



USO DE HARINA EXTRUSIONADA EN LA ELABORACIÓN DE MAGDALENAS FUENTE DE FIBRA

**ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÓMICA I
DEL MEDI NATURAL**

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: JUDITH CARRIÓN SATORRE

TUTORA: ISABEL HERNANDO HERNANDO

COTUTORA: AMPARO QUILES CHULIÁ

DIRECTORA EXPERIMENTAL: EMPAR LLORCA MARTÍNEZ

CURSO ACADÉMICO: 2016/2017

VALENCIA, JULIO 2017

RESUMEN

Los productos de panadería y bollería son muy consumidos en la actualidad por diversos grupos poblacionales, por ello tiene especial interés la reformulación de estos productos con vistas a mejorar su calidad nutricional. La incorporación en la formulación, de productos de panadería/bollería, de fibra procedente de frutos rojos, como la grosella negra, y la sustitución de la harina por harinas extrusionadas podrían favorecer tanto las características nutricionales como sensoriales del alimento. No se conoce el comportamiento de estos componentes en matrices alimentarias de este tipo. En este trabajo, se pretende evaluar el efecto que tiene la sustitución de un 50% de harina de trigo por harina extrusionada en magdalenas elaboradas con fibra de grosella. La incorporación de harina gelatinizada, mediante extrusión, generó masas compactas, y magdalenas de menor altura que las elaboradas con harina y harina pregelatinizada. La extractabilidad de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante aumentó a medida que se aumentaba la temperatura de extrusión. Las magdalenas elaboradas con harina extrusionada a distintas temperaturas obtuvieron una buena aceptación por parte de los consumidores.

Palabras clave: Magdalena, fibra, grosella, extrusión, harina extrusionada, estructura, altura, textura, fenólicos, antioxidantes.

RESUM

Els productes de panaderia i bolleria son molt consumits en la actualitat per diversos grups poblacionals, per això te especial interès la reformulació de productes amb vista a millorar la seua qualitat nutricional. La incorporació en la formulació de productes de panaderia/bolleria, de fibra procedent de fruits rojos, com la grosella negra, y la substitució de la farina per farina extrusionada, podria afavorir tant les característiques nutricionals com sensorials de l'aliment. No es coneix el comportament d'aquestos components en les matrius alimentàries d'aquest tip. En aquest treball, es pretén avaluar l'efecte que te la substitució d'un 50% de farina de trigo per farina extrusionada. La incorporació de farina gelatinitzada, mitjançant extrusió, va generar masses compactes i magdalenes de menys altura que les elaborades amb farina y farina pregelatinitzada. L'extractabilitat dels compostos fenòlics y la capacitat antioxidant va augmentar a mesura que s'augmentava la temperatura d'extrusió. Les magdalenes elaborades amb farina extrusionada a diferents temperatures van obtindre una bona acceptació per part dels consumidors.

Paraules clau: Magdalena, fibra, grosella, extrusió, farina extrusionada, estructura, altura, fenòlics, antioxidants.

ABSTRACT

In today's society, there is an increase in global baked goods demand. So, there is a special interest in seeking new formulations of baked products to improve nutritional qualities. The incorporation of red berries fibre, like blackcurrant fibre, or substitution of flour by extruded wheat flour could benefit the nutritional and sensory characteristics of these products. Few studies have been conducted with this kind of food matrix. In this way, the effects of the substitution of 50% of flour by extruded flour were studied in this work. The use of extruded gelatinized flour gave place to compact batters, and muffins were less high than those elaborated with flour and pregelatinized flour. An increase in the extractability of phenolic compounds and in the antioxidant capacity was observed because of the increased extrusion temperature. The muffins prepared with extruded flour were well accepted by consumers.

Key words: Muffins, fibre, blackcurrant, extrusion, extruded flour, structure, height, phenolics, antioxidants.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.2	Consumo de magdalenas	6
1.3	Importancia de los frutos rojos	7
1.4	Principales componentes de interés nutricional de los frutos rojos.....	8
1.4.1	Fibra.....	8
1.4.2	Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.....	8
1.5	Harina extrusionada	10
1.5.1	Almidón	10
1.5.2	Harina extrusionada	11
2.	OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO.....	12
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1	Ingredientes	13
3.2	Elaboración de las Masas y de las Magdalenas.....	14
3.3	Técnicas microscópicas	15
3.3.1	Microestructura de las materias primas (fibra y harina) por Microscopía óptica (LM)	15
3.3.2	Microestructura de las masas de magdalenas por Microscopía Láser Confocal de Barrido (CLSM)	15
3.4	Pérdida de peso durante el horneado	16
3.5	Altura de las Magdalenas	16
3.6	Textura de las Magdalenas.....	16
3.7	Contenido en fenoles solubles totales (FST) en las Magdalenas	17
3.8	Capacidad antioxidante en las Magdalenas.....	17
3.9	Análisis sensorial	18
3.10	Análisis Estadístico	18
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1	Microestructura	18
4.1.1	Fibra de grosella negra (Riber nigrum) por Microscopía Óptica	18
4.1.2	Harinas extrusionadas por Microscopía Óptica (LM)	20
4.1.3	Masas de magdalenas por Microscopía Láser Confocal de Barrido (CLSM)	21
4.2	Pérdida de peso de las magdalenas	22
4.3	Altura de las magdalenas	23
4.4	Textura de las magdalenas.....	24
4.5	Compuestos fenólicos	25
4.6	Capacidad Antioxidante	27
4.7	Análisis sensorial	28

5. CONCLUSIONES	29
6. Referencias bibliográficas	30

1. INTRODUCCIÓN

1.2 Consumo de magdalenas

Los productos del sector “bollería, pastelería, galletas y cereales y productos navideños”, son de los alimentos más consumidos en todo el mundo. Actualmente, este sector crece en el mercado mundial alrededor de un 1,5% cada año, según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA 2017); el consumo de media es de 14,13 kilogramos por persona y año (Figura 1), y concretamente, el consumo per cápita de bollería y pastelería es de 6,15 kilogramos/persona/año, siendo este subsector el de mayor valor dentro de este sector (Figura 2) (MAPAMA 2017). Como consecuencia de este crecimiento surge el planteamiento de nuevos retos de gran interés como la reformulación de estos productos con vistas a mejorar su calidad nutricional (Wilderjans et al., 2013).

	BOLL.PAST.GALL ET.CERE	BOLLERIA/PAST ELERIA	GALLETAS	CEREALES	PRODUCTOS NAVIDEÑOS
CONSUMO PER CÁPITA (Kg/persona/año)	14,13	6,15	5,47	1,70	0,82

Figura 1. Consumo per cápita del sector bollería, pastelería, galletas y cereales y productos navideños en el año 2016. Fuente: MAPAMA, año 2017

Según el Real Decreto 496/2010, los productos de pastelería y repostería son productos alimenticios elaborados básicamente con masa de harina, aceites o grasas, agua, con o sin levadura, a los que se les puede añadir otros alimentos, complementos panarios o aditivos autorizados. Una categoría importante dentro de estos productos es la de masas batidas, que da lugar a productos de gran volumen, tiernos y suaves. Las masas batidas están elaboradas fundamentalmente con huevos, azúcares, harinas o almidones. Con este tipo de masas se pueden elaborar bizcochos, merengues, tortas y magdalenas, entre otros.

