a lo largo del tiempo de almacenamiento

La pérdida de peso a lo largo del tiempo es muy importante, debida a la pérdida de agua, que lleva a un endurecimiento progresivo del producto. Por lo tanto, la pérdida de peso se definirá como el peso perdido por las muestras en función del paso del tiempo y de la concentración de co-producto que contengan.

El análisis de varianza (ANOVA), mostrado en la Tabla 8, donde se observa que no hay diferencias significativas en la pérdida de peso a lo largo del almacenamiento ni en función del tiempo ni de la concentración de co-producto.

Tabla 9: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la pérdida de peso a lo largo del tiempo de almacenamiento de magdalenas con co-producto de chufa

Variable	Factor	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Pérdida de peso	Tiempo	8,998	2	4,169	3,012	,068
	Co-producto	5,049	3	1,683	1,216	,325
	Tiempo*Co-producto	4,580	6	,763	,552	,764

Como puede verse en la Tabla 8, el almacenamiento a lo largo de cuatro días de las magdalenas, elaboradas con co-producto de chufa y estevia, no ha supuesto una variación significativa en el peso de las muestras en ninguno de los días de análisis.

En el estudio realizado por Blanco Soriano (2014), donde se realiza la caracterización y estudio durante el almacenamiento de magdalenas sin gluten, se vio que tampoco hubo cambios significativos en el peso al cabo de 4 días de almacenamiento. El factor que sí produjo cambios fue el tipo de harina utilizado para su elaboración.

Sin embargo, en el trabajo de Rodenas Gallego (2014) si hubo diferencias significativas en el peso de las magdalenas a lo largo del tiempo de almacenamiento. Si bien, no hubo diferencias en la pérdida de peso entre las magdalenas control y las que contenían los sustitutos de la sacarosa.

Por otro lado, en el estudio de incorporación de co-producto de chufa a magdalenas sin gluten realizado por Abellán Mínguez (2015), la adición de diferentes concentraciones de co-producto supuso diferencias significativas en el peso, aumentando las pérdidas cuanto mayor es la cantidad de co-producto en las magdalenas. No obstante, a lo largo del tiempo las magdalenas con mayores cantidades de co-producto presentaron menores pérdidas de peso.

En el trabajo de Goswami *et al.* (2015) las magdalenas control con harina de trigo tuvieron la menor pérdida de peso frente a las que fueron parcial o totalmente sustituidas con mijo. La razón a la que apunta el estudio es la mayor capacidad de retención de agua que tiene la harina de trigo refinada, reduciendo la humedad perdida durante el horneado.

La elevada actividad de agua del co-producto de chufa, reportado en el trabajo de Sánchez Zapata *et al.* (2009), es posible que permita el mantenimiento del peso en el almacenamiento al mantener la humedad de las magdalenas igual e incluso mejor que la harina de trigo que es sustituida por el co-producto de chufa, que como se ha dicho anteriormente en el estudio de Goswami *et al.* (2015) tiene una elevada capacidad de retención de agua.

#### 4.2.1.4. Diámetro de las magdalenas

El análisis de varianza (ANOVA), presentado en la Tabla 9, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el diámetro para los factores tiempo y concentración de co-producto.

Tabla 10: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) del diámetro de las magdalenas con co-producto de chufa

Variable	Factor	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Diámetro	Tiempo	11,890	2	5,945	6,614	,005
	Co-producto	17,946	3	5,982	6,656	,002
	Tiempo*Co-producto	11,175	6	1,863	2,072	,095

En la tabla siguiente (Tabla 10), se encuentran los resultados del test de Tukey para el diámetro de las magdalenas en función de la concentración de co-producto de chufa añadida.

Tabla 11: Resultados del test de Tukey para el diámetro de las magdalenas con co-producto de chufa

Variable	Tiempo			Co-producto (%)			
Diámetro	0	2	4	0	5	10	15
	b	a	a	a	a	ab	b

a-b: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios.  
 Donde a es el valor más grande y b el valor más pequeño.

Según podemos observar en la Tabla 10 el diámetro de las magdalenas se ve afectado por el tiempo de almacenamiento, siendo mayor e iguales en los tiempos 2 y 4 días. Por el contrario, la adición del co-producto genera una disminución en diámetro de las magdalenas en concentraciones de 15% de co-producto. En la Figura 29 puede verse gráficamente como los diámetros de las magdalenas son significativamente superiores en los tiempos 2 y 4 días.

En el estudio realizado por Abellán Mínguez (2015), el tiempo afectó de forma contraria a las magdalenas del presente trabajo. En las magdalenas sin gluten con co-producto de chufa el diámetro disminuyó con el almacenamiento prolongado, mientras que en las magdalenas analizadas el diámetro aumentó al poco tiempo de almacenamiento y se mantuvo. En cuanto al efecto de la concentración de co-producto añadida los resultados son similares. Cuanto mayor es la concentración de co-producto de la magdalena menor es su diámetro.

Los análisis de Struck *et al.*, (2015), realizados a magdalenas que combinan la sustitución de sacarosa por rebaudiosido A y adición de fibra de diferentes orígenes, también experimentaron una disminución del diámetro de las magdalenas cuanto mayor era la concentración de fibra añadida, al igual que sucede en este estudio y en el anteriormente mencionado de Abellán Mínguez (2015).

Los resultados obtenidos por Rodenas Gallego (2014), en su análisis de magdalenas sin azúcar, muestran que las magdalenas con estevia presentaron valores de diámetro de 39,05 mm, mientras que las analizadas en este estudio tuvieron diámetros de entre 37,06 mm hasta 40,84 mm a lo largo de todo el estudio. El diámetro obtenido en magdalenas con sacarosa fue superior al logrado por los dos edulcorantes utilizados.

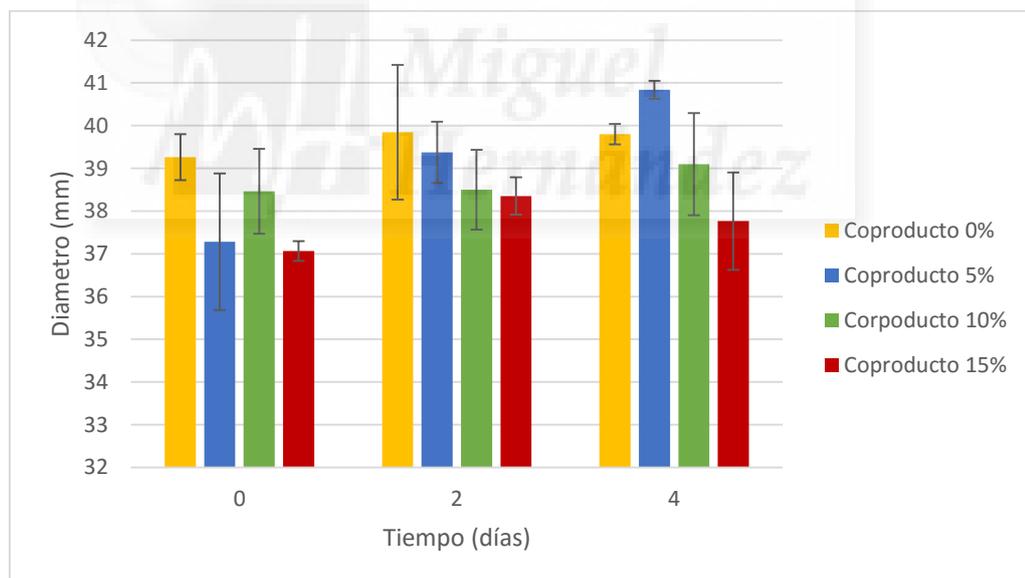


Figura 29: Valores de diámetro de las magdalenas con co-producto de chufa

La disminución de este parámetro frente a formulaciones que contengan sacarosa ponen de manifiesto la importancia que tiene la sacarosa como componente estructural, tal como dice Martínez Cervera *et al.* (2010) en su estudio, el azúcar juega un rol importante en el retraso de la gelatinización del almidón, lo que permite la expansión apropiada de las burbujas. Su sustitución, por lo tanto, produce cambios en la estructura, que en este caso se traducen en cambios del diámetro final de las magdalenas sin azúcar y con co-producto de chufa.

#### 4.2.1.5. Color de las magdalenas

Los parámetros de color (L, a\*, b\*) y sus magnitudes psicofísicas (C\*<sub>ab</sub> y h<sub>ab</sub>) fueron medidos en el exterior (corteza) y en el interior (miga) de las muestras, con el objetivo de determinar la influencia de la incorporación de diferentes concentraciones de co-producto en el color.

##### 4.2.1.5.1. Color externo

En la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para mostrar las diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) en los parámetros analizados en función del tiempo y la adición de co-producto.

Tabla 12: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros de color externo de las magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tiempo	L	125,326	2	62,663	3,318	,039
	a	150,179	2	75,089	8,945	,000
	b	34,198	2	17,099	4,168	,017
	C	16636,485	2	8318,243	2338,652	,000
	h	23307,236	2	11653,618	852,000	,000
Co-producto	L	678,942	3	226,314	11,983	,000
	a	9,704	3	3,235	,385	,764
	b	356,599	3	118,866	28,976	,000
	C	211,335	3	70,445	19,805	,000
	h	83,010	3	27,670	2,023	,113
Tiempo * Co-producto	L	222,685	6	37,114	1,965	,074
	a	150,140	6	25,023	2,981	,009
	b	57,371	6	9,562	2,331	,035
	C	117,912	6	19,652	5,525	,000
	h	236,303	6	39,384	2,879	,011

En la Tabla 11 de resultados del análisis de varianza del color externo de las magdalenas se puede ver que hay diferencias significativas para todas las variables y factores analizadas, a excepción de los factores a\* y h<sub>ab</sub> de la variable Co-producto y el factor L de la variable Tiempo\*Co-producto, en los cuales no existen diferencias significativas.

Tabla 13: Resultados del test de Tukey para el color externo de las magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Tiempo				Co-producto (%)		
	1	2	4	0	5	10	15
L	b	ab	a	a	ab	bc	c
a*	a	a	b	a	a	a	a
b*	a	ab	b	a	b	b	c
C* <sub>ab</sub>	a	a	b	a	b	b	c
h <sub>ab</sub>	a	a	b	a	a	a	a

a-c: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y c el valor más pequeño.

Los resultados del test de Tukey de la Tabla 12 indican que la luminosidad de las magdalenas decrece levemente conforme se incrementa la adición de co-producto en las muestras. Este parámetro se mantiene estadísticamente igual en el tiempo 1 y 2 días y entre los tiempos 2 y 4 días, siendo estadísticamente diferente la luminosidad de las magdalenas de los tiempos 1 y 4 días, registrándose mayor luminosidad en éste último. En cuanto a la variable co-producto, las diferencias e igualdades estadísticas se encuentran en su mayoría repartidas a pares. Las magdalenas con 0% y 5% de co-producto y las de 5% y 10% de co-producto son iguales entre sí, mientras que el control de 0% son diferentes a las de 10% y 15%. Las muestras con 15% de co-producto fueron estadísticamente diferentes al resto de magdalenas analizadas de esta variable, siendo además la muestra con los valores más bajos.

A continuación, en la Figura 30 se muestran los valores de luminosidad del exterior de las magdalenas en forma de gráfico de barras, donde pueden verse las interacciones anteriormente descritas.

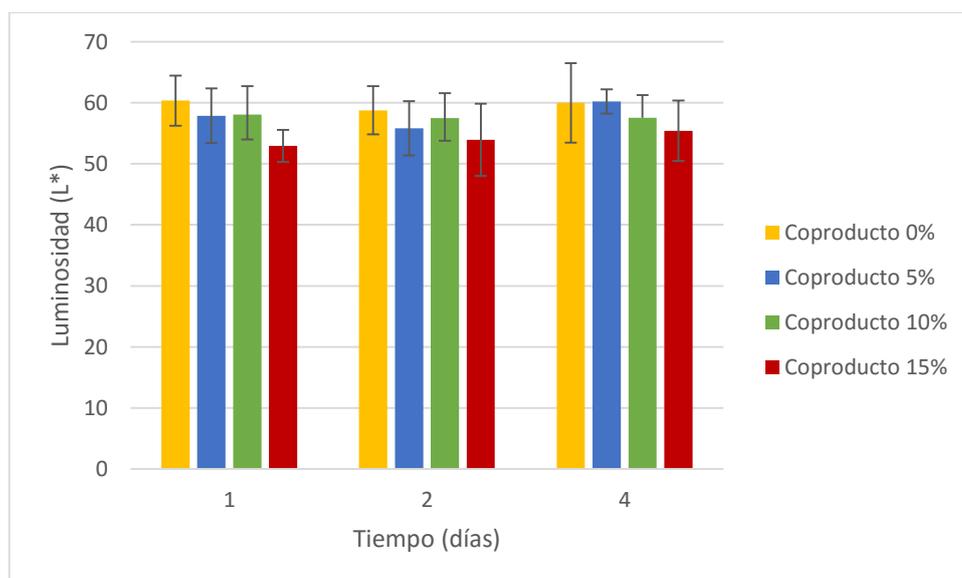


Figura 30: Valores de Luminosidad del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa

Al igual que sucedía en el análisis de la luminosidad de la masa fresca, la luminosidad de las magdalenas experimenta un descenso lento pero progresivo con la adición de co-producto de chufa.

Sucede totalmente lo opuesto en el análisis de la luminosidad del exterior de las magdalenas del estudio de Abellán Mínguez (2014), donde la luminosidad aumenta conforme se incrementa la concentración de co-producto de chufa y a tiempo 4 días disminuye la luminosidad en todas las concentraciones.

López Salinas (2012), en su trabajo sobre la aplicación de co-productos de chufa y naranja en magdalenas, observó un incremento de la luminosidad hasta concentraciones de 10% de co-producto de chufa, tras el cual hubo un gran descenso al añadir un 15% de co-producto. Estos resultados se asemejan a lo visto por Abellán Mínguez (2014), pero contrarios a los obtenidos en el presente estudio.

De forma similar a la anterior, el estudio de Baixauli *et al.*, (2008), sobre los cambios en textura, color y la vida útil sensorial durante el almacenamiento de magdalenas con almidón resistente, la adición de almidón resistente en diferentes concentraciones produjo un aumento del parámetro de luminosidad.

En el trabajo de Rodenas Gallego (2014), la sustitución de sacarosa por estevia no produjo cambios significativos en la luminosidad del exterior de las magdalenas, mientras que si los hubo con el tiempo de almacenamiento, en el que hubo un incremento significativo en el segundo día de almacenamiento, mientras que las magdalenas de 0 y 4 días de almacenamiento fueron estadísticamente iguales.

En el estudio realizado por Psimouli *et al.*, (2011), sobre el efecto de endulzantes alternativos en la reología de la masa y las propiedades del bizcocho, todos los edulcorantes analizados produjeron un descenso, en mayor o menor medida, de la luminosidad del exterior de las magdalenas a excepción de dos de ellos. Manitol y povidexrosa fueron los únicos edulcorantes que aumentaron este parámetro en el exterior del bizcocho.

Por el contrario, en el estudio de Ronda *et al.*, (2005), sobre el efecto de los polioles y los oligosacáridos no digeribles en la calidad de bizcochos esponjosos sin azúcar, todos los edulcorantes utilizados, a excepción de la oligofruktosa, incrementaron la luminosidad del exterior del bizcocho. Este aumento de la luminosidad se debe a la mayor temperatura requerida para que ocurran las reacciones de Maillard.

En cuanto al estudio de Martínez Cervera (2011), la sustitución de la sacarosa por una mezcla de povidexrosa y sucralosa produjo una disminución en la luminosidad del exterior de las magdalenas, al igual que sucede con la sustitución con estevia. Sin embargo, en el caso de la mezcla de edulcorantes las diferencias no son estadísticamente significativas.

Los resultados del test de Tukey para la coordenada a\* (verde-rojo) mostrados en la Tabla 12, indican que con respecto al tiempo esta coordenada disminuye significativamente en el cuarto día de estudio. Mientras que la adición de co-producto

de chufa no produjo cambios significativos en esta coordenada de color. En la Figura 31 se muestran los valores de la coordenada  $a^*$  en un gráfico de barras, representando los resultados del test de Tukey.