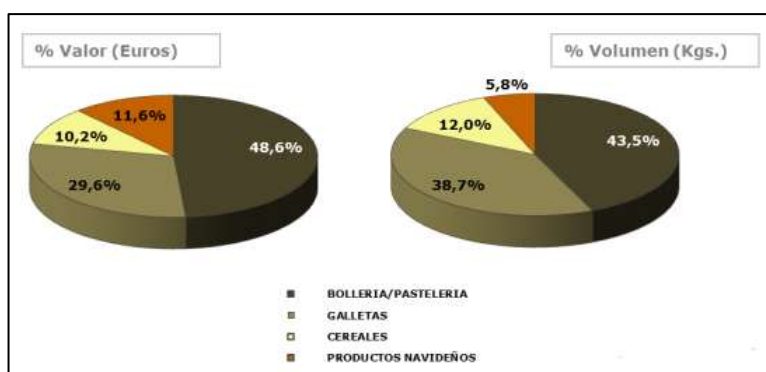


Figura 2. Importancia del sector de sector bollería, pastelería, galletas y cereales y productos navideños. Fuente: MAPAMA, año 2017

Las magdalenas y bizcochos son particularmente populares y están considerados por los consumidores como productos deliciosos con determinadas y particulares características organolépticas. (Matsakidou et al., 2010). La magdalena es un producto de panadería hecho a base de harina, azúcar, huevos, grasa o aceite y agentes leudantes. Se caracteriza por tener una miga tierna y sabor dulce. Su contenido final de humedad varía normalmente entre valores en torno al 18% y 28%, siendo estos valores inferiores a los característicos del pan, pero mayores que los encontrados en otros productos como las galletas (Bennion et al., 1997).

1.3 Importancia de los frutos rojos

El término "fruto rojo" o "baya" se utiliza para nombrar los frutos pequeños, dulces o amargos, jugosos e intensamente coloreados (generalmente rojos, morados o azules) que crecen en arbustos silvestres; se pueden comer enteros ya que carecen de grandes semillas. Entre los frutos rojos más conocidos están la fresa, la frambuesa, el arándano, la mora, el saúco, la grosella, aronia etc... Estos frutos rojos han atraído recientemente la atención por sus propiedades antioxidantes, que están relacionadas con su alta concentración de polifenoles. Así, su consumo en todo el mundo ha aumentado, tanto como alimento y suplemento dietético como en forma de cosméticos (Hidalgo y Almajo, 2017; Niles and Park, 2014). La grosella negra y las fresas son un ejemplo de frutos rojos utilizados en la industria alimentaria. (Jurgonski et al., 2016)

La grosella negra (*Ribes nigrum*) es el fruto del grosellero, un arbusto de la Familia de las Grossulariaceae. En alimentación se utilizan todas las partes de este arbusto, desde las hojas a las semillas. Para hacer infusiones o tés se utilizan las hojas de las plantas, aunque la forma más usual de uso es el aceite de semilla de grosella negra. Se ha demostrado que los extractos de grosella negra muestran una reducción en el riesgo de padecer enfermedades como la diabetes tipo 1 y 2 (Jurgonski et al., 2016). La grosella negra (*Ribes nigrum*) crece en forma de racimos pequeños similares a las uvas, pero de tamaño inferior. El fruto en forma de baya es redondo, su color adopta una coloración azul oscura, y su pulpa es carnosa y de sabor amargo y ácido.

Durante mucho tiempo, la grosella negra (*Ribes nigrum*) se ha denominado "la fruta olvidada" por su poco consumo en forma de fruta. Hasta el momento la principal forma de comercialización de esta fruta ha sido en forma de zumo y de zumo concentrado. Sin embargo, esta fruta empieza a tener importancia en el sector de la alimentación por su gran contenido en nutrientes beneficiosos para la salud humana (Figura 3); entre ellos, fibra, compuestos fenólicos

y vitamina C. De hecho, las grosellas negras doblan la cantidad de antioxidantes de los arándanos y cuadruplican la cantidad de vitamina C de las naranjas (Basu et al., 2011).

Tabla 1. Composición de grosella negra por 100 gramos de porción comestible. Fuente: Healthline, año 2017

Composición por 100 gramos de porción comestible (Grosella negra)	
Calorías (Kcal)	35,1
Hidratos de carbono (g)	4,4
Fibra (g)	5,8
Potasio (mg)	280
Magnesio (mg)	1,2
Provitamina A (µg)	36
Vitamina C (mg)	40
Vitamina E (mg)	4,2

1.4 Principales componentes de interés nutricional de los frutos rojos

1.4.1 Fibra

La fibra es un grupo muy amplio de polisacáridos estructurales. Este compuesto no se aprovecha metabólicamente por el ser humano, pero, aun así, tiene una función muy importante en el bienestar del individuo. La fibra se encuentra en las paredes celulares de los vegetales, pero no se encuentran de manera natural en los alimentos de origen animal. La composición de las fibras es muy variada en los distintos alimentos ya que depende de gran variedad de factores, entre ellos la madurez del producto.

La importancia de la fibra en la dieta se ha demostrado por numerosos estudios que relacionan la ausencia de fibra con diversos problemas de salud, como el cáncer de colon, diabetes *mellitus*, aterosclerosis... Su función principal es la capacidad de hincharse al absorber agua y, por tanto, aumentar el volumen de la materia fecal; esto facilita el tránsito intestinal y la defecación. Además, facilita la absorción de ciertas sustancias irritantes, dañinas y tóxicas, que se eliminan por las heces. Por ello, se ha concluido que la fibra es un componente esencial en la dieta (Quintanar, 2006).

1.4.2 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Los compuestos polifenólicos son productos del metabolismo secundario de las plantas. Los polifenoles son compuestos que tienen, al menos, un anillo aromático al que están unidos uno o más grupos hidroxilo. Dichos compuestos se encuentran en una gran variedad de plantas, frutos, hortalizas, bebidas... el aporte de polifenoles en la dieta está entre 50 y 800 mg/día, dependiendo del consumo de los productos que lo contiene. Se alcanza un nivel alto de antioxidantes cuando el consumo es de 800 mg/día, que se consigue con una dieta rica en frutas y hortalizas.

Existen una gran variedad de compuestos polifenólicos, que se pueden clasificar en diferentes grupos dependiendo del número de anillos fenólicos que contienen. Los más destacados dentro de los frutos rojos son los ácidos fenólicos, los flavonoides, los estilbenos y los lignanos (Hidalgo y Almajo, 2017).

Los ácidos fenólicos se dividen en ácidos hidroxibenzóicos y ácidos hidroxicinámicos (Hidalgo y Almajo, 2017) (Figura 4). Los ácidos hidroxibenzóicos se encuentran en muchas especies vegetales y animales. Su contenido en plantas comestibles, por lo general, es bajo, salvo en ciertos frutos rojos, como la grosella negra. En cambio, los ácidos hidroxicinámicos son compuestos presentes en la pared celular vegetal. Su estructura química está formada por un anillo aromático, un grupo alifático y un ácido carboxílico en el extremo. Este tipo de compuestos poseen una baja solubilidad, aunque destacan por ser unos buenos agentes antioxidantes.

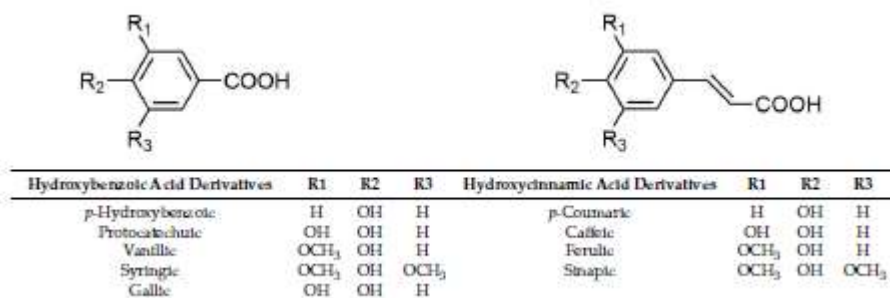


Figura 3. Grupos químicos de cada derivado ácido. Fuente: Hidalgo y Almajo, 2017

Los flavonoides son unos compuestos vegetales que favorecen la función de la vitamina C, mejorando su absorción y protegiéndola de la oxidación. Estos compuestos abarcan varias clases de sustancias naturales, como aquellas que confieren los colores amarillo, naranja, rojo, violeta y azul a muchas flores o frutos. Se originan mediante una ruta biosintética mixta, la ruta del ácido shikímico y la ruta de la malonilcoenzima A (Martínez M, 2005).