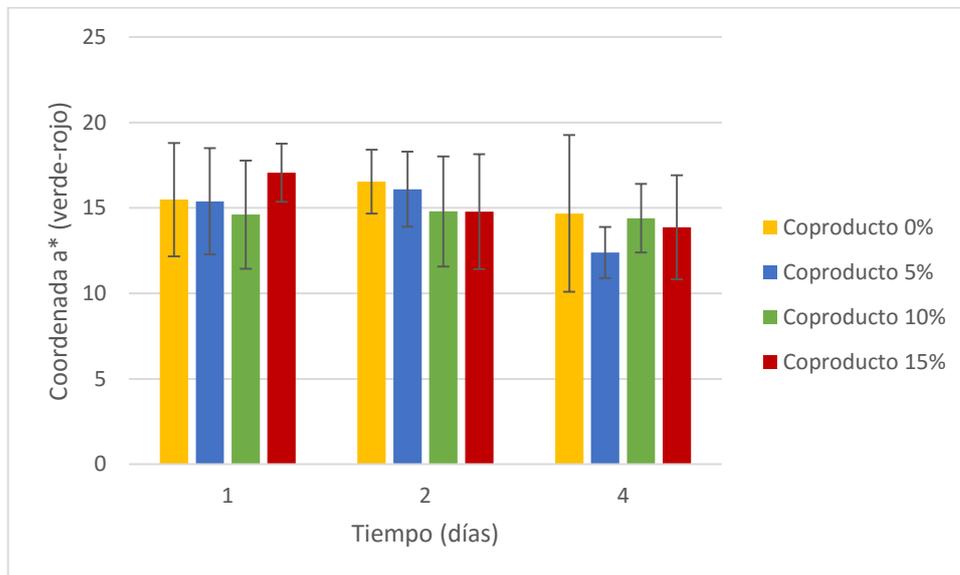


Figura 31: Valores de la coordenada de color verde-rojo ( $a^*$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa

Los resultados obtenidos por Abellán Mínguez (2015) indican un descenso de la coordenada  $a^*$  al mismo tiempo que se incrementa la concentración de co-producto en las magdalenas. Con respecto al tiempo se observó una disminución significativa en el segundo día de estudio, que posteriormente en el cuarto día de estudio se recuperó y fue igual a la medida inicial.

Resultados similares a los de este estudio se encuentran en el trabajo de López Salinas (2012), donde la coordenada  $a^*$  se mantiene sin cambios significativos, a excepción de la muestra de 15% de concentración de co-producto que sufren un incremento estadísticamente significativo en esta coordenada.

En el estudio realizado por Rodenas Gallego (2014) el tiempo de almacenamiento afecta de forma similar a las magdalenas de Abellán Mínguez (2015), disminuyendo en el día 2 de almacenamiento y recuperándose al cuarto día. La sustitución de la sacarosa por estevia y sucralosa generaron un descenso significativo en la coordenada  $a^*$ .

La sustitución de la sacarosa por una mezcla de sucralosa y povidexrosa no mostró diferencias significativas en el exterior de magdalenas según el trabajo realizado por Martínez Cervera *et al.*, (2011).

Las determinaciones de la coordenada  $a^*$  realizados por Psimouli *et al.*, (2011), en cuanto al efecto del uso de endulzantes alternativos sobre las propiedades del bizcocho, muestran que casi todos los sustitutos del azúcar incrementan el parámetro cromático responsable de los colores rojizos. La sustitución de la sacarosa por oligofruktosa produjo el valor más alto en la coordenada  $a^*$ , mientras que la más baja fue dada por la muestra con manitol.

En el estudio de Baixauli *et al.*, (2008) la adición de almidón resistente afectó negativamente a la coordenada  $a^*$ , haciéndola disminuir significativamente con respecto al control una vez alcanzada una concentración del 10% de almidón resistente añadido.

Respecto a los resultados del test de Tukey de la coordenada  $b^*$  (amarillo-azul) vistos anteriormente en la Tabla 12, se encuentran diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento entre el día 1 y 4 del estudio, disminuyendo los valores en éste último. En cuanto al efecto de la adición de co-producto de chufa, se observó un descenso significativo de este parámetro de color entre el control y todas las muestras con co-producto. La coordenada  $b^*$  fue estadísticamente igual entre las concentraciones de 5% y 10%, pero diferente a la concentración más elevada del 15% de co-producto.

Los resultados del test de Tukey comentados anteriormente pueden verse también en la Figura 32, donde se pueden ver los valores de la coordenada  $b^*$  (amarillo-azul) representados en un gráfico de barras.

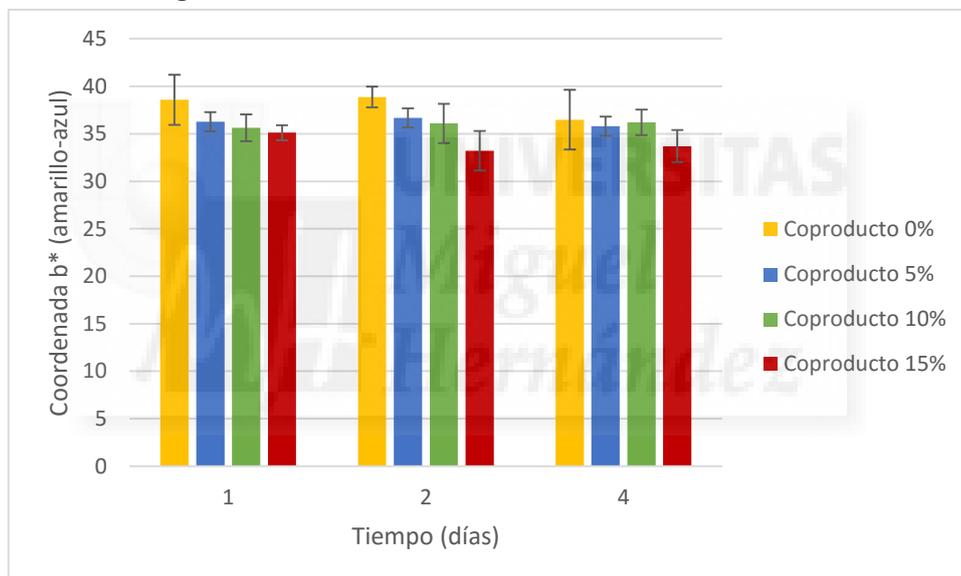


Figura 32: Valores de la coordenada de color amarillo-azul ( $b^*$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa

Resultados opuestos al descenso visto en los resultados del presente estudio, en las magdalenas con co-producto de chufa del trabajo de López Salinas (2012) la coordenada  $b^*$  aumenta ligeramente sin producir cambios significativos, excepto el incremento significativo de este parámetro en la concentración de 10%.

En el estudio de Rodenas Gallego (2014), la coordenada  $b^*$  fue significativamente mayor que la muestra control de sacarosa con un valor de 29,08 en el caso de estevia frente a los 27,36 de la sacarosa. En las magdalenas analizadas en el presente estudio el valor más bajo para la coordenada  $b^*$  ha sido de 35,11 y el más elevado de 38,87. El efecto del tiempo sobre este parámetro de color afecta del mismo modo a las magdalenas de ambos estudios, en los que se observan descensos significativos de los valores cuando se alcanza el cuarto día de almacenamiento de las muestras.

Un descenso similar en la coordenada  $b^*$  al observado en la Figura 32 es el visto en el trabajo realizado por Abellán Mínguez (2015), en el que la adición de co-producto de chufa a magdalenas sin gluten disminuyó significativamente la coordenada  $b^*$  en las concentraciones de 10% y 15% de co-producto.

Esta tendencia a la disminución de la coordenada  $b^*$  se repite también en el estudio de Baixauli *et al.*, (2008), en el que la adición progresiva de almidón resistente afecta de forma inversa a esta coordenada, es decir, a mayor cantidad de almidón añadido menor es el valor de la coordenada  $b^*$ .

Por otro lado, en el trabajo de Martínez Cervera *et al.*, (2011) la sustitución del a sacarosa por una mezcla de sucralosa y povidextrosa aumentó significativamente la coordenada  $b^*$  cuanto mayor era la proporción de sacarosa sustituida por la mezcla de endulzantes, con lo cual las magdalenas con mayor cantidad de sacarosa sustituida fueron de un color más anaranjado que aquellas en las que predominaba la sacarosa.

Psimouli *et al.*, (2011), en su estudio sobre el efecto que tiene el uso de diferentes edulcorantes en las propiedades del bizcocho, muestra resultados significativamente inferiores al control para la coordenada  $b^*$  de la mayoría de los edulcorantes analizados. Las excepciones que obtuvieron unos valores similares o superiores al control fueron la povidextrosa, manitol y la oligofruktosa.

Los resultados del test de Tukey de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) siguen la misma línea que la anteriormente descrita coordenada  $b^*$ , disminuyendo significativamente al incrementar la concentración de co-producto añadida a las magdalenas y reduciéndose drásticamente los valores al alcanzar el cuarto día de almacenamiento de las muestras. Estos resultados pueden verse fácilmente en la Figura 33, mostrada a continuación.

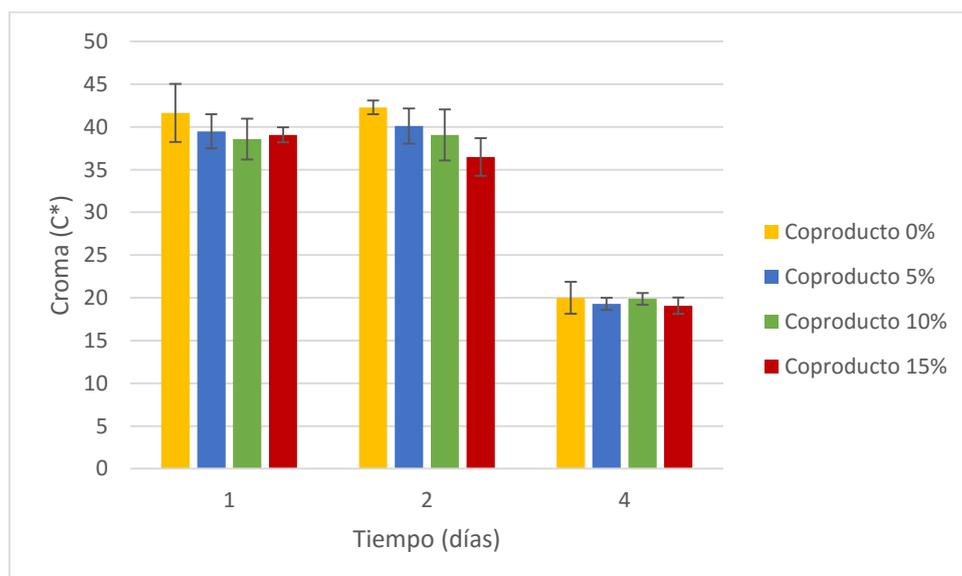


Figura 33: Valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa

Esta magnitud se comporta del mismo modo que la recientemente discutida coordenada  $b^*$  en los estudios de López Salinas (2012), Abellán Mínguez (2015), Rodenas Gallego (2014) y Baixauli *et al.*, (2008).

Tal como fue descrito anteriormente en la discusión de los parámetros de color de la masa fresca de las magdalenas (punto 4.1.1.1), con respecto a la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ), nuevamente se repite la relación entre la coordenada  $b^*$  y la magnitud Croma.

En este estudio, aunque la tendencia seguida por estos dos parámetros, el croma experimenta un descenso muy significativo en el cuarto día de estudio, mucho más pronunciado que en el caso de la coordenada  $b^*$ .

Los resultados del test de Tukey para la magnitud psicofísica del Tono ( $h_{ab}$ ) de la Tabla 12 muestran que la adición de co-producto de chufa no afecta significativamente a los valores de tono, mientras que el tiempo si lo hace, del mismo modo que en los parámetros anteriores, al llegar al día 4 de estudio. En la Figura 34 se pueden ver los resultados del test y la similitud que presentan los datos en cómo les afecta el tiempo de almacenamiento.

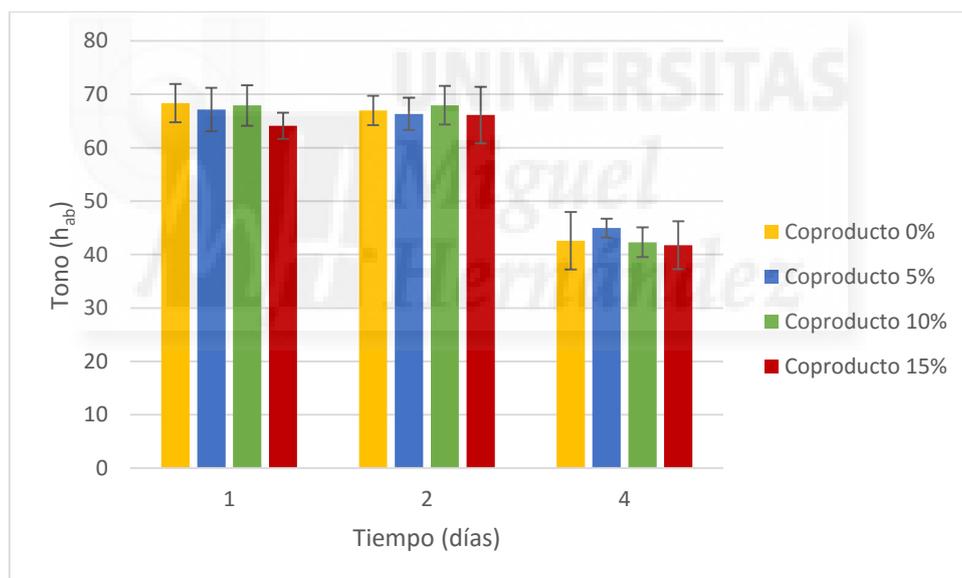


Figura 34: Valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) del exterior de las magdalenas con co-producto de chufa

Una vez más los resultados presentan similitudes entre las coordenadas y las magnitudes psicofísicas, como puede verse en los ya mencionados estudios de López Salinas (2012), Rodenas Gallego (2014), Abellán Mínguez (2015) y Baixauli *et al.*, (2008).

En el caso de López Salinas (2012) los efectos de la adición de co-producto de chufa observados fueron de un incremento progresivo y estadísticamente significativo hasta la concentración de 10%, regresando a valores iniciales al alcanzar la concentración de 15%.

En el trabajo de Rodenas Gallego (2014), el tono aumenta significativamente en las muestras de sucralosa y estevia, frente al control con sacarosa y el tiempo de almacenamiento afecto solamente en un incremento significativo en el segundo día de almacenamiento que posteriormente regresa a niveles estadísticamente iguales al inicio.

Del mismo modo en los resultados obtenidos por Abellán Mínguez (2015), las magdalenas mostraron un incremento significativo de la magnitud psicofísica tono ( $h_{ab}$ ) en el segundo día de almacenamiento, con una posterior recuperación a valores iniciales en el cuarto día. En cuanto al efecto de la incorporación de co-producto de chufa éste produjo un aumento del tono en las concentraciones 10% y 15% de co-producto.

Resultados semejantes a los obtenidos en este estudio fueron observados también en la adición de almidón resistente a magdalenas en el estudio de Baixauli *et al.*, (2008). La adición de almidón resistente hasta concentraciones del 20% no produjeron cambios significativos en el tono del exterior de las magdalenas.

#### **4.2.1.5.2. Color interno magdalenas**

Tras haber analizado los parámetros de color del exterior de las magdalenas sin azúcar con co-producto de chufa se analizaron estos mismos parámetros en el interior de las magdalenas y los efectos de la adición de co-producto sobre el color interno de las muestras. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros de color interno de las magdalenas se presentan en la Tabla 13.

Tabla 14: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros de color interno de las magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Factor	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tiempo	L	712,280	2	356,140	20,918	,000
	a	1,806	2	,903	3,110	,047
	b	61,062	2	30,531	21,778	,000
	C	3263,559	2	1631,780	1662,159	,000
	h	26608,274	2	13304,137	10286,519	,000
Co-producto	L	612,072	3	204,024	11,983	,000
	a	34,302	3	11,434	39,378	,000
	b	94,554	3	31,518	22,482	,000
	C	89,598	3	29,866	30,422	,000
	h	86,406	3	28,802	22,269	,000
Tiempo * Co-producto	L	145,708	6	24,285	1,426	,208
	a	2,375	6	,396	1,363	,233
	b	9,659	6	1,610	1,148	,337
	C	20,532	6	3,422	3,486	,003
	h	7,993	6	1,332	1,030	,408

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la Tabla 13 muestran diferencias significativas en todos los parámetros de color analizados tanto por la adición de co-producto como en el tiempo de almacenamiento de las muestras. Mientras que la variable Tiempo\*Co-producto no tuvo diferencias significativas a excepción de la magnitud psicofísica croma.

A continuación, en la Tabla 14 se muestran los resultados del test de Tukey para los parámetros de color interno de magdalenas con co-producto de chufa y las interacciones que estos tienen entre sí.

Tabla 15: Resultados del test de Tukey para el color interno de las magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Tiempo				Co-producto (%)			
	1	2	4	0	5	10	15	
L	a	c	b	a	b	b	b	
a*	a	a	a	d	c	b	a	
b*	a	b	a	c	b	b	a	
C* <sub>ab</sub>	a	b	c	c	b	b	a	
h <sub>ab</sub>	a	a	b	a	a	b	b	

a-d: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y d el valor más pequeño.

Los resultados del test de Tukey de la luminosidad muestran diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento de las magdalenas entre todos los días de estudio, disminuyendo drásticamente en el segundo día de almacenamiento y recuperándose parcialmente en el cuarto día. En cuanto al efecto de la adición de co-producto, su incorporación disminuyó la luminosidad de las magdalenas significativamente en todas las concentraciones analizadas, pero entre sí no existen diferencias estadísticas. En la Figura 35 se representan estas interacciones para el parámetro de la luminosidad del interior de las magdalenas con co-producto de chufa.

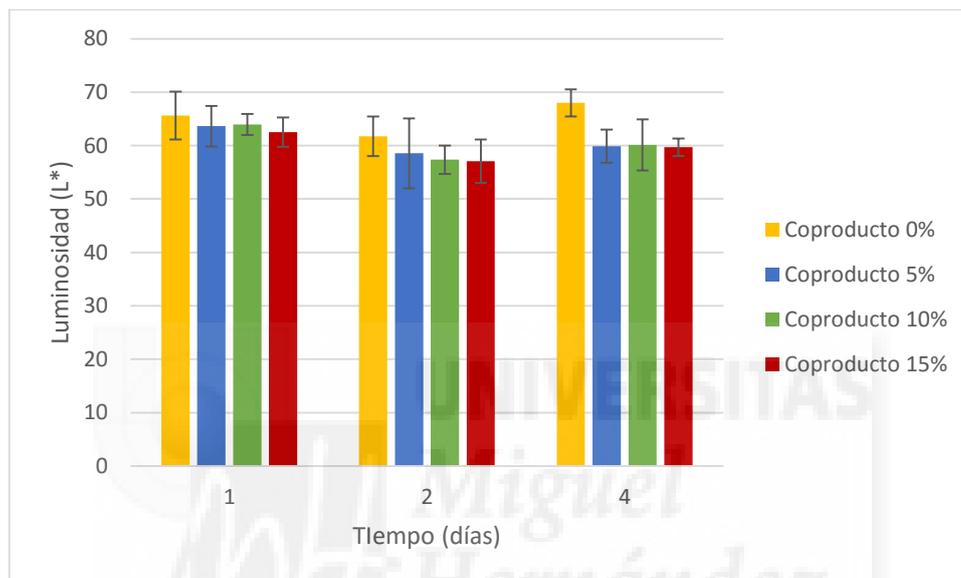


Figura 35: Valores de Luminosidad (L\*) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa

En el estudio de López Salinas (2012), la adición de co-producto de fibra generó diferencias significativas a partir de concentraciones superiores al 10% de co-producto. Las diferencias producidas se traducen en una disminución de la luminosidad, tal como sucede en este estudio.

Las muestras con estevia resultaron ser las de valores más bajos de luminosidad en el trabajo de Rodenas Gallego (2014). Por otro lado, el tiempo de almacenamiento aumentó significativamente la luminosidad de las muestras, a diferencia de lo que ocurre en las muestras del presente estudio.

Los efectos de la adición de co-producto de chufa en magdalenas sin gluten del estudio de Abellán Mínguez (2015) fueron similares a los del presente estudio, disminuyendo en todas las concentraciones, pero manteniéndose estadísticamente iguales entre ellas. En cuanto al tiempo, también hubo una disminución de la luminosidad interna de las magdalenas tras ser almacenadas en los días 2 y 4, aunque en las magdalenas analizadas en este estudio la disminución de este parámetro en el segundo día fue mucho más pronunciado.

Por otro lado, en el trabajo de Goswami *et al.*, (2015), la adición de mijo hasta concentraciones de 100% a magdalenas disminuyó significativamente la luminosidad

del interior de las magdalenas desde concentraciones del 20% de incorporación de mijo.

Del mismo modo, en el trabajo de Martínez Cervera *et al.*, (2011) la sustitución de la sacarosa por una mezcla de sucralosa y povidexosa redujeron significativamente la luminosidad interna de las magdalenas.

Psimouli *et al.*, (2011), en su estudio sobre los efectos de endulzantes alternativos, la mayoría de los sustitutivos disminuyeron la luminosidad de los bizcochos, con las excepciones de manitol, que produjo un incremento significativo respecto al control, y matitol, sorbitol y lactitol que fueron estadísticamente iguales al control.

Datos parecidos son los obtenidos por Ronda *et al.*, (2005), donde la mayoría de los sustitutivos analizados redujeron la luminosidad de los bizcochos. Las excepciones fueron el xilitol, el cual aumentó la luminosidad, y maltitol dio como resultados una luminosidad semejante al control.

En la Figura 36 se encuentra la representación de los valores de color de la coordenada  $a^*$ , los cuales representan las interacciones mostradas en la Tabla 14. Los resultados del test de Tukey indican que el tiempo no afectó de manera significativa, pero si lo hizo la incorporación de co-producto de chufa. La coordenada  $a^*$  aumentó de forma progresiva y significativa con la incorporación de cada una de las concentraciones de co-producto.

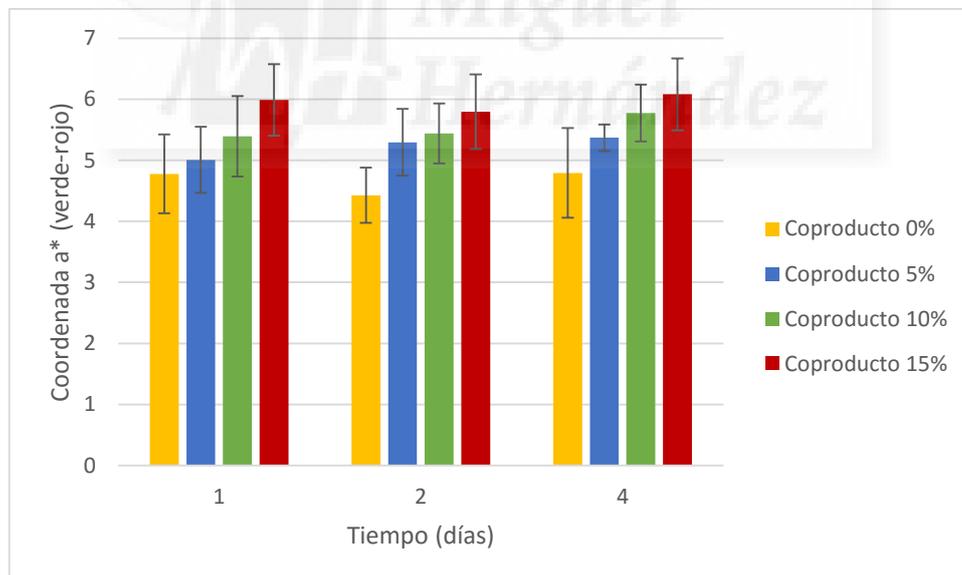


Figura 36: Valores de la coordenada de color verde-rojo ( $a^*$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa

En el estudio de López Salinas (2012), la incorporación de co-producto de chufa a magdalenas también provocó un incremento de la coordenada  $a^*$ , solo que en este caso sucedió a partir de la concentración de 10% de co-producto.

Como puede verse en el estudio de Rodenas Gallego (2014), esta coordenada de color verde-rojo fue mayor en las magdalenas que sustituyeron la sacarosa por

estevia. Por otro lado, el tiempo de almacenamiento si fue mostró diferencias, reduciéndose de forma significativa los valores en cada día de análisis.

Las magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa del estudio de Abellán Mínguez (2015) no fueron afectadas de forma significativa por el tiempo de almacenamiento, al igual que sucede con las magdalenas de este estudio, pero si por la adición de co-producto. La incorporación de co-producto produjo un aumento significativo pero irregular en la coordenada  $a^*$ . Las magdalenas con 5% de co-producto experimentaron el mayor aumento, mientras que en la siguiente concentración analizada de 10% descendió hasta volver a niveles estadísticamente iguales al control, para elevarse una vez más en la concentración máxima de 15%.

En el estudio de Psimouli *et al.*, (2011), los resultados muestran que casi la totalidad de los edulcorantes analizados como sustitutos de la sacarosa en bizcocho incrementaron los valores de la coordenada  $a^*$  con una única excepción, el lactitol fue significativamente menor al control.

Efectos similares se observaron en el trabajo de Martínez Cervera *et al.*, (2011), donde la sustitución de la sacarosa con una mezcla de sucralosa y polidextrosa también elevó significativamente la coordenada de color  $a^*$ .

La incorporación de mijo en magdalenas, al igual que la incorporación de co-producto de chufa, aumentó significativamente la coordenada  $a^*$  de las magdalenas analizadas en el trabajo realizado por Goswami *et al.*, (2015).

Los resultados del test de Tukey para la coordenada  $b^*$ , mostrados en la Tabla 14, indican que el tiempo de almacenamiento hizo disminuir significativamente esta coordenada llegado el segundo día de análisis, reestableciéndose después en el cuarto día a valores estadísticamente idénticos al inicio del análisis. La incorporación de co-producto afecto del mismo modo que en la coordenada  $a^*$ , pero de forma más leve. La adición de co-producto de chufa aumentó los valores de coordenada  $b^*$  de forma significativa con respecto al control. Entre las concentraciones de 5% y 10% no hubo diferencias significativas, mientras que sí las hubo entre las concentraciones anteriores y el 15%, donde se observaron los valores más elevados.

A continuación, en la Figura 37 se encuentran representados los valores de la coordenada de color amarillo-azul ( $b^*$ ), en cuya forma gráfica pueden observarse las interacciones de las variables vistas en el test de Tukey de la Tabla 14.

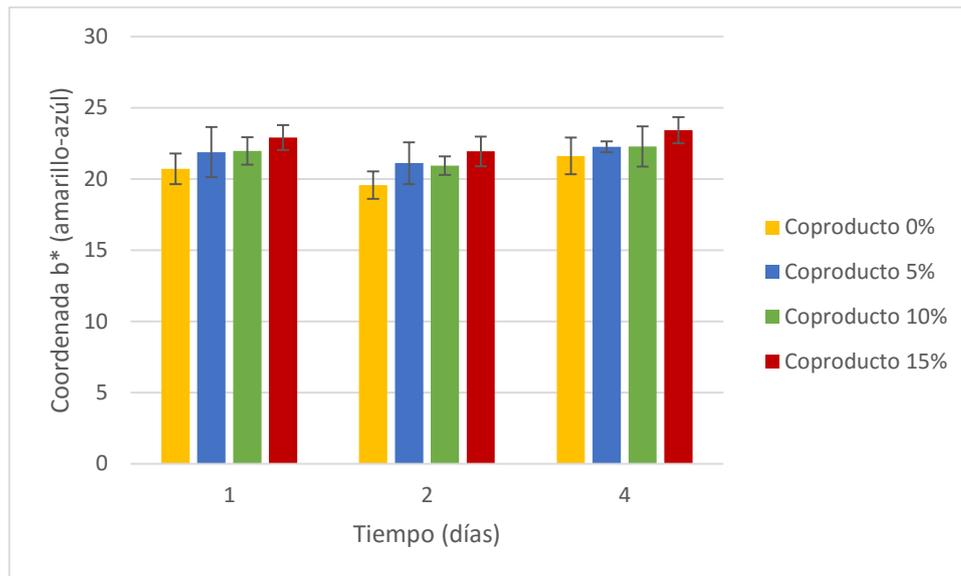


Figura 37: Valores de la coordenada de color amarillo-azul ( $b^*$ ) del interior de las magdalenas con co-productos de chufa

Las magdalenas con sacarosa y co-producto de chufa de López Salinas (2012) mantuvieron la coordenada  $b^*$  en valores estadísticamente iguales hasta la concentración de 10%, tras la que incrementó de forma significativa en las concentraciones de 15% y 20% de co-producto.

En el trabajo de Rodenas Gallego (2014), el tipo de edulcorante produjo un descenso significativo de los valores de la coordenada  $b^*$  siendo las muestras con estevia fueron las que mostraron los valores más bajos. En este caso, el tiempo no influyó de forma significativa en esta coordenada en el interior de las magdalenas.

Por otro lado, en el estudio de Abellán Mínguez (2015) el tiempo afectó del mismo modo a las magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa, disminuyendo significativamente sus valores al segundo día de estudio y recuperando los valores iniciales al cuarto. En cuanto al efecto de la concentración de co-producto, en este estudio ocurre al contrario que en las magdalenas analizadas en el presente estudio, la coordenada  $b^*$  en el interior de las magdalenas decreció significativamente en las concentraciones de 10% y 15% de co-producto.

Al igual que en las magdalenas sin gluten, en el trabajo de Goswami *et al.*, (2015) la adición de mijo hizo que disminuyera la coordenada  $b^*$  en la miga de las magdalenas.

Resultados más parecidos a los del presente estudio se observaron en el trabajo de Martínez Cervera *et al.*, (2011), en el que la sustitución de la sacarosa por una mezcla de sucralosa y polidextrosa incrementó significativamente la coordenada  $b^*$  del interior de las magdalenas.

En el análisis de bizcochos con diferentes edulcorantes, realizado por Psimouli *et al.*, (2011), la coordenada  $b^*$  de la mayoría de las muestras fueron iguales o superiores al control de sacarosa, siendo el manitol el único con un valor significativamente menor.

En la Figura 38 se presentan los valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ), así como las interacciones que existen entre las muestras y que han sido indicadas en los resultados del test de Tukey en la anterior Tabla 14.

Los resultados del test de Tukey indican que el croma disminuyó significativamente en cada uno de los días de estudio, registrándose los valores más bajo en el cuarto día. Respecto al efecto de la incorporación de co-producto, incrementaron los valores de croma por encima del control. Las concentraciones de 5% y 10% se mostraron estadísticamente iguales, mientras que la concentración más elevada de 15% de co-producto fue también la muestra con los valores significativamente más elevados.

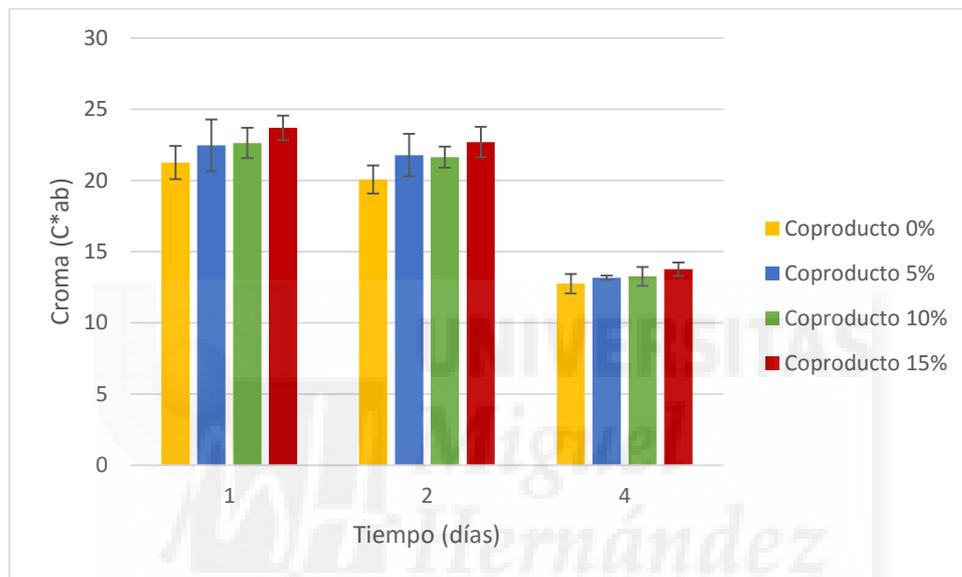


Figura 38: Valores de la magnitud psicofísica Croma ( $C^*_{ab}$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa

En el caso de López Salinas (2012), el croma se vio significativamente afectado con concentraciones de 15% de co-producto o más, donde se incrementaron los valores de la magnitud psicofísica.

En el trabajo de Rodenas Gallego (2014), el tiempo afectó de forma contraria a lo sucedido en el presente estudio, aumentando significativamente este parámetro en cada día de almacenamiento. Por otro lado, su análisis de la magnitud psicofísica croma en el interior de las magdalenas con sucralosa, estevia y un control de sacarosa indicaron que las muestras con estevia fueron las que registraron los valores más bajos.

Los valores de croma también se incrementaron significativamente con la adición de co-producto de chufa en magdalenas sin gluten en el trabajo de Abellán Mínguez (2015). En este trabajo el tiempo no produjo cambios significativos en esta magnitud, a diferencia del caso anterior y que el presente estudio.

Por el contrario, la adición de mijo en magdalenas realizada por Goswami *et al.*, (2015), el valor del croma del interior de las magdalenas fue descendiendo significativamente conforme se incrementaba la adición de mijo en las muestras.

Como ya se ha visto anteriormente en los análisis de los parámetros de color en la masa y en el color externo de las magdalenas, la magnitud croma está muy relacionada con la coordenada  $b^*$  y comparte en gran medida su comportamiento cuando existen variaciones en sus valores, según se ha visto tanto en los resultados de este estudio como en los citados durante la discusión de los mismos.

A continuación, podemos ver la Figura 39, en la que se muestran los valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) y sus interacciones mostradas anteriormente en la Tabla 14.

Tanto en tiempo de almacenamiento como la adición de co-producto de chufa produjeron cambios significativos en el tono del interior de las magdalenas, disminuyendo en ambos casos. En el tiempo los cambios significativos se observaron en el cuarto día de almacenamiento, mientras que en la adición de co-producto el tono comenzó a disminuir significativamente en las concentraciones de 10% y 15%.