Por otro lado, los antocianos son un parámetro crítico para la evaluación de la calidad y autenticidad en los frutos rojos. Los antocianos son pigmentos solubles en agua que pertenecen al grupo de flavonoides. La estructura química es el ion flavilio, que consta de dos grupos aromáticos: un benzopirilo y un anillo fenólico. Los antocianos son los pigmentos naturales responsables de las coloraciones rojo/púrpura y azul. Estos compuestos se encuentran en numerosos alimentos, como las frutas y las verduras, entre ellas las grosellas (García- Alonso, 2005).

Diversos estudios han observado la variabilidad de la cantidad de estos compuestos en la grosella negra. Por ejemplo, Flores et al., (2015) estudiaron la acumulación de flavonoides y

antocianos en la grosella negra (*Ribes nigrum*) y observaron que el aumento en el contenido de flavonoides se correlacionaba directamente con mayores propiedades antioxidantes. Tanaka et al., (2008) demostraron la relación entre la biosíntesis de flavonoles con la de antocianos. Por otra parte, Mattila et al., (2016) observaron que había una gran variedad en el contenido de flavonoides entre las distintas variedades de grosella (*Ribes* spp.) del norte de Europa. Este fenómeno también se encontró en las uvas (Figueiredo-González et al., 2012). Määttä et al., (2001) estudiaron la variación del contenido de compuestos fenólicos en distintos tipos de grosella mediante técnicas como extracción con disolvente o HPLC (High Performance Liquid Chromatography), observando una mayor cantidad de antocianos en las grosellas negras y rojas, ya que estos compuestos son los causantes de su coloración. Además, se observó que la grosella negra contenía una gran cantidad de CoA, la cual es la clave para la síntesis de flavonoles, antocianinas y proantocianidinas. Además, Hidalgo et al., (2017) determinaron el contenido en antioxidantes, en frutos rojos (entre ellos la grosella negra), empleando distintos métodos (convencionales y no convencionales), resultando que la grosella negra presentaba un alto contenido en cualquiera de los métodos seleccionados. Määttä et al., (2001) estudiaron el contenido de compuestos fenólicos en grosellas como la grosella negra, roja, verde y blanca (*Ribes* sp.) y observaron que la grosella negra contenía cantidades mucho mayores de antioxidantes fenólicos, como las antocianinas principalmente, que las otras grosellas, demostrando que el consumo de grosella negra puede contribuir significativamente a la ingesta dietética de antocianinas.

En este trabajo se pretende abrir otras posibilidades de consumo de estos frutos a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la industria de zumos, y que son ricos en fibra y compuestos fenólicos.

1.5 Harina extrusionada

1.5.1 Almidón

El almidón es el hidrato de carbono de reserva energética de los cereales, tubérculos y algunas frutas. Se considera parte fundamental de la dieta del hombre, constituyendo la mayor fracción de los hidratos de carbono consumida por el hombre.

Desde el punto de vista químico, el almidón, que adopta una estructura en forma de gránulo es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina. La amilosa se produce por la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -(1,4), el cual establece largas cadenas lineales. La unidad repetitiva de la amilosa es la α -

maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa. Por otra parte, la amilopectina contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a un árbol. Las ramas están unidas en el tronco central por enlaces α -D-(1,6). Su peso molecular es muy alto.

En general, los almidones contienen aproximadamente un 17-27% de amilosa y el resto de amilopectina. Por ejemplo, en el trigo, se puede encontrar un 76% de amilopectina y un 24% de amilosa. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, por su capacidad de hidratación y gelatinización. El tamaño y la forma del gránulo de almidón son característicos de cada especie y sirve para identificar el origen de los distintos almidones. Además, los gránulos son birrefringentes, es decir, tienen doble índice de refracción. Por ello, cuando son irradiados con luz polarizada, desarrollan la típica “cruz de malta”. Esta característica se pierde cuando los gránulos alcanzan la gelatinización.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, por su estructura altamente organizada. Sin embargo, cuando se calientan, empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan accesibles. Por ello, a medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen. Una vez que esta parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante, pero necesita más energía. Al llegar a ciertas temperaturas (en el caso del almidón del trigo, cuando alcanza aproximadamente 64°C el gránulo ha alcanzado su volumen máximo y pierde su propiedad de birrefringencia. Si se administra más calor, el gránulo hinchado se rompe parcialmente y la amilosa y la amilopectina se dispersan en el seno de la disolución. En este punto se pierde la estructura y se produce un aumento de la viscosidad. A todo este proceso se le conoce como gelatinización, siendo una transición de un estado cristalino a otro desordenado en el que se absorbe calor. Al final de este fenómeno, se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados. La cantidad de agua que se absorbe varía con los diferentes almidones.

1.5.2 Harina extrusionada

Durante los últimos años, se ha demostrado que la modificación de la harina por distintos métodos puede cambiar las características finales de los alimentos. Estos cambios pueden favorecer tanto las características nutricionales como sensoriales del alimento. Uno de los métodos que se están estudiando con este fin es la extrusión. La extrusión es una forma de cocción de alimentos mediante procesos mecánicos de inducción de energía térmica y

mecánica, donde se aplica al alimento alta presión y temperatura durante un corto periodo de tiempo. Como resultado, se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto. La extrusión es un proceso altamente adaptable y económico, mayormente utilizado en la producción de cereales para desayuno. La extrusión puede producir cambios en las propiedades macromoleculares de los componentes de la harina como el almidón y el β -glucano (Gill et al., 2002).

La extrusión de las harinas puede pregelatinizar o gelatinizar el almidón; esto depende de las condiciones de tratamiento en cuanto a humedad, temperatura y tiempo. Las harinas con alto grado de pregelatinización tienen mayor poder espesante y mayor capacidad de retención y absorción de agua (Martínez et al., 2015; Hagenimana et al., 2006). La extrusión de harinas también puede mejorar el contenido en fibra dietética debido a la formación de fracciones de almidón enzimáticamente no digeribles bajo condiciones severas de extrusión (Wang et al., 1997; Siljestrom et al., 1986). Las harinas extrusionadas se han propuesto, entre otros casos, para reemplazar parcialmente las emulsiones de aceite en agua (Román et al., 2015; Lee et al., 2013), para mejorar el horneado del pan, ya que permiten aumentar la cantidad de agua en la formulación. El uso de harinas extrusionadas permite obtener productos de mayor calidad al aumentar la capacidad de absorción de agua debido a la presencia de más cantidad de almidón pregelatinizado (Martínez et al., 2013a). No se conoce el efecto que tiene el uso de harinas extrusionadas en productos de panadería con un contenido importante de fibra.

2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

En base a lo expuesto en la introducción, en el presente Trabajo Final de Grado se plantea como objetivo principal evaluar el efecto que tiene la sustitución de un 50% de harina de trigo por harina extrusionada sobre algunas propiedades físicoquímicas, estructurales y sensoriales de magdalenas elaboradas con fibra de grosella negra.

Para alcanzar el objetivo expuesto en el apartado anterior, se programa el siguiente plan de trabajo:

- Búsqueda y estudio bibliográfico, de manera sistemática, durante la realización del Trabajo Final de Grado. Estudio de la normativa y protocolos a seguir en la parte experimental.
- Diseño de experimentos.
- Obtención y selección de las formulaciones adecuadas.
- Observación microscópica de algunas materias primas: fibra y harinas extrusionadas.

- Elaboración de las magdalenas con fibra de frutos del bosque con las diferentes harinas extrusionadas.
- Estudio de los efectos de la sustitución de la harina por harina extrusionada sobre la microestructura de la masa de las magdalenas.
- Estudio de los efectos de la sustitución de la harina por harina extrusionada en algunas características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de las magdalenas.
- Análisis de resultados.
- Redacción del documento de Trabajo Fin de Grado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ingredientes

Para la preparación de las magdalenas se utilizaron los siguientes ingredientes: harina de trigo (Harinas Segura S.L, Torrente, Valencia, España, composición proporcionada por el proveedor: 13,50-15,50% humedad, 9-11% proteínas); azúcar blanco (AB Azucarera Ibérica S.L.U., Madrid, España); yema y clara de huevo, ambas líquidas pasteurizadas (Ovocity, Llombay, Valencia, España); leche en polvo desnatada (Corporación Alimentaria Peñasanta, S.A., Siero, Asturias, España); aceite refinado de girasol (Aceites del Sur-Coosur, S.A., Vilches, Jaén, España); bicarbonato sódico E-500ii y ácido cítrico E-300 (Sodas y Gaseosas A. Martínez, S.L., Cheste, Valencia, España); sal y fibra procedente de las bayas del grosellero negro (*Ribes nigrum L.*) procedente de extracción de zumos y cedida por la Universidad Técnica de Dresde (Alemania).

La harina de trigo fue extrusionada utilizando un equipo Kompaktextruder 19/25 DN (Brabender, Alemania), con un cañón de 19 mm de diámetro y un ratio longitud del cañón/diámetro de 25/1. Se utilizó un tornillo 1:1 a una velocidad de 95 rpm. Se obtuvieron 3 tipos de harina extrusionada. La harina H1 fue extrusionada con la adición de un 20% de humedad y con un máximo de temperatura al final del extrusor de 50°C. Las harinas H2 y H3 se extrusionaron con las mismas condiciones de humedad que la H1 y con un máximo de temperatura al final del extrusor de 80°C y de 150°C, respectivamente. Los productos resultantes se secaron en una estufa de convección a 50°C durante 30 min y a continuación se molieron en un robot de cocina (Thermomix TM 31, Wuppertal, Alemania) a una velocidad de 700 rpm. Las harinas molidas se envasaron en tarros “twist-off” y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su uso.

3.2 Elaboración de las Masas y de las Magdalenas

En este trabajo se estudiaron las cuatro formulaciones de masas de magdalenas que se presentan en la Tabla 1. La formulación control (M-H) elaborada únicamente con harina no extrusionada (H) y tres formulaciones (M-H1, M-H2 y M-H3), en las que un 50% de la harina se sustituyó por las harinas extrusionadas H1, H2 o H3.

Tabla 2. Composición de las formulaciones estudiadas (% en base harina)

Ingrediente	M-H	M-H1	M-H2	M-H3
Harina	140	70	70	70
Harina extr.	-	70	70	70
Azúcar	200	200	200	200
Yema	54	54	54	54
Clara	108	108	108	108
Leche	100	100	100	100
Aceite	92	92	92	92
Fibra	40	40	40	40
Agua	10	10	10	10
Bicarbonato	8	8	8	8
Ácido Cítrico	6	6	6	6
Sal	3	3	3	3

M-H: Masa control; M-H1: masa elaborada con la harina extrusionada H1; M-H2: masa elaborada con la harina extrusionada H2; M-H3: masa elaborada con la harina extrusionada H3.

Las diferentes masas se prepararon según el procedimiento “mezclado todo en uno” de Rodríguez-García et al. (2014), con algunas modificaciones. En primer lugar, se introdujeron todos los ingredientes líquidos de la receta, clara, yema, leche y agua, en la amasadora Kenwood Major Classic (Havant, Inglaterra, UK). A continuación, se adicionaron los ingredientes sólidos, harina, harina extrusionada en el caso de las formulaciones de masas M-H1, M-H2 y M-H3; azúcar, fibra de grosella negra, bicarbonato, ácido cítrico y sal, en el mismo recipiente. Por último, se añadió el aceite de girasol. Para obtener las masas homogéneas, se realizó el mezclado de todos los ingredientes durante 30 s a 202 rpm, seguido de 1 min a 260 rpm y por último 3 min a 320 rpm.

Las masas obtenidas se introdujeron en moldes de 6 cm de diámetro y 4 cm de alto. Cada molde se rellenó con 45 g de masa y se introdujeron en un horno convencional (Electrolux, modelo EOC3430DOX, Estocolmo, Suecia), precalentado a 180 °C durante 30 min. El horneado de todas las formulaciones se llevó a cabo a 180 °C durante 33 min. Tras sacar las magdalenas del horno, se dejaron atemperar un día antes de realizar los análisis. Todas las masas y magdalenas se prepararon por triplicado y los análisis se realizaron dentro de las 24 horas siguientes a su elaboración.

3.3 Técnicas microscópicas

3.3.1 Microestructura de las materias primas (fibra y harina) por Microscopía óptica (LM)

Para el estudio de la microestructura de la fibra procedente de grosella negra (*Ribes nigrum L.*) se utilizó un microscopio óptico Nikon Eclipse E800 (Nikon Eclipse 80i, Nikon Co., Ltd., Tokyo, Japón). Para observar la autofluorescencia de los compuestos fenólicos que forman parte de la fibra, se utilizó una lámpara de mercurio con un filtro FITC ($\lambda_{\text{ex max}} = 482 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{em max}} = 536 \text{ nm}$) como fuente de excitación. Las muestras se visualizaron a 20x y 60x aumentos. Las imágenes fueron capturadas y almacenadas en formato 1280 x 1024 píxeles usando el software del microscopio (NIS-Elements F, Version 4.0, Nikon, Tokyo, Japón).

Para el estudio de las diferentes harinas extrusionadas (H1, H2 y H3) por campo claro, como agentes de tinción se usaron el azul de toluidina (1 g/L) y el lugol (10 g/L). Se tomó una pequeña cantidad de muestra y se colocó en un portaobjetos de vidrio, se tiñó con el agente de tinción, se cubrió con un cubreobjetos de vidrio y se visualizaron las diferentes muestras a 4x, 10x y 20 X (lentes objetivas 4x/0.13 Plan Fluor Nikon y 10x/0.45 DIC N1 Plan Apo Nikon, y 20x/0.75 DIC N2 Plan Apo Nikon, respectivamente). Además, para poder determinar si los gránulos de almidón mantenían una estructura cristalina, las harinas también se estudiaron con luz polarizada. Para ello una pequeña cantidad de muestra se colocó sobre un portaobjetos de vidrio, se cubrió con un cubreobjetos y se observó a 10x (lente objetiva 10x/0.45 Plan Fluor Nikon). Las imágenes fueron capturadas y almacenadas en formato 1280 x 1024 píxeles usando el software del microscopio (NIS-Elements F, Version 4.0, Nikon, Tokyo, Japón).