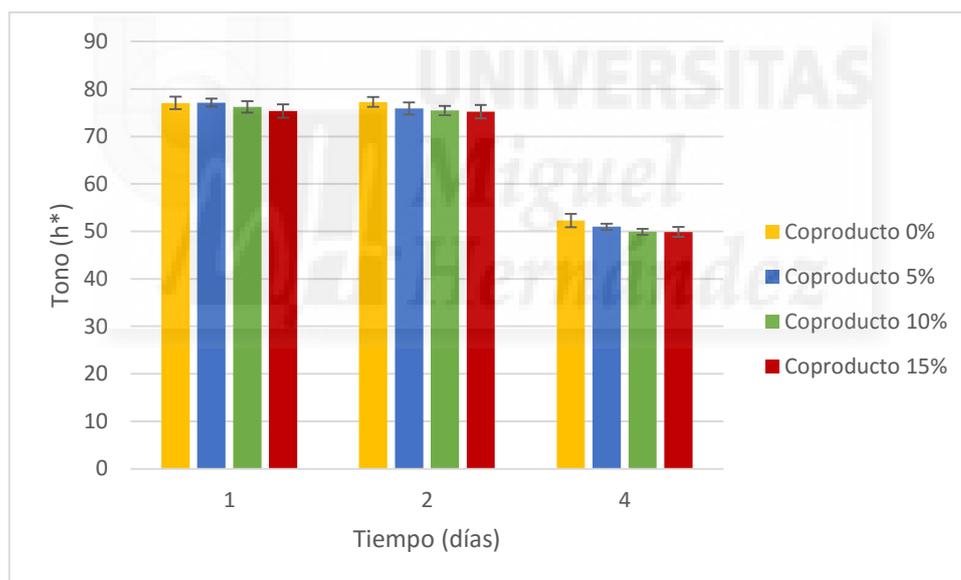


Figura 39: Valores de la magnitud psicofísica Tono ( $h_{ab}$ ) del interior de las magdalenas con co-producto de chufa

La tendencia a la disminución del tono en el interior de las magdalenas con la adición de co-producto de chufa sucedió también en el trabajo de López Salinas (2012).

Al igual que sucede con el croma, en el estudio de Rodenas Gallego (2014) el tono de las magdalenas con estevia fueron las muestras con los valores significativamente más bajos de todos los estudiados.

Los resultados obtenidos por Abellán Mínguez (2015), en sus magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa, muestran un efecto contrario al visto en el presente estudio en cuanto a la incorporación de co-producto. En su caso la magnitud psicofísica tono aumenta significativamente en las concentraciones de 10% y 15% de

co-producto, en vez de disminuir, como sucede en este estudio. Con respecto al tiempo, no se observaron cambios significativos a lo largo del estudio.

#### 4.2.1.6. Determinación de la textura

El análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros de textura (Firmeza y Esponjosidad), donde se muestran las diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) para las variables tiempo y concentración de co-producto de chufa en magdalenas se presenta en la Tabla 15.

Tabla 16: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros del análisis de la textura de las magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tiempo	Firmeza	255355,511	2	127677,755	37,915	,000
	Esponjosidad	1391,247	2	695,624	39,450	,000
Co-producto	Firmeza	769726,887	3	256575,629	76,192	,000
	Esponjosidad	46,098	3	15,366	,871	,460
Tiempo * Co-producto	Firmeza	102407,655	6	17067,943	5,068	,000
	Esponjosidad	389,342	6	64,890	3,680	,003

Se observan diferencias significativas para los factores de firmeza y esponjosidad en función del tiempo de estudio y únicamente para la firmeza en el caso de la variable co-producto.

En la Tabla 16 se muestran los resultados del test de Tukey, donde se encuentran las diferencias e igualdades estadísticas entre los valores de ambos factores y las variables.

Tabla 17: Resultados del test de Tukey para los parámetros del análisis de textura de magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Tiempo				Co-producto (%)		
	1	2	4	0	5	10	15
Firmeza	b	a	a	b	b	a	a
Esponjosidad	a	b	c	a	a	a	a

a-c: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y c el valor más pequeño.

A continuación, se realizará la discusión individual de los parámetros de textura analizados en las magdalenas con co-producto de chufa.

#### 4.2.1.6.1. Firmeza o dureza

La Firmeza o dureza de las magdalenas, tal como muestra la Tabla 16, se incrementó significativamente en el segundo día de almacenamiento y se mantuvo en valores estadísticamente iguales hasta el final del estudio. Del mismo modo, la incorporación de co-producto elevó significativamente la firmeza de las magdalenas cuando la concentración añadida fue de 10% y 15%.

En la Figura 40 se expresan gráficamente los valores de la Firmeza, así como se aprecian las interacciones entre las muestras mostradas en la Tabla 16.

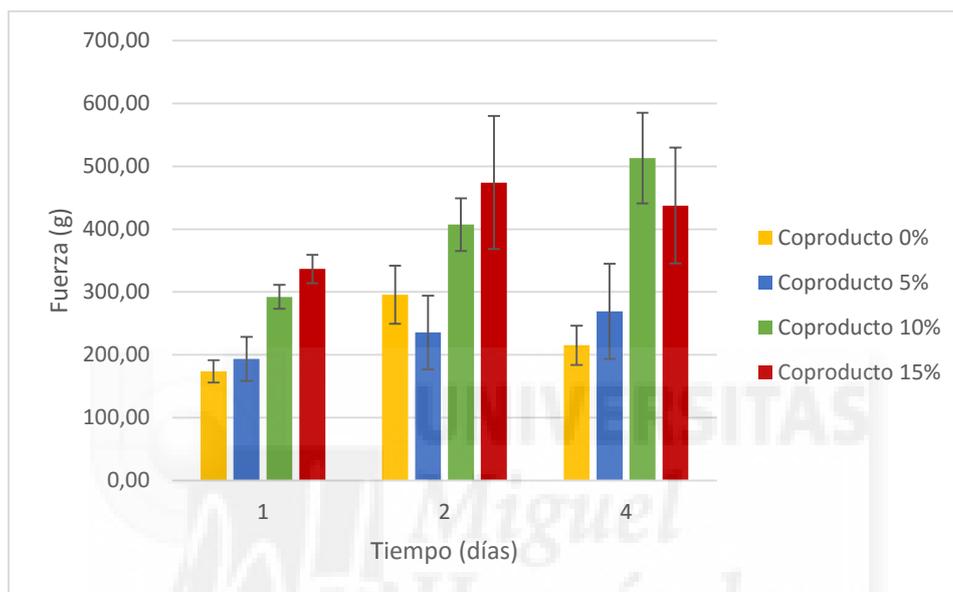


Figura 40: Valores de la Firmeza (g) de las magdalenas con co-producto de chufa

Los resultados obtenidos por López Salinas (2012) muestran también un incremento de la firmeza de las magdalenas con la adición de co-producto, pero no se observaron variaciones significativas causadas por el tiempo de almacenamiento.

Las magdalenas con estevia resultaron ser las muestras con los resultados de firmeza más elevados en el estudio de Rodenas Gallego (2014). El tiempo de almacenamiento también incrementó significativamente la firmeza, la igual que el uso de edulcorantes en sustitución de la sacarosa.

Resultados semejantes a los del presente estudio también fueron observados en el trabajo de Abellán Mínguez (2015), en sus magdalenas sin gluten con co-producto de chufa. La firmeza aumentó significativamente tanto en el día 2 de estudio como en el cuarto, siendo éste último el más elevado. La incorporación de co-producto generó también un incremento significativo en la firmeza de las magdalenas en las concentraciones de 5%, 10% y 15%. Las magdalenas de 5% y 10% de co-producto fueron estadísticamente iguales y las muestra de 15% de co-producto las de mayor valor de firmeza.

Por el contrario, en el trabajo de Goswami *et al.*, (2015) la adición mijo en magdalenas produjo un importante descenso en la dureza de las magdalenas

analizadas. El descenso significativo de la dureza se dio desde la concentración más baja elaborada hasta la más alta.

En el caso del estudio realizado por Baixauli *et al.*, (2008), la sustitución de harina de trigo por almidón resistente produjo un descenso irregular, pero significativo, de la dureza de las magdalenas. Las concentraciones de 5% y 15% fueron iguales entre si e inferiores al control, mientras que las muestras con 10% y 20% de almidón resistente fueron iguales, registrando los valores de firmeza más bajos del estudio.

En el estudio realizado por Psimouli *et al.*, (2011), en el que se analizan los efectos sobre las propiedades de los bizcochos tras la sustitución con diferentes edulcorantes, no se observaron cambios significativos en la firmeza de la miga de bizcochos con sustitutos del azúcar con respecto a la firmeza de la miga del bizcocho control, excepto el manitol, que presentó un significativo incremento en la firmeza.

La sustitución de sacarosa por una mezcla de sucralosa y polidextrosa en magdalenas llevado a cabo en el estudio de Martínez Cervera *et al.*, (2011), generó magdalenas con una textura más blanda en comparación con el control, es decir, los valores de firmeza fueron significativamente inferiores cuando se sustituyó la sacarosa por la mezcla de edulcorantes.

Los resultados obtenidos por Ronda *et al.*, (2005) indican que en general la elaboración de bizcochos con sustitución de la sacarosa por polioles y oligosacáridos no digeribles da como resultado bizcochos con una textura de miga significativamente más blanda. Las muestras preparadas con xilitol fueron las que produjeron los mayores decrecimientos de firmeza. En cuanto a la evolución de la firmeza durante el tiempo de almacenaje la isomaltosa fue el agente de carga que mejor retrasó el endurecimiento durante el periodo de estudio. Mientras que las muestras en las que se usó oligofruktosa, polidextrosa y manitol incrementaron la firmeza de la miga notablemente.

El aumento de la firmeza en las muestras está relacionado con la pérdida de agua por la deshidratación de las muestras por el paso del tiempo y, además, el aumento del co-producto también ha influido, haciéndolas más compactas y resistentes al esfuerzo.

#### **4.2.1.6.2. Esponjosidad o Elasticidad**

La esponjosidad o elasticidad de las magdalenas con co-producto de chufa disminuyó a lo largo del tiempo que duró el estudio, como puede verse en la Tabla 16, observándose diferencias significativas entre los valores en todos los días en los que se realizaron análisis. La incorporación de co-producto de chufa, sin embargo, no provocó diferencias significativas entre las muestras en ninguna de las concentraciones estudiadas.

En la Figura 41 se muestran los valores de la esponjosidad (%) de las magdalenas con co-producto de chufa en una gráfica de barras, en las que es posible ver las interacciones vistas en la Tabla 16.

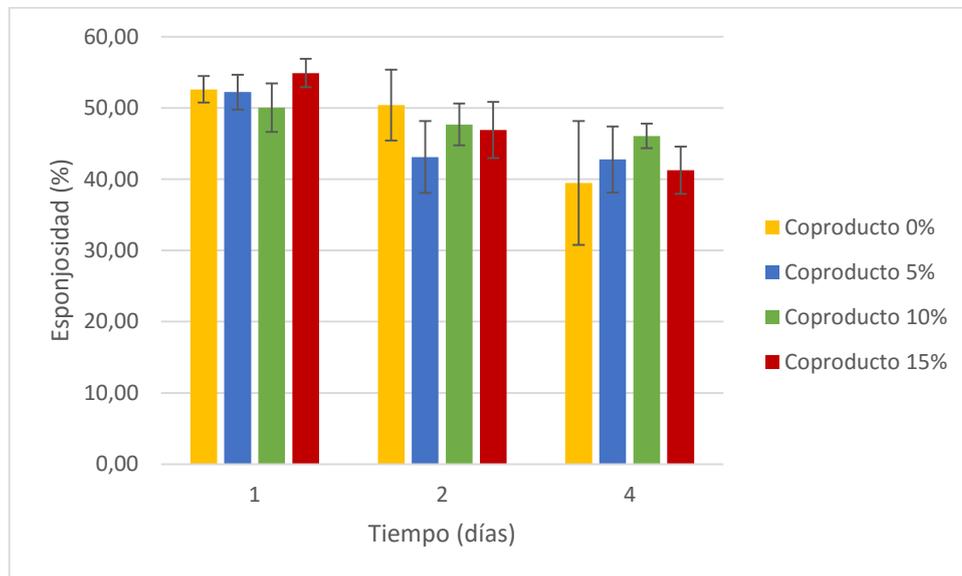


Figura 41: Valores de la Esponjosidad (%) de las magdalenas con co-producto de chufa

En el trabajo de López Salinas (2012), la elasticidad o esponjosidad de las magdalenas con co-producto de chufa no mostraron diferencias significativas producidas por el tiempo de almacenamiento ni por la incorporación de diferentes concentraciones de co-producto.

En cambio, en el estudio de Rodenas Gallego (2014) la esponjosidad experimentó una reducción significativa en el segundo día de estudio, manteniéndose hasta el final del mismo. En cuanto a la esponjosidad en función del edulcorante usado, la sacarosa y la sucralosa se mostraron iguales, mientras que la estevia obtuvo los valores significativamente más elevados de esponjosidad.

En el trabajo de Abellán Mínguez (2015) se puede observar un efecto totalmente contrario al del presente estudio de la influencia del tiempo de almacenamiento en la esponjosidad de las magdalenas. En las magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa el tiempo incrementó significativamente la esponjosidad de las magdalenas. Con respecto a la incorporación de co-producto de chufa únicamente se observó cambios significativos en la concentración más alta, en la que la esponjosidad disminuyó.

La sustitución de harina de trigo por mijo en magdalenas llevado a cabo por Goswami *et al.*, (2015) determinó que la adición de mijo redujo significativamente la esponjosidad de las magdalenas progresivamente con el aumento de la proporción de mijo en las muestras.

Por otro lado, la sustitución de harina de trigo por almidón resistente realizada por Baixauli *et al.*, (2008), produjo un descenso en la esponjosidad en dosis altas de 15% y 20% de almidón resistente añadido.

Los edulcorantes alternativos empleados para la elaboración de bizcochos del estudio de Psimouli *et al.*, (2011), no mostraron diferencias significativas en la esponjosidad lograda en los bizcochos con sustitutivos de la sacarosa y el control, a excepción del manitol, que obtuvo el valor significativamente más bajo para este parámetro de textura.

En el trabajo de Martínez Cervera *et al.*, (2011), la sustitución de la sacarosa por la mezcla de sucralosa y povidona produjo cambios significativos, disminuyendo levemente la esponjosidad de las magdalenas.

#### 4.2.2. Determinaciones Físico-Químicas De Las Magdalenas

##### 4.2.2.1. pH y Actividad de agua ( $a_w$ )

El análisis de varianza (ANOVA), donde se indican las diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ), de los parámetros físico-químicos medidos en las magdalenas con co-producto de chufa en función del tiempo de almacenaje y la concentración incorporada de co-producto, se muestra a continuación en la Tabla 17.

Tabla 18: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físico-químicos de pH y actividad de agua ( $a_w$ ) de magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tiempo	pH	,004	1	,004	,138	,720
	$a_w$	,000	1	,000	9,467	,015
Co-producto	pH	,300	3	,100	3,528	,068
	$a_w$	,000	3	7,900E-5	1,870	,213
Tiempo * Co-producto	pH	,025	3	,008	,295	,828
	$a_w$	1,400E-5	3	4,667E-6	,110	,952

El análisis de varianza (ANOVA) indica que de los parámetros físico-químicos analizados, únicamente la actividad de agua ha experimentado diferencias significativas causadas por el tiempo de almacenamiento.

Las variables de tiempo y concentración de co-producto no produjeron cambios significativos sobre el parámetro físico-químico pH, como puede verse en la Tabla 17 y de forma gráfica en la Figura 42.

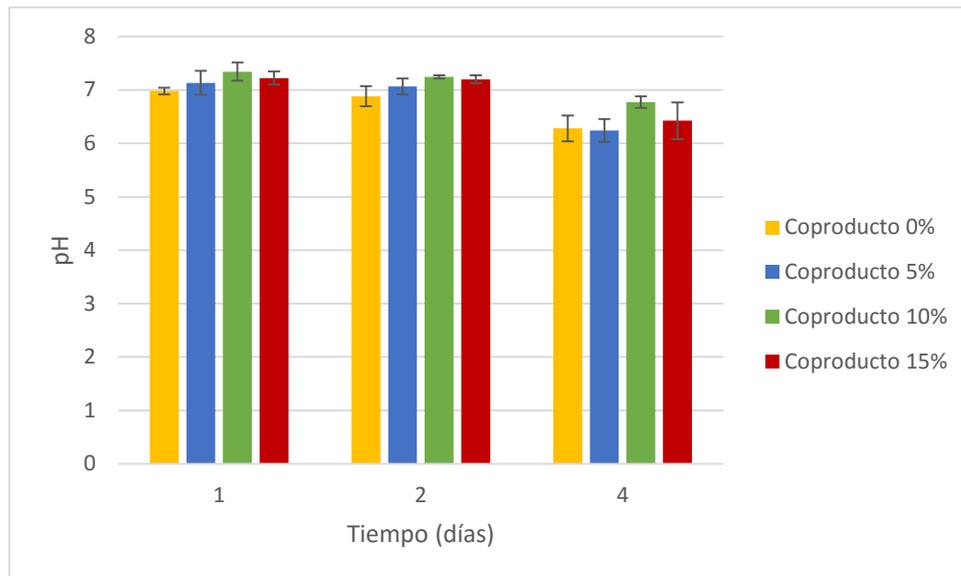


Figura 42: Valores del parámetro físico-químico pH de magdalenas con co-producto de chufa

Resultados semejantes obtuvo López Salinas (2012) en su estudio de aplicaciones de co-producto de chufa y naranja en magdalenas, donde tampoco se observaron cambios en el pH derivado de la adición de diferentes concentraciones de co-producto de chufa.