3.3.2 Microestructura de las masas de magdalenas por Microscopía Láser Confocal de Barrido (CLSM)

Para la observación de las diferentes masas por CLSM se utilizó un microscopio Nikon Eclipse E800 acoplado a una unidad C1 Confocal (Nikon, Tokyo, Japón). Se utilizaron como agentes de tinción la rodamina B y el Nile red. Para excitar estos agentes de tinción fluorescentes se empleó como fuente de luz un láser Ar-Kr (488 nm). La Rodamina B (Fluka, Sigma-Aldrich, Missouri, Estados Unidos) con un $\lambda_{\text{ex max}}$ de 488 nm y $\lambda_{\text{em max}}$ de 580 nm se disolvió en agua

destilada a una concentración de 2 g/L. Este agente de tinción se utilizó para teñir proteínas y carbohidratos. El Nile red (Fluka, Sigma-Aldrich, Missouri, Estados Unidos) con un λ_{ex} max de 488 nm y λ_{em} max de 515 nm se disolvió en polietilenglicol (PEG) 200 a una concentración de 0.1 g/L y se utilizó para teñir grasa. Para observar la muestra por CLSM, se colocó una gotita de la masa sobre un portaobjetos de vidrio y se le añadió 20 μ L de disolución de rodamina B y 20 μ L de disolución de Nile red. Las visualizaciones se realizaron 10 min después de la difusión de los agentes de tinción en la muestra con dos lentes objetivas diferentes: 60x/1.40NA/Oil/Plan Apo VC Nikon y 40x/1.0/Oil DIC H/Plan Apo Nikon. Las imágenes se obtuvieron y almacenaron con una resolución de 1024 x 1024 pixel utilizando el software del microscopio (EZ-C1 v.3.40, Nikon, Tokyo, Japón).

3.4 Pérdida de peso durante el horneado

Para determinar la pérdida de peso durante el horneado primero se pesaron las masas antes de introducirlas en el horno y después se pesaron las magdalenas una vez atemperadas. Se tuvo en cuenta el contenido de agua inicial en cada formulación. La ecuación utilizada para obtener dicho valor se presenta a continuación (1):

$$PP = \frac{(M-B) * 100}{M} \quad (1)$$

Dónde: PP = pérdida de peso durante el horneado (%); M = peso de la masa (g); B = peso del bizcocho (g).

3.5 Altura de las Magdalenas

Las magdalenas fueron cortadas transversalmente por el centro y escaneadas. Se empleó un escáner HP Scanjet G2710 (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, U.S.A) con una resolución de 300 dpi. Mediante el programa Image J (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, Estados Unidos) se obtuvo la altura de cada magdalena. Se midió la altura (cm) verticalmente por el punto más alto de las magdalenas. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

3.6 Textura de las Magdalenas

Las propiedades texturales se evaluaron mediante un analizador de textura TA-TXTplus (Stable Microsystems, Ltd., Godalming, Reino Unido) usando el programa Texture Exponent Lite 32 (versión 6.1.4.0, Stable Microsystems). Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) en cubos de la zona central de la magdalena (1,5 x 1,5 x 1,5 cm), tras eliminar la corteza. La

velocidad del test fue de 1 mm/s, con una compresión del 40% de la altura original del cubo y el tiempo de reposo entre los dos ciclos de compresión fue de 5 s. El valor mínimo de umbral de fuerza registrado fue de 5 g. La compresión se realizó con una sonda cilíndrica de aluminio de 3.5 cm de diámetro. Tras los dos ciclos de compresión se determinaron los parámetros: dureza, cohesividad, elasticidad, y resiliencia. Cada medida se realizó por triplicado.

3.7 Contenido en fenoles solubles totales (FST) en las Magdalenas

El contenido en FST de las muestras se determinó con un espectrofotómetro Helios Zeta UV-Visible (Thermo Fisher Scientific Inc., Cambridge, Reino Unido) utilizando el método colorimétrico Folin-Denis, según la metodología indicada por Arnal y del Río (2004). Se tomaron 5 g de magdalena, se homogeneizaron con 25 mL de etanol al 96% con ayuda de un ultraturrax (IKA-Ultraturrax T25 Basic). El homogeneizado obtenido se centrifugó a 14500 rpm durante 20 min a 4°C y se filtró. Se adicionaron 25 mL de etanol al 96 % y se centrifugó y filtró de nuevo. El nuevo sobrenadante se mezcló con el anterior y dicha mezcla se completó hasta 100 mL con etanol al 96%. En un tubo de ensayo se colocó 1 mL de extracto, 6 mL de agua bidestilada y 0,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y se agitó brevemente. A los 3 min, se añadió 1 mL de carbonato sódico saturado (20%). Finalmente se adicionó 1,5 mL de agua bidestilada y se dejó reposar durante 90 min a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo se midió la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 725 nm. La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de ácido gálico en etanol al 96 %. Los resultados se expresaron como g de ácido gálico por 100 g de peso fresco. Se realizaron mediciones en tres magdalenas distintas efectuando 3 réplicas por muestra.

3.8 Capacidad antioxidante en las Magdalenas

La capacidad antioxidante de las distintas muestras de magdalenas se determinó mediante el método de FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica). Se tomaron 5 g de magdalena, se homogeneizaron con 25 mL de etanol al 96% con ayuda de un homogeneizador (IKA-Ultraturrax T25 Basic). El homogeneizado obtenido se centrifugó a 14500 rpm durante 20 min a 4 °C y se filtró. Se adicionaron 25 mL de etanol al 96%, se centrifugó y filtró de nuevo. El nuevo sobrenadante se mezcló con el anterior y dicha mezcla se completó hasta 100 mL con agua destilada. En cada cubeta se colocaron 30 µL de agua destilada, 30 µL de muestra y 900 µL de reactivo FRAP. Se incubaron las cubetas durante 30 min en un baño a 37 °C y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm. La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de Trolox en etanol al 96 %. Los resultados se expresaron como

µmoles de Trolox por g de peso fresco. Se realizaron tres extracciones de magdalenas y cada medida de actividad antioxidante se llevó a cabo por cuadruplicado.

3.9 Análisis sensorial

Para evaluar la aceptabilidad de las magdalenas formuladas con las diferentes harinas extrusionadas, se llevó a cabo un test de consumidores, en el que participaron 80 consumidores de entre los empleados y estudiantes de la Universitat Politècnica de València. La edad de los consumidores osciló entre los 18-65 años.

Las muestras fueron evaluadas en una habitación estándar, equipada con compartimentos individuales (ISO, 1988). Cada consumidor recibió cuatro muestras de magdalenas en una serie secuencial monódica, en una única sesión, siguiendo un diseño experimental de bloques completo. Las muestras fueron codificadas al azar con números de tres dígitos y se sirvieron al azar. Se proporcionó agua mineral para limpiar el paladar entre muestras.

Las diferentes formulaciones de magdalenas se analizaron mediante una escala hedónica de 9 puntos (el 9 expresa el nivel más alto de aceptación y el 1 el más bajo). Para cada muestra, los consumidores puntuaron el grado de aceptación, es decir cuánto les gustaba su “textura”, “sabor”, “apariencia” y “aceptabilidad global”.

3.10 Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA). Se calcularon las diferencias mínimas significativas (LSD) con un nivel de significación $P < 0.05$. Para ello se empleó el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, Estados Unidos).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Microestructura

4.1.1 Fibra de grosella negra (*Ribes nigrum*) por Microscopía Óptica

En la Figura 4 se puede observar la estructura de la fibra de grosella negra por Microscopía óptica (LM) en campo claro (Figura 4 A) y por fluorescencia (Figura 4 B). La fibra se observó disgregada en partículas de diferentes tamaños y formas. Como ya se ha comentado en la introducción de este trabajo, la grosella negra es un fruto rico en polifenoles, principalmente antocianidinas. Las más abundantes son la delfinidina-3-glucósido, delfinidina-3-rutinósido,

cianidina-3-glucósido y cianidina-3-rutinósido (Mattila et al., 2016). Otros componentes fenólicos importantes en estos frutos son las proantocianidinas; los flavonoles, de los cuales los más abundantes en la grosella negra son la quercetina, miricetina y kempferol (Määttä et al., 2001); y los ácidos fenólicos (Jurgonski et al., 2016;). La coloración rojiza, característica que se aprecia en la fibra (Figura 4 A) se debe a su alto contenido en antocianidinas, ya que esta fibra es una fuente importante de compuestos fenólicos. Aunque en general la información es escasa, se sabe que algunas antocianidinas, como los derivados de las cianidinas, presentan fluorescencia (Rakic et al., 2015). En particular, se ha encontrado que las chalconas tienen emisión de fluorescencia en el intervalo espectral de 420-450 nm (λ_{exc} 320-340 nm), mientras que la forma hemiacetal emite a 370 nm. El catión de flavilo muestra una débil emisión de fluorescencia en el intervalo espectral 570-620 nm (λ_{exc} = 520 nm). La base quinonoide como anión tiene espectros de emisión fluorescentes en el rango de 600-665 nm (Drabent et al., 1999; Drabent et al., 2007). Otros compuestos fenólicos que presentan fluorescencia específica y que permiten su estudio por microscopía de fluorescencia son los flavonoides como por ejemplo la quercetina (Dario et al., 2016; Nifli et al., 2007). La fluorescencia que presentó la fibra del fruto rojo (Figura 4 B) utilizada para la formulación de las magdalenas, permitió confirmar su elevado contenido en estos compuestos fenólicos.

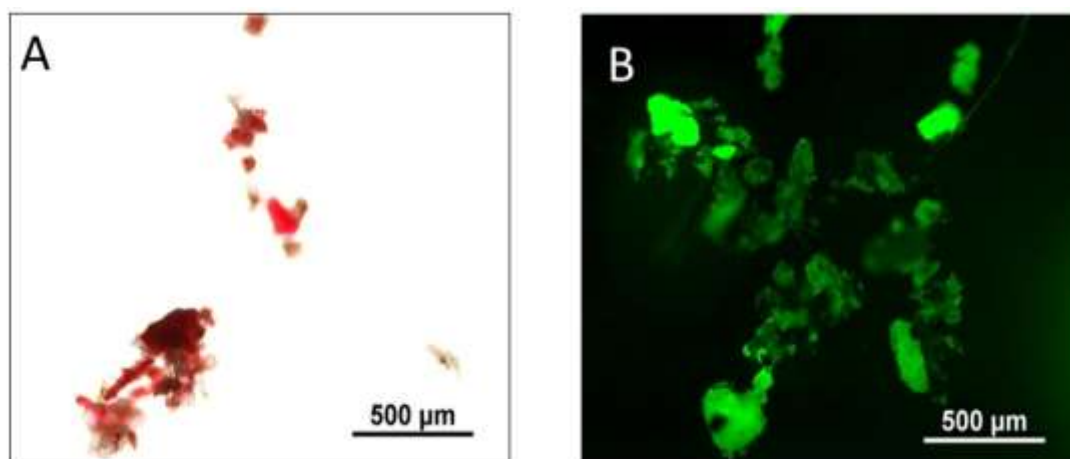


Figura 4. Imágenes obtenidas por LM de fibra de grosella negra (*Ribes nigrum*). A: campo claro, B: fluorescencia.

4.1.2 Harinas extrusionadas por Microscopía Óptica (LM)

Al observar la harina control (H) con luz polarizada (Figura 5 A), los gránulos de almidón, debido a su estructura semicristalina, se observaron con sus características cruces de malta. Esto indicó que la harina H presenta la mayoría de los gránulos de almidón intactos. En la harina extrusionada H1 (Figura 5 D) también se observaron cruces de malta, aunque en menor cantidad que en la harina H. Durante el proceso de extrusión para obtener la harina H1, el almidón se sometió a temperaturas mínimas de 50°C, cercanas a la temperatura de gelatinización del almidón. En la harina H1 también se apreciaron algunos puntos que, aunque presentaron birrefringencia, no conservaron la estructura en forma de cruz, lo que constata la presencia de gránulos deformados y disgregados en esta harina H1. En la harina extrusionada H2 (Figura 5 G) se apreció un descenso en el número de cruces de malta, si se compara con las harinas H y H1, lo que indicó que las condiciones de extrusión para obtener la harina H2, produjeron una mayor modificación en la estructura de los gránulos de almidón que las condiciones del tratamiento para la obtención de la harina H1. Para obtener la harina H2, el almidón se sometió a temperaturas mínimas de 80°C, es decir temperaturas por encima de la temperatura de gelatinización. Estos efectos que se observaron en la harina H2 se vieron magnificados en las imágenes que se corresponden con la harina extrusionada H3 (Figura 5 J). Esta harina es la que se sometió a una mayor temperatura (150°C) durante el extrusionado, lo que produjo un mayor porcentaje de gránulos deformados.

La tinción con azul de toluidina y con lugol permitió observar en la harina H (Figura 5 B) las distintas poblaciones de gránulos de almidón típicas de la harina de trigo. En general los gránulos aparecieron intactos y por ello uniformemente coloreados tanto por azul de toluidina (Figura 5 B) como por lugol (Figura 5 C). Las harinas extrusionadas H1, H2 y H3 (Figuras 5 E, F, H, I, K, L) presentaron gránulos de mayor tamaño que la harina H porque se encuentran en un estado de pérdida de integridad favorecido por las temperaturas del proceso de extrusión. No se apreciaron diferencias en cuanto al tamaño de los gránulos de almidón en ninguna de las harinas extrusionadas, probablemente porque el agua ejerció un efecto limitante en el proceso de hinchamiento y deformación de los gránulos. Sin embargo, cuanto mayor fue el tratamiento térmico durante la extrusión, mayor fue la proporción de gránulos deformados y rotos con salida de componentes amiláceos hacia el exterior. Probablemente las harinas H1 y H2 contienen una mayor proporción de gránulos pregelatinizados mientras que en la harina H3 existen mayor cantidad de gránulos gelatinizados. Así la harina H3 es la que presenta una mayor lixiviación de amilosa (Figura 5 L). La amilosa aparece teñida de color azul con el lugol, lo que demuestra que los gránulos en esta harina están en su mayoría gelatinizados. Martínez et al.,

(2015) observaron por microscopía electrónica medioambiental de barrido (ESEM) harina sometida a un proceso de extrusionado con temperaturas máxima de 160°C y comprobaron que todos los gránulos de almidón estaban gelatinizados.

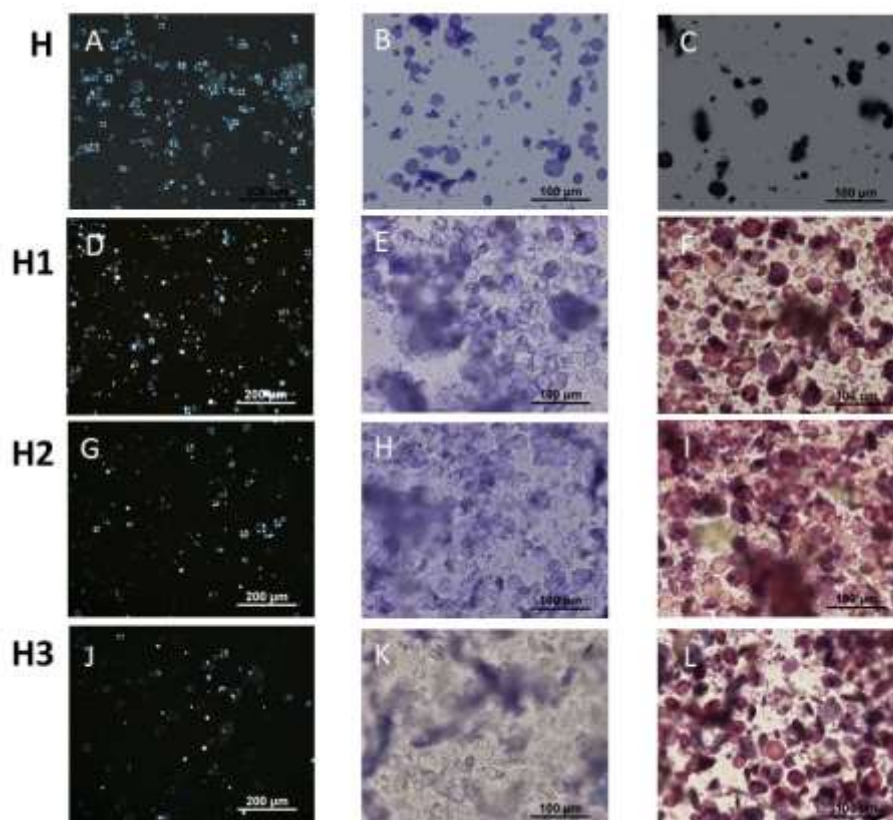


Figura 5. Imágenes obtenidas por LM de las harinas. A, D, G y J: Luz polarizada. B, E, H y K: Campo claro, tinción con azul de toluidina. C, F, I y L: Campo claro, tinción con lugol. H: harina no extrusionada. H1, H2 y H3: harinas extrusionadas