El estudio de Rodenas Gallego (2014) indica que las magdalenas con estevia en sustitución de la sacarosa presentan un pH significativamente inferior, con un valor medio de 7,11. En el presente estudio el valor medio de pH de las magdalenas con co-producto de chufa elaboradas ha sido de 6,9.

En cambio, las magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa de Abellán Mínguez (2015) si tuvieron cambios significativos en el parámetro físico-químico pH. En este caso el tiempo de estudio disminuyó significativamente este parámetro en el segundo día de análisis, mientras que la concentración de co-producto no provocó cambios destacables.

El pH de las magdalenas con harina de linaza de Shearer y Davies (2004) fue muy similar al del presente estudio, con valores medios de pH de 6,8. Este valor prácticamente no ha variado frente a la masa de magdalenas sin hornear, la cual tuvo valores medios de pH de 6,81.

Las determinaciones de Sánchez Zapata *et al.*, (2009) realizadas sobre el co-producto de chufa indicaron que su pH se encuentra en valores de 6,73. Las magdalenas control sin co-producto de chufa elaboradas en este estudio tuvieron valores de 6,98, muy próximo a los valores obtenidos por Rodenas Gallego (2014). El pH ligeramente más bajo del co-producto puede ser el responsable del leve descenso en el pH de las magdalenas, pero la diferencia es tan pequeña que carece de relevancia.

Por otra parte, la actividad de agua si mostró diferencias significativas en relación al tiempo de estudio, en el cual disminuyó progresivamente tanto en el segundo día como en el cuarto, pero no se observaron cambios significativos por la incorporación de co-producto, tal como puede verse en la Figura 43.

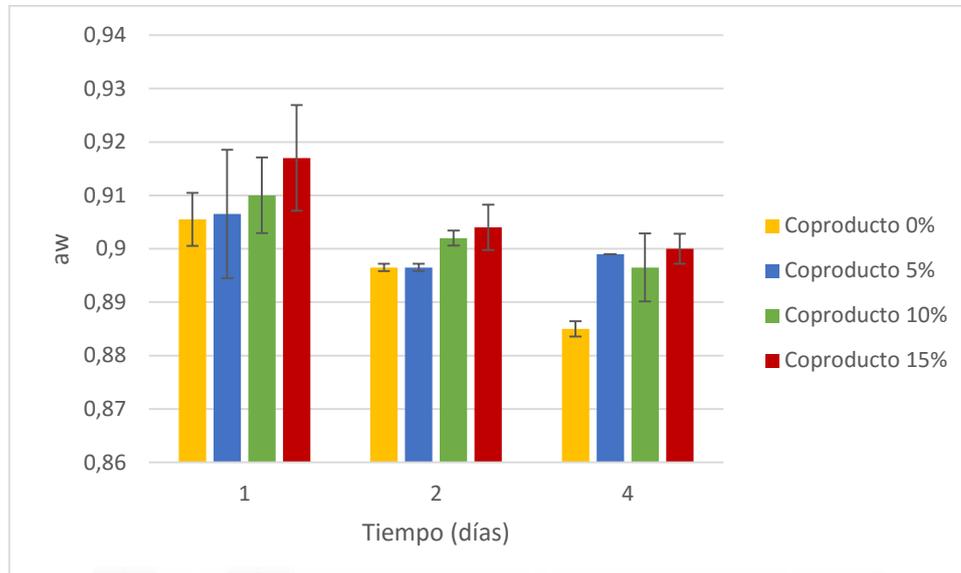


Figura 43: Valores del parámetro físico-químico  $a_w$  para magdalenas con co-producto de chufa

Del mismo modo que en este estudio, la actividad de agua de las magdalenas con co-producto de chufa del estudio de López Salinas (2012) no mostró diferencias significativas por la adición de diferentes concentraciones de co-producto de chufa.

En el trabajo de Rodenas Gallego (2014) se vio que las magdalenas con estevia tenían una mayor actividad de agua que las elaboradas con sacarosa, actividad de agua que a lo largo del tiempo de almacenamiento fue disminuyendo, siendo significativamente distintas en los tres días analizados.

Efectos similares en la actividad de agua provocados por el tiempo de almacenamiento se observaron en las magdalenas sin gluten de Abellán Mínguez (2015), en las que los valores de actividad de agua disminuyeron significativamente en los días dos y cuatro de estudio respecto al inicio del estudio. Por otro lado, la incorporación de co-producto de chufa aumentó este parámetro físico-químico de forma significativa al alcanzar concentraciones de 10% y 15%. En la Figura 43 puede observarse una tendencia similar, pero sin que lleguen a ser estadísticamente significativas.

Los resultados de actividad de agua de las magdalenas con linaza de Shearer y Davies (2004) concuerdan con los obtenidos por López Salinas (2012) y el presente estudio, en los cuales no se observaron diferencias significativas en la actividad de agua de las muestras producidas por la incorporación de co-productos en su formulación.

Por otro lado, los resultados de Struck *et al.*, (2015) muestran resultados similares a los obtenidos por Abellán Mínguez (2015), en los cuales la actividad de agua

se incrementa significativamente tras la adición de diferentes concentraciones de fibra de varios orígenes, en combinación con la sustitución de sacarosa por rebaudiósido A. Estos resultados también respaldan el incremento, aunque no significativo, de la actividad de agua de las muestras con más concentración de co-producto de chufa de este estudio, tal como se ve en la Figura 43.

La elevada actividad de agua registrada por Sánchez Zapata *et al.*, (2009) en el co-producto de chufa refuerza todavía más que la incorporación de este co-producto puede generar un aumento en la actividad de agua de los productos en los cuales se añade.

#### 4.2.3. Determinaciones Químicas De Las Magdalenas

##### 4.2.3.1. Determinación de la humedad

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para conocer las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la humedad de magdalenas sin azúcar con diferentes concentraciones de co-producto de chufa y los efectos del tiempo de almacenamiento.

Tabla 19: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) del parámetro químico humedad de magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Humedad	Tiempo	33,584	2	16,792	10,935	,002
	Co-producto	31,375	3	10,458	6,810	,006
	Tiempo * Co-producto	6,464	6	1,077	,702	,654

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) del parámetro químico de humedad que se muestra en la tabla 18 indica que los factores tiempo y concentración de co-producto produjo diferencias significativas entre los valores de humedad.

Para conocer las interacciones entre las muestras con diferencias significativas se ha realizado el test de Tukey, cuyos resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 20: Resultados del test de Tukey para el parámetro químico humedad de magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Tiempo				Co-producto (%)		
	1	2	4	0	5	10	15
Humedad	b	ab	a	a	b	b	ab

a-b: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y b el valor más pequeño.

A lo largo del estudio la humedad de las muestras se incrementó significativamente, obteniendo su valor más elevado en el cuarto día. Respecto al

efecto de la incorporación de co-producto, el incremento de la concentración de co-producto en la formulación de las magdalenas disminuyó significativamente la humedad de las muestras en las concentraciones de 5% y 10%. La concentración del 15% de co-producto tuvo una humedad estadísticamente igual al control y al resto de concentraciones analizadas. En la Figura 44 se muestran gráficamente los resultados del test de Tukey con los valores medios de humedad de cada muestra.

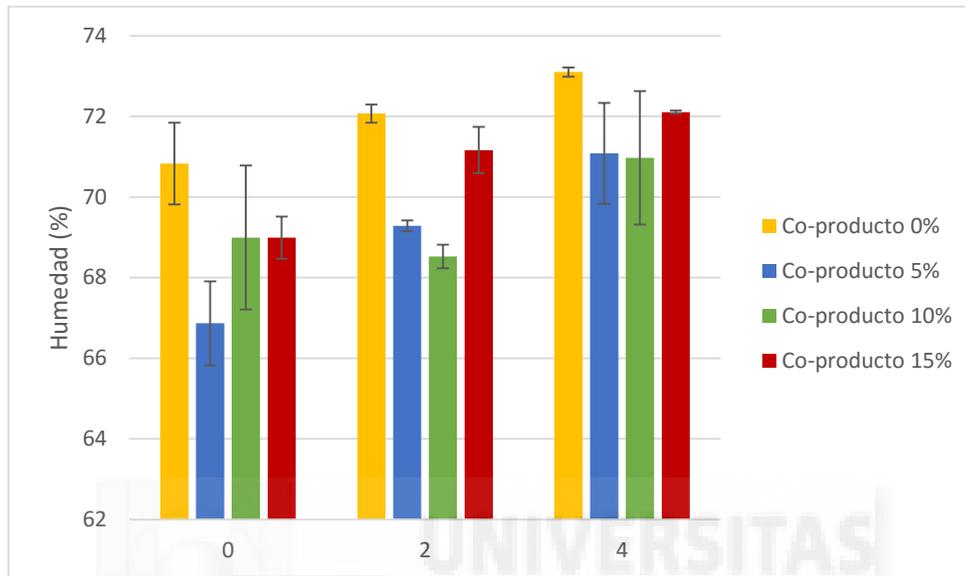


Figura 44: Valores del parámetro químico humedad para las magdalenas con co-producto de chufa

En el estudio realizado por López Salinas (2012), la humedad de las magdalenas con co-producto de chufa no experimentó cambios significativos por la adición de diferentes concentraciones de co-producto o por el tiempo de almacenamiento de las muestras.

Los resultados de los análisis realizados por Rodenas Gallego (2014), sobre las propiedades de magdalenas con sustitutos de la sacarosa, muestran una ganancia de humedad significativa en las magdalenas a lo largo del tiempo de estudio, del mismo modo que sucede en las magdalenas del presente trabajo. La humedad de las magdalenas con estevia fue significativamente superior a la de las muestras control de sacarosa.

Por el contrario, en el estudio de Abellán Mínguez (2015), los análisis del parámetro químico de humedad en magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa mostraron descensos significativos en la humedad de las muestras cuando se les incorporó el co-producto y también se observó una reducción significativa en el segundo y cuarto día de estudio.

Al igual que en el estudio de Abellán Mínguez (2015), la adición de linaza en magdalenas realizado por Shearer y Davies (2004) redujo significativamente la humedad de las magdalenas tras cinco días de almacenamiento y cuanto mayor fue la adición de linaza menor fue también la humedad de las muestras.

#### 4.2.4. Análisis Sensorial

Tras la elaboración de los diferentes lotes de magdalenas con estevia y concentraciones de co-producto (0%, 5%, 10% y 15%), una parte de las muestras se destinó al análisis sensorial, para así determinar si los efectos producidos por la incorporación de co-producto de chufa en las propiedades de las magdalenas, determinadas de forma analítica, producen cambios en la aceptación de estos productos por parte de los consumidores.

A continuación, en la Tabla 20 se muestran los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros sensoriales analizados durante las sesiones de catas a consumidores, donde se muestran las diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre los valores de cada uno de los factores y las variables.



Tabla 21: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de magdalenas con co-producto de chufo.

Variable	Factor	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tiempo	Forma	1,008	2	,504	,711	,492
	Color Externo	2,808	2	1,404	2,096	,125
	Porosidad	4,433	2	2,217	2,366	,096
	Color Interno	5,033	2	2,517	3,550	,030
	Aroma	5,258	2	2,629	3,172	,044
	Sabor	2,558	2	1,279	1,482	,229
	Dulzor	2,633	2	1,317	1,347	,262
	Esponjosidad	8,108	2	4,054	5,152	,006
	Detección de Partículas	9,700	2	4,850	4,389	,013
	Aceptación General	2,258	2	1,129	1,348	,262
Co-producto	Forma	,550	3	,183	,259	,855
	Color Externo	4,846	3	1,615	2,411	,068
	Porosidad	1,800	3	,600	,640	,590
	Color Interno	1,479	3	,493	,695	,556
	Aroma	14,317	3	4,772	5,757	,001
	Sabor	5,417	3	1,806	2,092	,102
	Dulzor	4,412	3	1,471	1,505	,214
	Esponjosidad	15,033	3	5,011	6,369	,000
	Detección de Partículas	62,812	3	20,937	18,947	,000
	Aceptación General	21,746	3	7,249	8,655	,000
Tiempo * Co-producto	Forma	8,025	6	1,338	1,887	,084
	Color Externo	5,392	6	,899	1,341	,240
	Porosidad	4,500	6	,750	,801	,570
	Color Interno	6,733	6	1,122	1,583	,153
	Aroma	1,408	6	,235	,283	,945
	Sabor	2,408	6	,401	,465	,834
	Dulzor	1,000	6	,167	,171	,984
	Esponjosidad	2,392	6	,399	,507	,803
	Detección de Partículas	10,000	6	1,667	1,508	,176
	Aceptación General	5,342	6	,890	1,063	,386

Se observaron diferencias significativas en algunos de los factores estudiados tanto en la variable Tiempo como en la variable Co-producto, como puede verse en la Tabla 20 anterior. Los factores con diferencias significativas de la variable tiempo

fueron “Color interno”, “Aroma”, “Esponjosidad” y “Detección de partículas”. Mientras que en la variable Co-producto, los factores con diferencias significativas fueron “Aroma”, “Esponjosidad” y “Detección de partículas”.

El test de Tukey se llevó a cabo con los resultados del análisis sensorial y los resultados se muestran en la Tabla 21, donde pueden verse las interacciones entre los parámetros.

Tabla 22: Resultados del test de Tukey para el análisis sensorial de magdalenas con co-producto de chufa.

Variable	Tiempo				Co-producto (%)		
	1	2	4	0	5	10	15
Forma	a	a	a	a	a	a	a
Color Externo	a	a	a	a	ab	ab	b
Color Interno	b	ab	a	a	a	a	a
Porosidad	a	a	a	a	a	a	a
Aroma	b	ab	a	ab	b	a	b
Sabor	a	a	a	a	a	a	a
Dulzor	a	a	a	a	a	a	a
Esponjosidad	ab	b	a	a	ab	b	b
Detección de partículas	a	b	ab	c	b	a	a
Aceptación global	a	a	a	a	ab	bc	c

a-c: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre valores medios. Donde a es el valor más grande y c el valor más pequeño.

Los resultados del test de Tukey de la Tabla 21 indican que la aceptación de la forma de las magdalenas no tuvo variaciones significativas causadas por la incorporación de diferentes concentraciones de co-producto de chufa ni tampoco por el almacenamiento de las muestras durante cuatro días. La Figura 45 representa los valores del parámetro sensorial “Forma”, de acuerdo a los resultados del análisis sensorial.

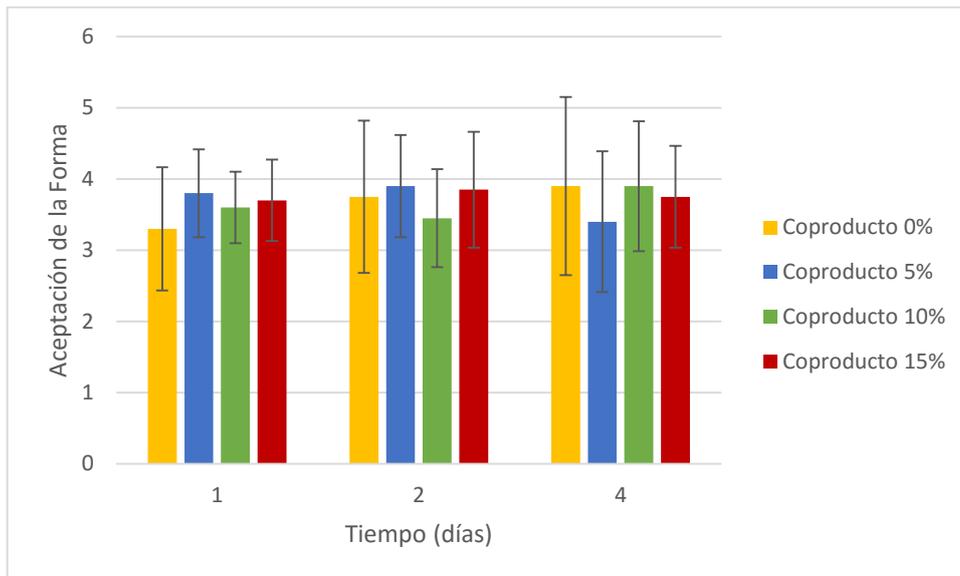


Figura 45: Valores del análisis sensorial (factor forma) de magdalenas con co-producto de chufa

Resultados similares se obtuvieron en el estudio de Abellán Mínguez (2015), donde los jueces no detectaron cambios en la forma durante la evaluación sensorial a lo largo del tiempo de estudio ni por la incorporación de co-producto de chufa en magdalenas sin gluten.

En el caso del color externo de las magdalenas, el tiempo no afectó significativamente a este parámetro sensorial, sin embargo, la concentración de co-producto produjo cambios al alcanzar la concentración de 15% de co-producto con respecto al control de 0%. Las muestras con 5% y 10% de co-producto se fueron estadísticamente iguales al resto de muestras analizadas. En la Figura 46 pueden verse estos resultados en forma de gráfica de barras.

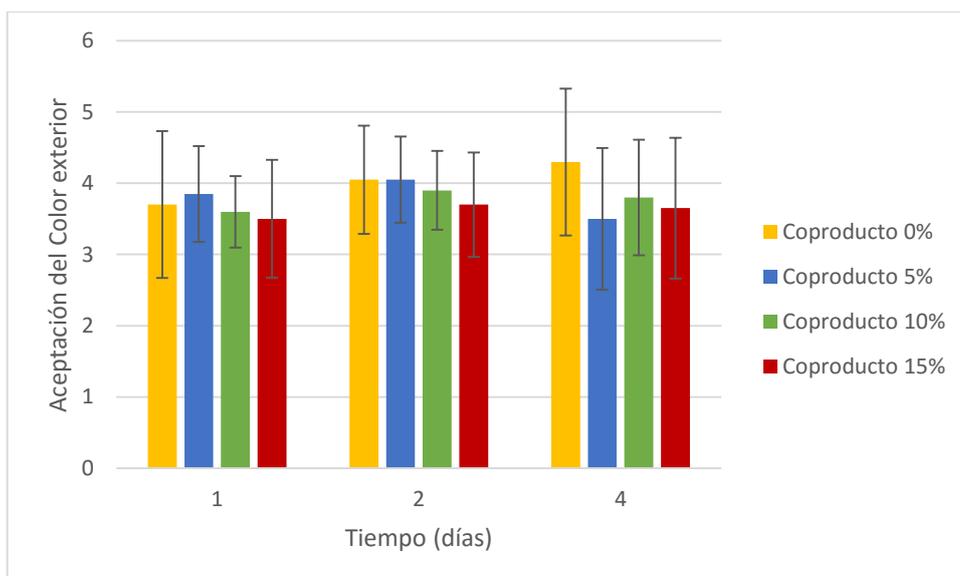


Figura 46: Valores del análisis sensorial (factor color externo) de magdalenas con co-producto de chufa

Los resultados del análisis sensorial realizado por Abellán Mínguez (2015) coinciden con los del presente estudio en que el tiempo no ha afectado al color

externo de las magdalenas, pero en su caso la concentración de co-producto de chufa tampoco causó diferencias significativas en este parámetro según las valoraciones de los jueces.

En el estudio de Martínez Cervera *et al.*, (2011), los resultados del análisis sensorial indicaron que el color de las muestras disminuyó significativamente cuando la sustitución de la sacarosa por la mezcla de sucralosa y polidextrosa superó el 50% de sustitución en la formulación.

En el trabajo de Psimouli *et al.*, (2011), la mayoría de los edulcorantes sustitutivos de la sacarosa mostraron un color exterior igual o superior al control, a excepción de la fructosa y el sorbitol, cuyos resultados en el estudio sensorial fueron inferiores al control.

El tiempo de estudio tampoco modificó significativamente el color externo de las magdalenas en el trabajo de Rodenas Gallego (2014), pero sí se vieron diferencias significativas cuando se sustituyó la sacarosa por sucralosa y estevia. El color externo de ambas muestras fue valorado significativamente menor que el control. A continuación, en la Figura 47 se encuentran representados los resultados de color interno obtenidos en el análisis sensorial.

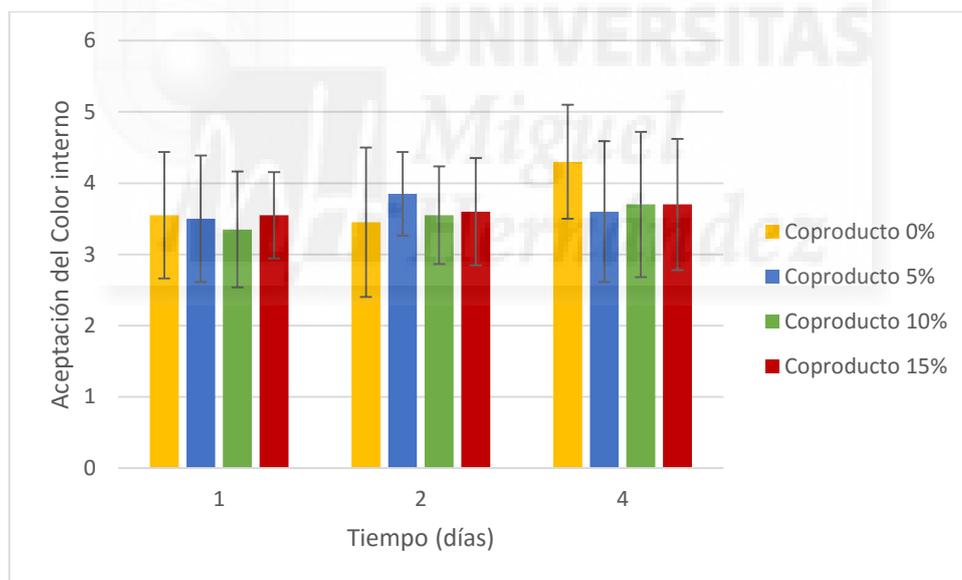


Figura 47: Valores del análisis de sensorial (factor color interno) de magdalenas con co-producto de chufa

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial del estudio de Abellán Mínguez (2015) concuerdan con los del presente estudio, donde la valoración del color interno de las magdalenas se incrementó significativamente durante el tiempo de estudio, mientras que la concentración de co-producto de chufa no pareció afectar significativamente en este parámetro.

En el estudio realizado por Psimouli *et al.*, (2011), los edulcorantes fructosa, maltitol y sorbitol mostraron colores internos significativamente inferiores al control. Por otro lado, el lactitol y la polidextrosa fueron estadísticamente iguales al control y el

manitol fue quien tuvo la mejor valoración, según los datos aportados por los jueces en el análisis sensorial.

El parámetro sensorial de porosidad no mostró diferencias significativas a lo largo del tiempo de estudio ni tampoco por la incorporación de diferentes concentraciones de co-producto en las magdalenas con estevia. Las valoraciones de los jueces en el análisis sensorial se muestran en la Figura 48 en forma de gráfica de barras.

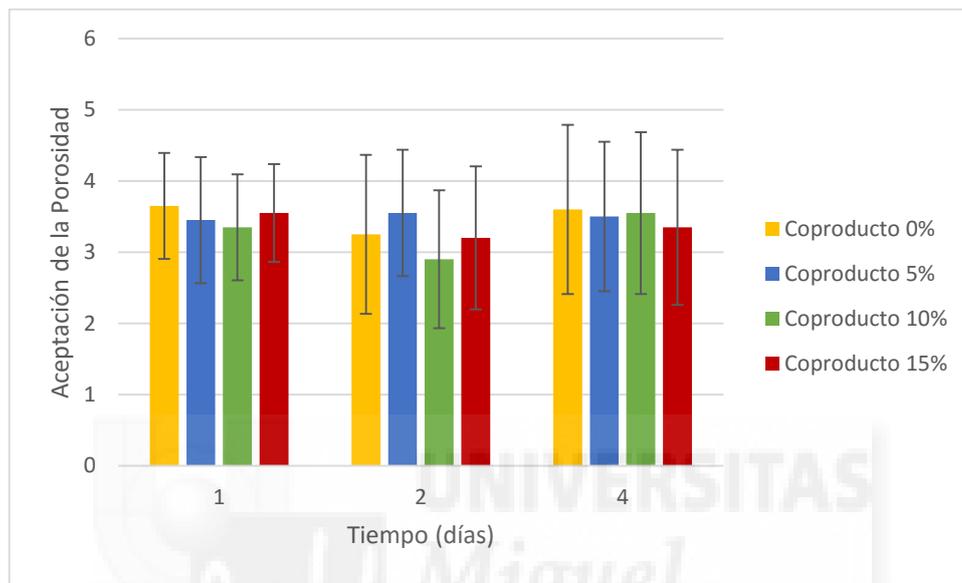


Figura 48: Valores del análisis sensorial (factor aceptación de la porosidad) de magdalenas con co-producto de chufa

Del mismo modo, en el trabajo de Abellán Mínguez (2015) el parámetro sensorial de porosidad no fue afectado significativamente por el tiempo de almacenamiento ni por la concentración de co-producto de chufa que se les ha incorporado.

Por el contrario, la porosidad de las magdalenas con co-producto de chufa del estudio realizado por López Salinas (2012) se incrementó significativamente con las concentraciones de 10% y 15% de co-producto.

Los resultados del test de Tukey para el parámetro sensorial de aroma, visto en la Tabla 21, muestran diferencias significativas tanto para la variable tiempo como la variable co-producto. Con el tiempo de estudio el aroma se vio incrementado significativamente en las muestras catadas el cuarto día, mientras que la incorporación de co-producto produjo diferencias significativas de forma irregular. Las magdalenas con una concentración de 10% de co-producto de chufa mostraron los resultados más elevados para este parámetro, mientras que las concentraciones de 5% y 15% fueron significativamente inferiores.

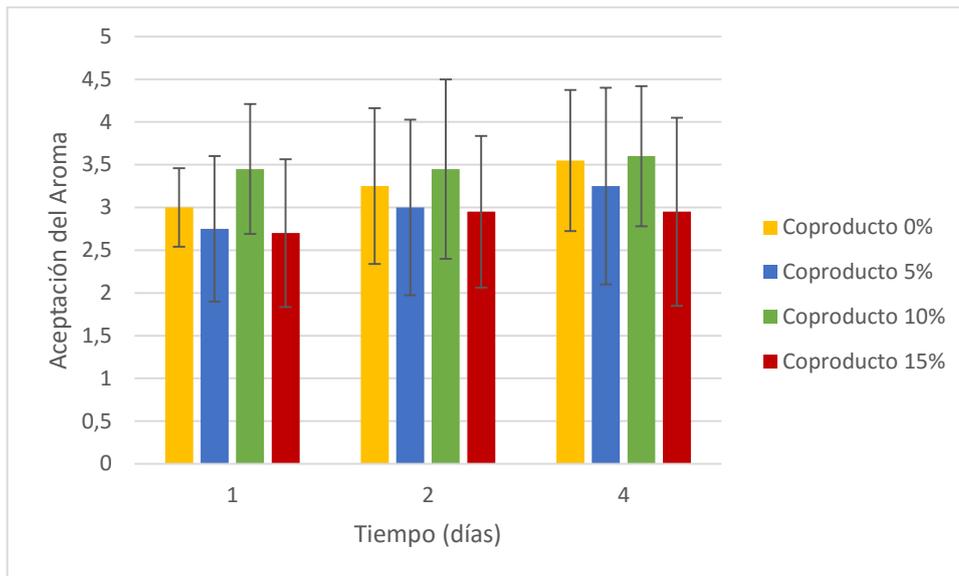


Figura 49: Valores del análisis sensorial (factor aceptación del aroma) de magdalenas con co-productos de chufa

Por el contrario, los resultados del análisis sensorial del trabajo de Rodenas Gallego (2014) no mostraron diferencias significativas en el aroma entre las muestras en función de la concentración de co- producto ni tampoco por parte del tiempo de estudio.

En el caso del estudio realizado por Abellán Mínguez (2015), el aroma tampoco mostró diferencias significativas derivadas de la adición de diferentes concentraciones de co-producto, al igual que en el caso anterior. En cambio, el tiempo de estudio produjo cambios significativos semejantes a los del presente estudio, incrementándose la valoración de este parámetro en los días dos y cuatro del estudio.

Según los datos del trabajo realizado por Goswami *et al.*, (2015), la adición de distintas concentraciones de mijo en magdalenas redujo progresivamente el aroma de las muestras conforme se incrementaba la concentración, siendo significativamente inferiores al control las concentraciones del 50% y superiores.

Resultados semejantes se vieron en Martínez Cervera *et al.*, (2011), para el parámetro sensorial de aroma. La sustitución de la sacarosa por una mezcla de sucralosa y povidexosa en concentraciones superiores al 50% produjeron un descenso en los valores de aceptación del aroma en magdalenas.

Los resultados del test de Tukey de los parámetros sensoriales de la Tabla 21 no muestran diferencias significativas para el sabor de las magdalenas con diferentes concentraciones de co-producto de chufa ni diferencias por el tiempo de almacenamiento. En la Figura 50, donde se muestran la puntuación media de aceptación de sabor concedida por los jueces a cada muestra, puede verse como las muestras mejor valoradas fueron el control de 0% de co-producto junto con la muestra de 10%, pero sin que estas diferencias lleguen a ser significativas respecto al resto.

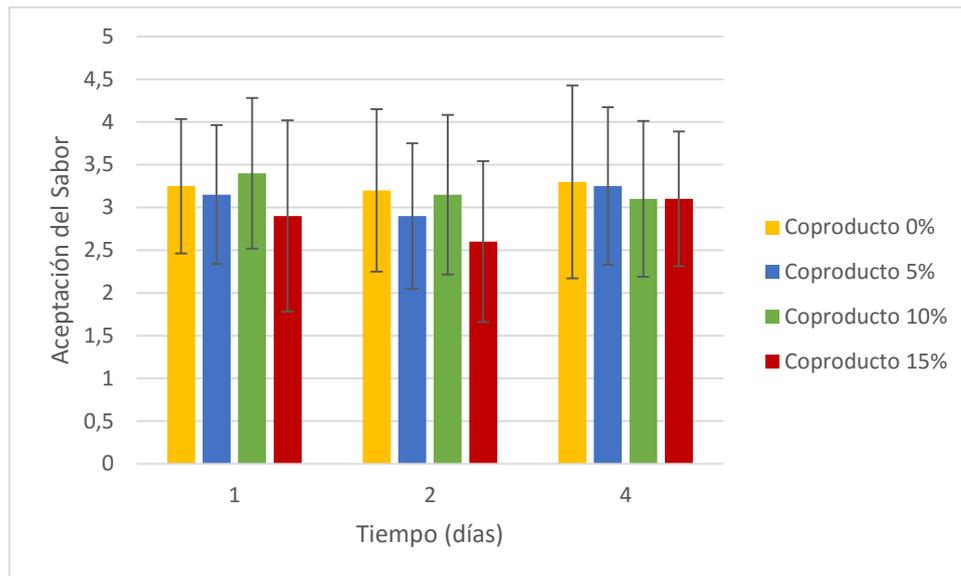


Figura 50: Valores del análisis sensorial (factor aceptación del sabor) de magdalenas con co-producto de chufa

Resultados semejantes fueron obtenidos por Abellán Mínguez (2015), en sus análisis sobre magdalenas sin gluten y con co-producto de chufa, donde la valoración de los jueces sobre el parámetro sensorial de sabor no tuvo diferencias significativas a lo largo del tiempo de estudio ni por la concentración de co-producto. Las muestras mejor valoradas en este caso en los dos primeros días de análisis coinciden con los de este estudio.

En el estudio de Rodenas Gallego (2014), la valoración del sabor de las magdalenas en el análisis sensorial fue significativamente inferior tanto en las muestras con sucralosa como en las que se elaboraron con estevia.

La incorporación de diferentes concentraciones de mijo en la formulación de magdalenas, llevado a cabo por Goswami *et al.*, (2015), disminuyó significativamente la valoración de los jueces en la aceptación del sabor de las muestras, al igual que sucedió con el aroma. Concentraciones de mijo superiores al 40% tuvieron una valoración significativamente inferior en la cata de las muestras.

En el trabajo de Psimouli *et al.*, (2011), la valoración del sabor de las muestras con sustitutos de la sacarosa fue en su mayoría significativamente menores al control, a excepción de las muestras con fructosa y lactitol, que no mostraron diferencias con el control y, por último, la oligofructosa fue el mejor endulzante con la mejor valoración de los jueces en la aceptación de sabor.

La valoración de los jueces del parámetro sensorial de dulzor se encuentra representados en la Figura 51, donde se observan de forma visual las interacciones del test de Tukey de la Tabla 21. La valoración sensorial de los jueces no mostró diferencias significativas para este parámetro en función del tiempo de estudio o la concentración de co-producto añadida.