4.1.3 Masas de magdalenas por Microscopía Láser Confocal de Barrido (CLSM)

En la figura 6 se presentan las masas elaboradas con las distintas harinas extrusionadas. En la masa elaborada con harina H (Figura 6 A), se pueden observar los diferentes componentes de la formulación: teñidos de color negro aparecen los gránulos de almidón de diferentes tamaños; de color verde se observa la grasa en forma de glóbulos y también desestructurada, sin forma definida; también se puede apreciar una red proteica de color anaranjado que rodea mayoritariamente la fracción grasa de la formulación. Repartida por la formulación se pueden observar algunas partículas de fibra en color naranja intenso. La fracción grasa, en las masas de harinas extrusionadas (Figura 6 B, C y D), apareció distribuida de forma más homogénea que la de la harina H, y presentó mayoritariamente estructura globular. El tamaño de los glóbulos disminuyó al aumentar el tratamiento térmico en el proceso de extrusión. Así en la masa elaborada con harina H3 (Figura 6 D), el tamaño de los glóbulos fue pequeño si se compara con

las otras masas (H, H1 y H2). En general en las masas elaboradas con los tres tipos de harinas extrusionadas se apreciaron gránulos de almidón deformados que habían perdido la integridad. Esta deformación en los gránulos se apreció principalmente en la harina H3, probablemente porque muchos gránulos están ya gelatinizados como se ha podido comprobar en el estudio de las harinas por LM. Probablemente la mayor rotura de gránulos de almidón en esta harina H3 y la consiguiente lixiviación de los componentes del gránulo favoreció la formación de una red más consistente y compacta capaz de distribuir de manera más homogénea la fracción grasa.

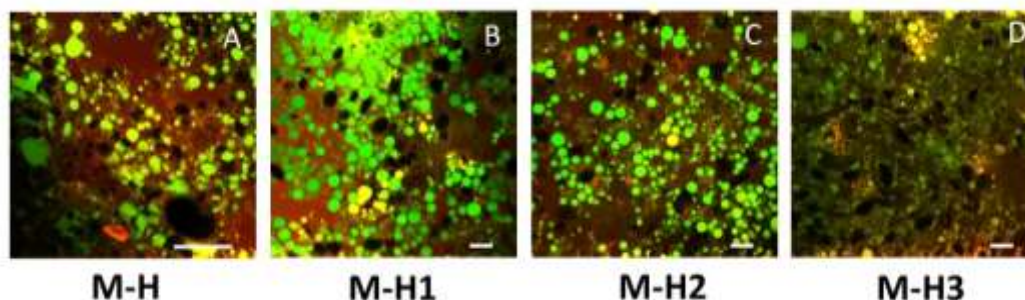


Figura 6. Imágenes obtenidas por CLSM de las masas. A: Masa elaborada con harina no extrusionada (M-H), B, C y D: Masas elaboradas con harinas extrusionadas a 50°C, 80°C y 150°C respectivamente y con un 20% de humedad (M-H1, M-H2, M-H3).

4.2 Pérdida de peso de las magdalenas

En la tabla 3 se presentan los valores obtenidos de pérdida de peso durante el horneado de las distintas formulaciones de magdalenas.

Tabla 3. Valores medios de pérdida de peso de las magdalenas

Muestra	Peso (%)
M-H	19,19 (0,83) ^b
M-H1	18,62 (0,75) ^a
M-H2	18,97 (0,38) ^{a,b}
M-H3	19,34 (0,81) ^b

Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones estándar. Las medias con letras diferentes (a, b) indican diferencias significativas ($p < 0,05$). M-H (control): magdalena elaborada sin harina extrusionada. M-H1, M-H2 y M-H3: elaboradas con harina extrusionada a 50°C, 80°C y 150°C respectivamente y con un 20% de humedad.

En los valores de pérdida de peso durante el horneado se apreciaron diferencias significativas entre los valores de las magdalenas M-H1 y los valores de las magdalenas M-H (control) y M-H3. Sin embargo, de forma general parece que no existen diferencias significativas

($p > 0.05$) entre las magdalenas control y las elaboradas con las distintas harinas extrusionadas. Es posible que la presencia de fibra en la composición de las magdalenas contribuya a homogeneizar el contenido de humedad en las distintas formulaciones, ya que la fibra procedente de los frutos tiene una gran afinidad por el agua (Quiles et al., 2017). Se ha demostrado que la alta capacidad de absorción de agua de la fibra compite con el almidón por el agua disponible, reduciendo el hinchamiento de los gránulos de almidón y disminuyendo la velocidad de gelatinización (O'Shea et al., 2013)

4.3 Altura de las magdalenas

En la tabla 4 se presentan los valores de altura de las magdalenas elaboradas con las diferentes harinas extrusionadas y obtenidos mediante el programa Image J.

Tabla 4. Valores medios de altura de las magdalenas.

Muestra	Altura
M-H	5,63 (0,05) ^c
M-H1	5,26 (0,08) ^b
M-H2	5,25 (0,05) ^b
M-H3	5,12 (0,06) ^a

Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar. Las medias con letras diferentes (a, b, c) indican diferencias significativas ($P < 0,05$). M-H (Control): magdalena elaborada sin harina extrusionada. M-H1, M-H2 y M-H3: magdalenas elaboradas con harina extrusionada a 50°C, 80°C y 150°C, respectivamente y con un 20% de humedad

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$), en la altura de las magdalenas, entre la formulación M-H (control) y todas las demás, siendo estos valores inferiores en las magdalenas elaboradas con harinas extrusionadas. De todas las formulaciones de magdalenas con harina extrusionada, las M-H3 fueron las que presentaron los menores valores ($p < 0,05$) de altura. Las M-H1 y M-H2 mostraron valores intermedios de altura, es decir menor altura que las M-H3 y mayor que las M-H, sin presentar diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas. Las altas temperaturas de extrusión, a las que se somete la harina H3, favorecen la gelatinización del almidón, como se ha podido observar en el apartado de microestructura de las harinas, y la formación de una masa más compacta, como se ha observado en el apartado de microestructura de las masas, con menor efecto impulsor que dificulta la formación de la red de gluten y por lo tanto la retención de vapor. Martínez et al., (2013b) al estudiar el volumen del pan elaborado con harina extrusionada a distintas temperaturas, observaron una reducción en

el volumen a medida que se adicionaba harina extrusionada en la formulación. Clerici et al., (2009) también observaron una reducción en el volumen del pan al adicionar harina extrusionada. A diferencia de estos estudios, Sánchez et al., (2008) elaboraron pan con harina de arroz extrusionada y observaron un incremento en el volumen a medida que aumentaba el tratamiento térmico de extrusión.