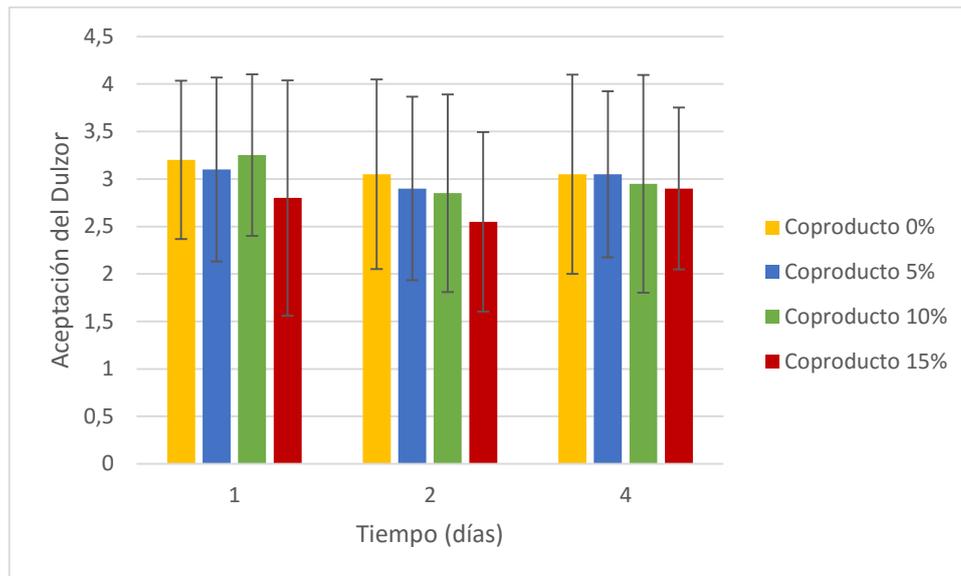


Figura 51: Valores del análisis sensorial (factor aceptación del dulzor) de magdalenas con co-producto de chufa

Resultados semejantes del parámetro sensorial de dulzor se obtuvieron en los trabajos de Abellán Mínguez (2015) y López Salinas (2012), en el que los resultados estadísticos no mostraron diferencias significativas en las variables tiempo y concentración de co-producto en las magdalenas elaboradas en cada uno de los estudios.

La sustitución de la sacarosa por estevia llevado a cabo por Rodenas Gallego (2014) indicó que las muestras control con sacarosa fueron significativamente mejor valoradas que las que contenían estevia en su formulación.

Del mismo modo, la sustitución por una mezcla sucralosa y polidextrosa realizada en el trabajo de Martínez Cervera *et al.*, (2011) produjo un descenso significativo en la valoración sensorial del dulzor en las muestras cuando la sustitución fue del 100%.

Los resultados del test de Tukey del parámetro sensorial de esponjosidad muestran diferencias significativas causadas por el tiempo de almacenamiento y la incorporación de co-producto de chufa. La esponjosidad de las magdalenas disminuyó en el segundo día de estudio y cuando la concentración de co-producto en las magdalenas es igual o superior al 10%. En la Figura 52 se pueden ver gráficamente los valores medios de la aceptación de la esponjosidad.

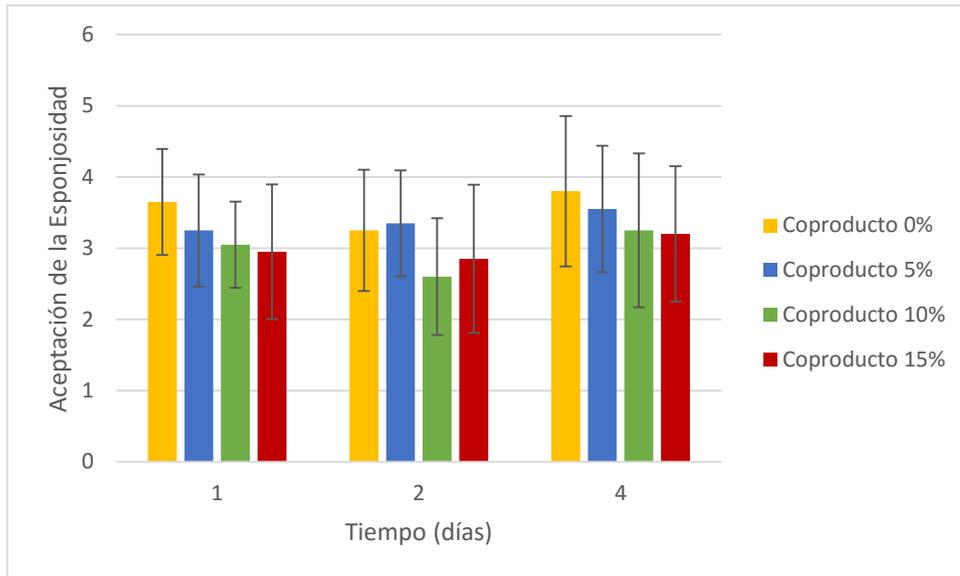


Figura 52: Valores del análisis sensorial (factor aceptación de la Esponjosidad) de magdalenas con co-producto de chufa

La disminución del parámetro sensorial de la esponjosidad a causa del incremento de la concentración de co-producto en magdalenas también fueron vistos en los estudios realizados por Abellán Mínguez (2015) y López Salinas (2012).

El estudio sobre el uso de estevia en sustitución de la sacarosa realizado por Rodenas Gallego (2014), los resultados del estudio sensorial indicaron que la esponjosidad de las magdalenas con estevia fue significativamente menor que la del control con sacarosa.

A continuación, se muestran los resultados del test de Tukey del parámetro sensorial de detección de partículas en la Figura 53. La detección de partículas se vio incrementada significativamente con el incremento progresivo de co-producto en la formulación. En cuanto al tiempo de estudio, el segundo día tuvo un descenso significativo en la detección de fibra, mientras que los días 1 y 4 de estudio fueron iguales.

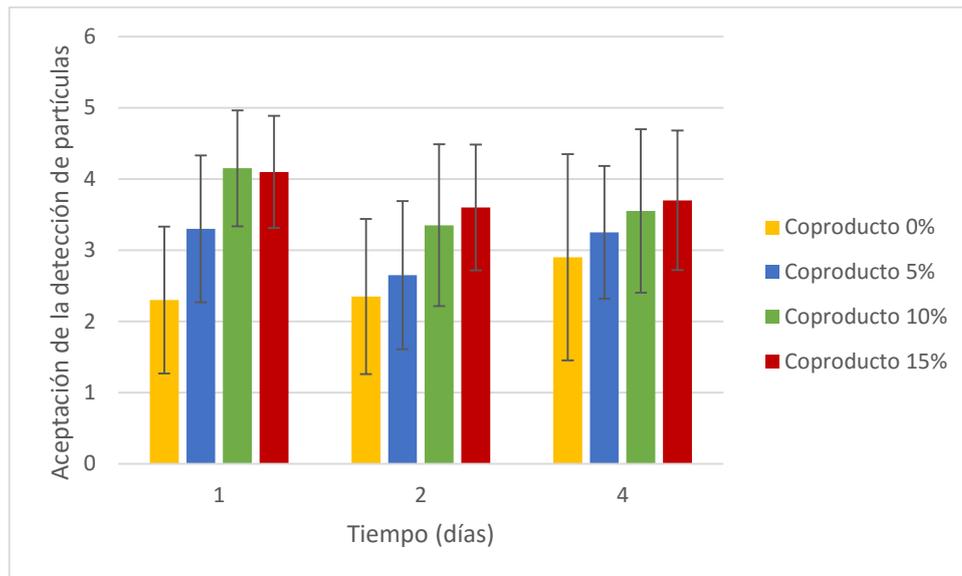


Figura 53: Valores del análisis sensorial (factor aceptabilidad de la detección de partículas) de magdalenas con co-producto de chufa

Resultados semejantes se observaron en los estudios sensoriales realizados por López Salinas (2012) y Abellán Mínguez (2015), donde el incremento de la concentración de co-producto de chufa produjo en ambos casos un aumento significativo de la detección de fibra. En cuanto a los efectos del tiempo, las magdalenas sin gluten del trabajo de Abellán Mínguez (2015) mostraron un incremento significativo de la detección de fibra en el cuarto día de estudio. En cambio, en el estudio de López Salinas (2012) el tiempo no produce cambios significativos en este parámetro.

Por último, los resultados del test de Tukey de la aceptación global de las magdalenas sin azúcar y con co-producto de chufa de este estudio, mostrados en la Tabla 21 y representados en la Figura 54, indicando que las muestras mejor valoradas en términos generales fueron las magdalenas de 0% y 5% de concentración de co-producto. La muestra de 10% de co-producto fue significativamente inferior al control, pero no tuvo diferencias con las concentraciones de 5% y 15%. La máxima concentración de co-producto del estudio fue la muestra que recibió la valoración general más baja por parte de los jueces. El tiempo de estudio no afectó en la aceptación general de las muestras.

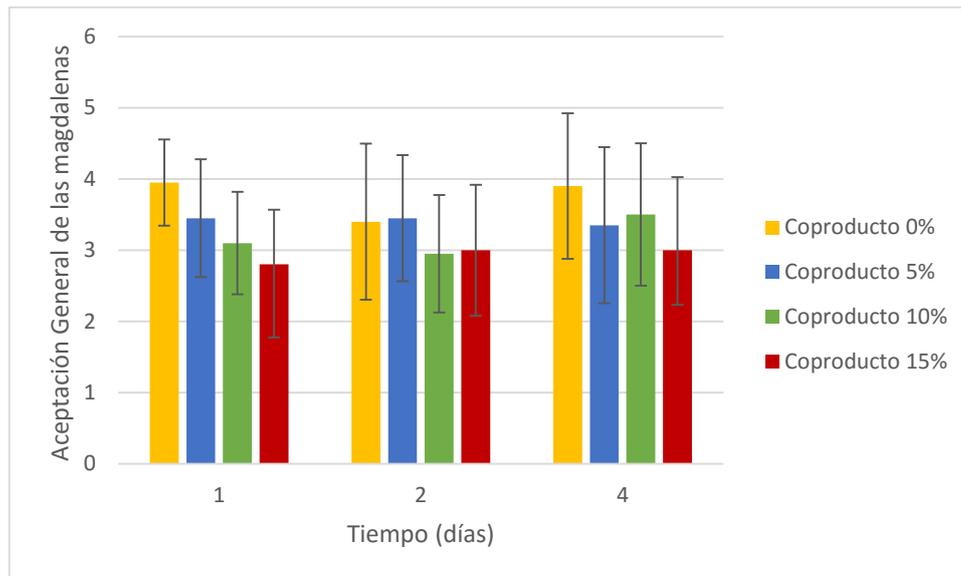


Figura 54: Valores del análisis sensorial (factor aceptación general de las magdalenas) de magdalenas con co-producto de chufa

En la aceptación general de las magdalenas con co-producto de chufa del estudio realizado por López Salinas (2012) no varió significativamente a causa del tiempo de estudio, al igual que muestran los resultados de este estudio, ni tampoco por parte de la concentración de co-producto de chufa.

Resultados muy similares a los del presente estudio se dieron en el trabajo de Abellán Mínguez (2015), donde el tiempo de estudio no produjo cambios relevantes en la aceptación de las muestras, mientras que sí los hubo cuando se incorporó el co-producto de chufa a la formulación. La muestra mejor valorada fue el control sin co-producto, seguido de la concentración más baja de co-producto añadida. Las concentraciones de 10% y 15% tuvieron una aceptación estadísticamente igual y el más bajo del estudio.

En cuanto a la sustitución de la sacarosa, el estudio de Rodenas Gallego (2014) observó en el análisis sensorial que realizó, que las muestras con estevia fueron significativamente peor valoradas que el control de sacarosa, pero fue significativamente mejor que las muestras con sucralosa estudiadas también en su trabajo.

De acuerdo con nuestros resultados, Goswami *et al.*, (2011) en su evaluación sensorial de magdalenas con distintas concentraciones de mijo observó un descenso significativo y progresivo cuanto mayor fue la concentración de mijo en la formulación de las muestras.

Los resultados sensoriales de aceptación de los consumidores del estudio realizado por Martínez Cervera *et al.*, (2011) determinaron que la aceptación general de las magdalenas con sustitución de sacarosa por una mezcla de sucralosa y povidexrosa fue significativamente menor cuando la sustitución fue del 100%.

Por otro lado, la evaluación sensorial de bizcochos del estudio de Psimouli *et al.*, (2011), en el que se analiza el uso de ocho edulcorantes como sustitutos del azúcar, mostró que los edulcorantes maltitol, oligofructosa y lactitol fueron estadísticamente igual al control, mientras que la fructosa, manitol, sorbitol y la polidextrosa fueron valorados por los jueces estadísticamente peor que el resto de muestras.

Por último, en la Figura 55 se muestran las puntuaciones globales concedidas por los jueces que realizaron las catas durante el análisis sensorial de las magdalenas con estevia y con co-producto de chufa en un gráfico de araña.

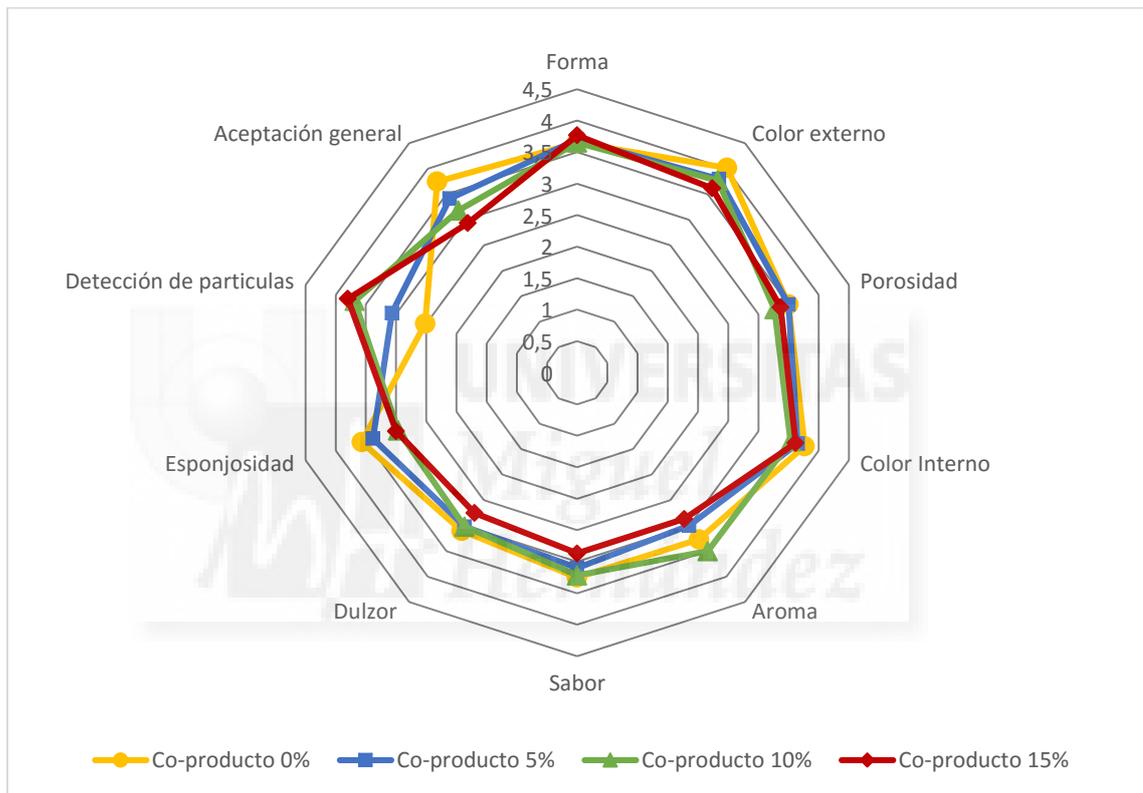


Figura 55: Resultados globales de las puntuaciones dadas por los jueces del análisis sensorial de magdalenas sin azúcar y con co-producto de chufa.

# 5. CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el análisis del color de la masa de las magdalenas previas al horneado, muestran un descenso de la luminosidad ( $L^*$ ) cuanto mayor es la concentración de co-producto de su formulación. Por el contrario, la coordenada  $a^*$  vio incrementados sus valores, dando como resultado coloraciones más rojizas de las magdalenas. En cuanto a la coordenada  $b^*$ , disminuyeron los valores en las muestras con las concentraciones más elevadas del estudio. Las muestras con 0% y 5% de co-producto presentaron una coloración más amarillenta, mientras que las de 10% y 15% son más azulados. Las magnitudes psicofísicas Croma ( $C^*_{ab}$ ) y Tono ( $h_{ab}$ ) siguen la misma tendencia que la coordenada  $b^*$ , disminuyendo progresivamente con el aumento de co-producto. Estos cambios en la coloración están directamente relacionados con la cantidad de co-producto de chufa, por lo que muy probablemente la pigmentación del co-producto sea el responsable de estos cambios.

La pérdida de peso producida en las muestras tras el horneado fue mayor en la concentración de 5% de co-producto de chufa, mientras que el resto de 0%, 10% y 15% no mostraron diferencias significativas entre sí. La elevada capacidad para retener agua del co-producto de chufa parece ser capaz de mantener el peso de las distintas muestras tras someterse al horneado, al igualar la capacidad de retención de agua de la harina de trigo a la cual sustituye en la formulación. La altura de copete no tuvo cambios destacables, por lo que la adición de co-producto de hasta concentraciones del 15% no afecta a este parámetro físico.

Durante los días que ha durado el estudio tampoco se han registrado pérdidas de peso significativas en ninguno de los grupos de muestras. Esto indica que la capacidad de retención de agua del co-producto de chufa podría favorecer el mantenimiento del peso de las magdalenas desde el horneado hasta cuatro días de almacenamiento posteriores al tratamiento térmico. Por otro lado, el diámetro de las magdalenas si se vio disminuido en la concentración más elevada de 15%. La incorporación de co-producto de chufa en las magdalenas fue progresivamente produciendo una compactación de las muestras, pero solamente llega a ser relevante a concentraciones altas. Sin embargo, el diámetro de las muestras fue significativamente mayor en los días dos y cuatro de estudio que tras el horneado.

Respecto al color de las magdalenas, en el exterior de las magdalenas la luminosidad vuelve a disminuir con la adición de co-producto, al igual que sucedía en la masa, pero aumentó con el tiempo de almacenamiento. En esta ocasión la coordenada  $a^*$  no presentó diferencias en función de la concentración de su formulación, mientras que sí disminuyó en el último día de estudio. La coordenada  $b^*$  experimentó esta misma disminución con respecto al tiempo y también se redujo el valor de  $b^*$  al aumentar la concentración de co-producto hacia coloraciones más azules. La magnitud psicofísica Croma nuevamente sigue el mismo patrón de cambios que la coordenada  $b^*$ , mientras que el Tono no mostró cambio alguno en la medición del exterior de las magdalenas.

El interior de las magdalenas mostró una luminosidad menor en las muestras que contenían co-producto, pero sin variaciones relevantes a causa del incremento en su concentración. En el segundo día de estudio hubo un brusco descenso en la luminosidad de la miga que se recuperó levemente en el último día. La coordenada  $a^*$ , por su parte, avanzó hacia coloraciones rojizas al incrementarse de forma importante sus valores proporcionalmente a la cantidad de co-producto de las muestras. Del mismo modo, la coordenada  $b^*$  y la magnitud psicofísica Croma aumentaron sus valores hacia coloraciones más amarillas, alcanzando su máximo valor en la concentración más alta de co-producto de chufa. En cuanto al Tono, sus valores disminuyeron del mismo en la miga de las muestras con 10% y 15% de co-producto. Al igual que en la masa, estos cambios en la pigmentación de las muestras podrían estar directamente relacionados con la concentración de co-producto de chufa de sus formulaciones.

En cuanto a la textura, la firmeza de las magdalenas se incrementó en las concentraciones de 10% y 15% de co-producto, lo que produce unas muestras más compactas, como ya se ha comentado anteriormente al tratar los cambios en el diámetro. En el segundo y cuarto día de estudio se registraron también un incremento de la firmeza, en comparación con el primer día de estudio. La esponjosidad de las magdalenas no fue afectada por la concentración de co-producto añadida, pero sí disminuyó con el aumento del tiempo de almacenamiento. Este efecto de pérdida de esponjosidad concuerda con el aumento de la firmeza con el paso del tiempo.

Los parámetros físico-químico de las magdalenas con estevia no fueron modificados por el tiempo de almacenamiento o la incorporación de concentraciones de hasta 15% de co-producto de chufa, a excepción de la actividad de agua que sí mostró un descenso importante con el transcurso del tiempo.

El valor del parámetro químico de humedad fue mayor a lo largo del tiempo de estudio, alcanzando su valor más alto en el cuarto día de estudio. Por el contrario, la humedad de las magdalenas fue significativamente inferior en las concentraciones de 5% y 10%, con respecto al control y la máxima concentración de co-producto.

Por último, en la evaluación sensorial los parámetros mejor valorados en todas las muestras fueron la forma y el color interno. En la mayoría de los parámetros, las valoraciones sensoriales de las muestras fueron decreciendo conforme aumentó la concentración de co-producto de chufa de las muestras. La detección de fibra fue muy elevada en las muestras de 10% y 15% de co-producto, mientras que el control y la muestra de 5% tuvieron las puntuaciones más bajas.

En vista de todos los resultados analíticos y sensoriales obtenidos, podemos concluir que concentración de 5% de co-producto de chufa es la más adecuada para la incorporación de co-producto de chufa en productos pastelería y repostería, ya que en el estudio analítico las magdalenas con 5% de co-producto de chufa presentaron los resultados más semejantes a la muestra control, la cual fue la muestra con mayor aceptación en el estudio de consumidores, en cuanto a propiedades físicas, químicas y

físico-químicas. Respecto a los resultados del estudio sensorial, las puntuaciones generales de los jueces en las sesiones de catas llevadas a cabo indican que la muestra control fue la más aceptada, seguido de las muestras con 5%, 10% y 15%.

Finalmente, como conclusión general podemos decir que el co-producto de chufa es apto para ser empleado en productos de pastelería y repostería, como son las magdalenas con sustitución de la sacarosa por el edulcorante estevia de este estudio. La posibilidad de la incorporación de este co-producto tiene importantes beneficios tanto para los consumidores como para la industria. Los consumidores, sobre todo los diabéticos, tendrán la posibilidad de gozar de una nueva alternativa entre los productos ya existentes en el mercado y, además, contando con un aporte en fibra dietética del co-producto de chufa, el cual conviene a toda la población, tal como se expuso al inicio del estudio. En cuanto al beneficio para el sector, supone una nueva aplicación en el ámbito alimentario de un importante subproducto generado a raíz de la elaboración de la horchata de chufa, lo que se traduce en un beneficio económico y más alternativas a la gestión de subproductos de esta actividad industrial.



# 6. BIBLIOGRAFÍA

## 6. BIBLIOGRAFÍA

**Abdalbasit M., Gasmalla A., Yang R., Hua X. (2014).** *Stevia rebaudiana* Bertoni: An alternative Sugar Replacer and Its Application In Food Industry. Food Eng. Rev. New York, 2014.

**Abellán Mínguez I. (2015).** Estudio de la incorporación de co-producto de chufa a magdalenas sin gluten. Trabajo Fin de Grado E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández.

**Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN).** Situación del uso de *Stevia rebaudiana* Bertoni como ingrediente alimentario. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 25 de marzo de 2015.

**Baixauli R., Salvador A., Fizman S.M. (2008).** Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. Eur Food Res. Technol. (2008), 226: 523-530.

**Blanco Soriano M. (2014).** Caracterización y estudio durante el almacenamiento de magdalenas sin gluten. Trabajo Fin de Grado E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández.

**Borderías A.J., Sánchez Alonso I. y Pérez Mateos M. (2005).** New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. Trends in Food Science & Technology. 16: 458-465.

**Codina Torrella I., Buenaventura Guamis, Antonio J. Trujillo (2014).** Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin. Physico-chemical characteristics and protein fractionation. Industrial Crops and Products 65 (2015) 406-414.

**Comisión de las Comunidades Europeas (2008).** Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre los alimentos destinados a las personas afectadas de perturbaciones del metabolismo de los glúcidos (diabéticos). Bruselas, 26 de junio de 2008.

**De María Méndez Escobar F. y Adelina Saravia Hernández R. (2012).** Extracción de un Edulcorante Natural No Calórico a Escala de Laboratorio a partir de “*Stevia Rebaudiana* Bertoni.” y su Aplicación en la Industria de Alimentos. Trabajo Fin de Carrera Ingeniería Alimentaria. Universidad de El Salvador.

**Delcour J.A. (2012).** Dietary Fiber Definitions: from a historical perspective to the way forward. 5th International Dietary Fibre Conference, Rome, Italy.

**Escudero Álvarez E. y González Sánchez P. (2006).** La fibra dietética. Unidad de Dietética y Nutrición. Hospital La Fuenfría. Madrid. Nutrición Hospitalaria v.21 supl.2 Madrid mayo 2006.

**European Stevia Association (2016).** Disponible on-line: [http://www.eustas.org/esp/botanic\\_esp.htm](http://www.eustas.org/esp/botanic_esp.htm)

**Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB).** Marco Estratégico para la Industria de Alimentación y Bebidas, (2016).

**Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB).** Alimentación y Salud: El compromiso de la industria española de alimentación y bebidas, 2005-2010.

**Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB).** Retos y perspectivas de la industria de la alimentación y bebidas en España. Sector de Consumo de KPMG en España, 2015.

**Federación internacional de la Diabetes (FID) (2016).** Atlas de la Diabetes, 6ª edición.

**Fernández López J. (2008).** Development of functional ingredients: fruits fibre. Technological strategies for functional meat products development. Editorial Transworld Research Network. 41-56.

**Fernández-López J., Sendra-Nadal E., Navarro C., Sayas E., Viuda-Martos M. y Pérez-Álvarez J.A. (2009).** Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. International Journal of Food Science & Technology, 44: 748-756.

**Financial Food (2015).** Periódico mensual del comercio, distribución e industria de alimentación y bebidas, Nº 329, Diciembre 2015.

**Fundación Española del Corazón (FEC) (2016).** Nutrición: Fibra. Revisado por María Garriga y Cecilia Montagna.

**Fundación para la Diabetes (2015).** La diabetes.

**García LaTorre R. (2009).** Estudio de la vida útil del paté de músculo oscuro de atún elaborado con extracto de naranja: parámetros microbiológicos. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Miguel Hernández de Elche.

**García Ochoa O.E., Infante R.B. y Rivera C.J. (2008).** Hacia una definición de fibra alimentaria. Anales Venezolanos de Nutrición, 21(1): 25-30.

**García-Almeida J.M., Casado Fdez. Gracia Mª y García Alemán J. (2013).** Una visión global y actual de los edulcorantes. Aspectos de regulación. Nutrición Hospitalaria vol.28 supl.4 Madrid jul. 2013.

**Goswami D., Gupta R. K., Mridula D., Sharma M., Tyagi S.K. (2015).** Barnyard millet based muffins: Physical, textural and sensory properties. Food Science and Technology, 64 (2015): 374-380.

**Grigelmo Miguel N. y Martín Belloso O. (1999).** Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. Food Research International. 31 (5): 355-361.

**Instituto Médico Europeo de la Obesidad (IMEO), 2016.** Casi un 20% de los adultos españoles tiene obesidad y un 35,8% sobrepeso. 4 de agosto de 2016.

**International Diabetes Federation (IDF) (2016).** Disponible on-line:  
<http://www.idf.org/about-diabetes>

**J.M. Barberá Matéos y A. Marcos, (2007).** Alimentos Funcionales. Aproximación a una nueva alimentación. Editado por: Dirección General de Salud Pública y Alimentación. Subdirección General de Alimentación. ISBN: 978-84-690-9493-8.

**Jaime Prats (2014).** Un estudio vincula los edulcorantes artificiales con diabetes y obesidad. El País, 17 de Septiembre de 2014. Valencia.

**Kroger M., Meister K., Kava R. (2006).** Low-calorie Sweeteners and Other Sugar Substitutes: A Review of the Safety Issues. Compr Rev Food Sci F. 2006; 5:35–47

**Lario Y., Sendra E., García Pérez J., Fuentes C., Sayas Barberá E., Fernández López J. y Pérez Álvarez J.A. (2004).** Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 5: 113-117.

**Lebesi D.M. y Tzia C. (2009).** Dietary fibre: functional properties useful for its incorporation in bakery functional foods. 4th International Dietary Fibre Conference, Vienna, Austria.

**Lemus Mondaca R., Vegas Gálvez A., Zura Bravo L., Ah Hen K. (2012).** Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. Food Chemistry 132 (2012) 1121-1132.

**López Salinas I. (2012).** Aplicación de co-productos de chufa y naranja en magdalenas. Trabajo Fin de Carrera. E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández.

**Madera E., Vállora J., Fernández J.M<sup>a</sup>. (2015).** Pastelería y bollería. Tendencias hacia una mejora nutricional. InnovaFood I+D+I. Diario digital TechPress, 9 de febrero de 2015.

**Mann J. y Chisholm A. (2004).** Los alimentos y su efecto sobre el azúcar en sangre. Alimentos y política alimentaria. Diabetes Voice: Diciembre 2004, Volumen 49, Número especial.

**Martínez Cervera S., Laguna L., Sanz T., Salvador A. y Fizman S.M. (2010).** Sucralose and Polydextrose as replacers of Sucrose in muffins. Food Innova, 2010. Universidad Politécnica de Valencia.

**Martínez Cervera S., Sanz T., Salvador A., Fizman S.M. (2011).** Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose. Food Science and technology. 64 (2012): 213-220.

**Martínez Pérez, Tomás. (2002).** “La hierba dulce. Historia, usos y cultivo de la Stevia Rebaudiana Bertoni”. Buenos Aires: Libros en Red, ISBN 987-1022-69-7, Argentina.

**Mateos Aparicio I. (2008).** Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de productos funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. Memoria para optar al grado de doctor. Universidad Complutense de Madrid.

**Mc Cleary B., Draga A. y Sloane N. (2012).** Development of an integrated total dietary fibre assay produce. 5th International Dietary Fibre Conference, Rome, Italy.

**Mercasa (2015).** V. J. M. Cerdeño. Consumo de dulces en España: Análisis de la demanda de bollería, pastelería, galletas y cereales. Distribución y Consumo, Vol. 1, 2015.

**Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).** Informe del consumo en España 2015, (Mayo 2016) ([http://www.magrama.gob.es/imagenes/es/informeconsumoalimentacion2015\\_tcm7-422016.pdf](http://www.magrama.gob.es/imagenes/es/informeconsumoalimentacion2015_tcm7-422016.pdf)).

**Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).** Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE), 2015 ([http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/espana2015web\\_tcm7-401244.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/espana2015web_tcm7-401244.pdf)).

**Murillo S. (2015).** La alimentación en la diabetes tipo 2. Asesor en Nutrición y Deporte de la Fundación para la Diabetes. 28 de mayo de 2015.

**Navarro Ramirez J. (2012).** Efecto del Consumo de Fibra en la Dieta del Paciente Diabético. Revista médica de Costa Rica y CentroAmerica. 2012; LXIX (600): 21-23.

**Nestlé (2014).** 2º Foro Nestlé de Creación de Valor Corporativo. El sector alimentario ante los retos nutricionales del siglo XXI. Cuadernos de reflexión en torno a la práctica empresarial responsable nº8, 2014.

**Olinger, P. M., & Velasco, V. S. (1996).** Opportunities and advantages of sugar replacement. Cereal Foods World, 41(3), 110-113, 116-117.

**Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016).** “Diabetes: perfiles de los países 2016: España” (<http://www.who.int/diabetes/country-profiles/es/> )

**Psimouli V. y Oreopoulou V. (2011).** The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. Journal of Food Agriculture 2012; 92: 99-105.

**Real Decreto 1669/2009,** de 6 de noviembre, por el que se modifica la norma de etiquetado sobre propiedades nutritivas de los productos alimenticios, aprobada por el Real Decreto 930/1992, de 17 de julio.

**Real Decreto 496/2010,** de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería, pastelería, bollería y repostería.

**Real Decreto 496/2010**, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería – pastelería, bollería y repostería.

**Reglamento (CE) No 1333/2008** del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios

**Reglamento (UE) nº 2073/2005** de la Comisión, de 15 de noviembre de 2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios.

**Reglamento (UE) nº 852/2004**, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.

**Rodenas Gallego M. (2014)**. Caracterización y estudio durante el almacenamiento de magdalenas sin azúcar. Trabajo Fin de Grado E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández.

**Ronda F., Gómez 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 (2005): 549-555.

**Sánchez Almaraz R., Martín Fuentes M., Palma Milla S., López Plaza B., Bermejo López L.M. y Gómez Candela C. (2015)**. Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías. *Nutrición Hospitalaria*. 2015; 31 (6): 2372-2383.

**Sánchez Zapata E., Fuentes Zaragoza E., Fernández López J., Sendra E., Sayas E., Navarro C., y Pérez Álvarez J.A. (2009)**. Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk ("Horchata") byproducts and its physicochemical. *J. Agric. Food Chem.* 57: 7719-7725.

**Sendra E., Lario Y., Sayas Barberá E., Pérez Álvarez J.A., Aleson Carbonell L., Fernández Ginés J.M. y Fernández López J. (2008)**. Obtention of lemon fiber from lemon juice by-products. *Supplement to Agro Food industry hitech*.19(2).

**Shearer A.E.H. y Davies C.G.A. (2004)**. Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal. Department of Animal and Food Sciences. University of Delaware.

**Struck S., Gundel L., Zahn S., Rohm H. (2015)**. Fiber enriched reduced sugar muffins made from iso-viscous batters. *Food Science and Technology*. 65 (2016): 32-38.

**Struck S., Jaros D., Brennan C.S., Rohm H., (2014)**. Sugar replacement in sweetened bakery goods. *International Journal of Food Science and Technology* 2014, 49: 1963-1976.

**Zahn, S.; Forker, A.; Krügel, L.; Rohm, H. (2013)**. Combined use of rebaudioside A and fibres for partial sucrose replacement. *Food Science and Technology*.50, 695-701.