4.4 Textura de las magdalenas

En la tabla 5 se presentan los valores de los parámetros texturales obtenidos a partir del análisis de los perfiles de textura (TPA) de las distintas formulaciones de magdalenas.

Tabla 5. Valores medios de los parámetros texturales de las magdalenas.

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad	Resiliencia
M-H	1,15 (0,05) ^a	0,69 (0,01) ^a	0,90 (0,00) ^b	0,29 (0,00) ^a
M-H1	1,30 (0,05) ^b	0,69 (0,01) ^a	0,89 (0,01) ^a	0,29 (0,01) ^a
M-H2	1,16 (0,05) ^a	0,69 (0,01) ^a	0,88 (0,00) ^a	0,30 (0,01) ^a
M-H3	1,23 (0,02) ^{a,b}	0,69 (0,01) ^a	0,89 (0,01) ^a	0,30 (0,01) ^a

Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar. Las medias con letras diferentes (a, b, c) en la misma columna significa que los valores difieren significativamente ($P < 0,05$). M-H (control): masa elaborada sin harina extrusionada. M-H1, M-H2 y M-H3: masas elaboradas con harina extrusionada a 50°C, 80°C y 150°C respectivamente y con un 20% de humedad.

El primer parámetro a estudiar, la dureza, es la fuerza máxima que tiene lugar en el primer ciclo de deformación. Como se puede observar en la tabla 5, no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las magdalenas M-H (control) y las M-H2 y M-H3, sin embargo, las magdalenas H1 presentaron valores de dureza significativamente ($p < 0,05$) superiores. Valores elevados de dureza confieren al producto características poco deseables para el consumidor, ya que cuanto más alto sea el valor, más fuerza será necesaria para alcanzar el valor de deformación deseado. En general, parece que la incorporación de harina extrusionada a elevadas temperaturas no influye en la dureza de las magdalenas. Resultados similares obtuvieron Martínez et al. (2013a) al estudiar las propiedades del pan con harinas extrusionadas a diferentes temperaturas. No observaron cambios en la dureza del pan al aumentar la temperatura de extrusión de la harina.

La cohesividad representa la capacidad de un material para soportar una segunda deformación tras el segundo ciclo de prensado. En este caso, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las distintas formulaciones, por lo que se deduce que la sustitución de harina de trigo por harina de trigo extrusionada no afecta a este parámetro.

Por otro lado, la elasticidad representa la altura que recupera el alimento durante el tiempo que transcurre entre el primer y segundo ciclo de compresión, y mide la ruptura que ha sufrido la estructura original por la compresión inicial. Los valores obtenidos mostraron que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) para este parámetro entre la formulación control (M-H) y el resto de formulaciones, siendo las formulaciones con harina extrusionada las que presentaron los menores valores ($p < 0,05$). La elasticidad depende principalmente de las gluteninas existentes en la harina, y pueden verse afectadas por el tratamiento de extrusión. Martínez et al., (2013a) obtuvieron datos parecidos en el estudio de pan con harinas extrusionadas a distintas temperaturas.

Por último, en lo que a la resiliencia se refiere, la cual expresa la capacidad de un material para recuperar su forma original, ocurre lo mismo que con el parámetro de cohesividad, ya que los valores de las distintas formulaciones no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

4.5 Compuestos fenólicos

En la figura 7 se muestra el contenido en compuestos fenólicos de las distintas formulaciones de magdalenas estudiadas en este trabajo.

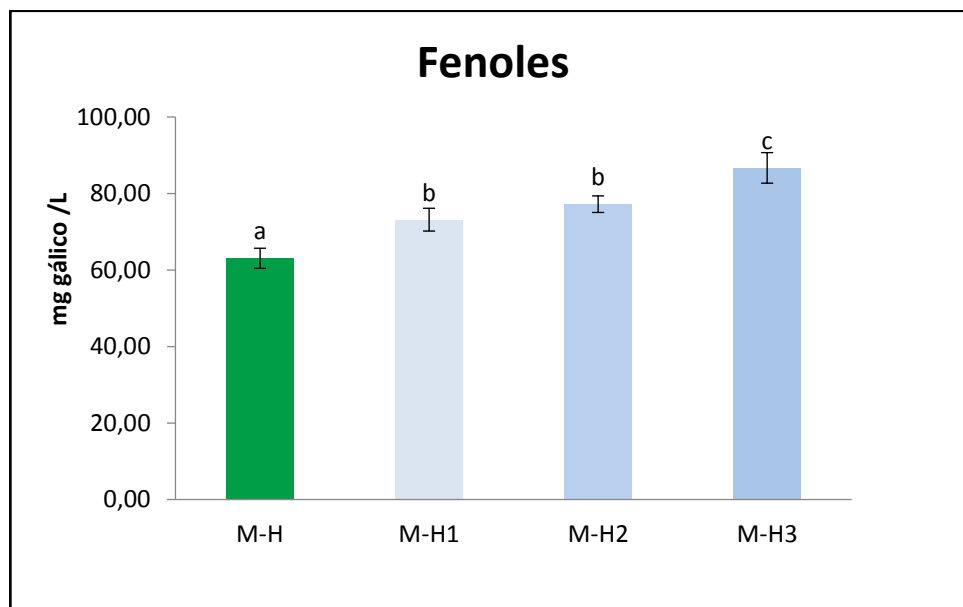


Figura 7. Contenido en compuestos fenólicos de las magdalenas. Las barras corresponden a los valores medios y las barras de error a la desviación estándar. Diferentes letras (a, b y c) indican diferencias significativas ($p < 0,05$). M-H (control): masa elaborada sin harina extrusionada. M-H1, M-H2 y M-H3: masas elaboradas con harina extrusionada a 50°C, 80°C y 150°C respectivamente y con un 20% de humedad.

Si se observa la figura 7 se puede comprobar que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las magdalenas M-H (control) y todas las elaboradas con las harinas extrusionadas a distintas temperaturas, es decir las magdalenas M-H1, M-H2, M-H3. Las magdalenas M-H3 fueron las que presentaron los mayores ($p < 0,05$) contenidos en compuestos fenólicos, y las magdalenas control (M-H) las que presentaron los menores ($p < 0,05$) valores. Las magdalenas M-H1 y M-H2 presentaron contenidos en compuestos fenólicos intermedios entre las M-H y las M-H3, sin presentar diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas. Con esto, se observa que el contenido en compuestos fenólicos aumenta al añadir harina extrusionada a la formulación de la magdalena y que este aumento es mayor a medida que aumenta la temperatura del tratamiento de extrusión. La fibra de grosella negra (*Ribes nigrum*) es la responsable de aportar los compuestos fenólicos a las magdalenas. A todas las formulaciones se les adicionó la misma cantidad de fibra, lo que parece indicar que la incorporación de harina extrusionada, que contiene gránulos de almidón modificados como se ha observado en el apartado de microestructura de las harinas por LM, favorece la extractabilidad de los compuestos fenólicos presentes en la fibra de grosella negra. Este efecto se ve magnificado al aumentar la temperatura del tratamiento de extrusión y por lo tanto al aumentar el grado de gelatinización del almidón. En el estudio de la estructura de las masas por CLSM se observó que la masa elaborada con la harina H3 era más compacta, con menor efecto impulsor, lo que resultó en magdalenas de menor altura. Es posible que se establezcan interacciones, entre el almidón pre ó gelatinizado y entre la fibra de la formulación, que favorezcan la extractabilidad de los compuestos bioactivos y su distribución por la matriz alimentaria. El aumento en el contenido en compuestos bioactivos hace a estas magdalenas elaboradas con harinas extrusionadas productos muy interesantes desde un punto de vista nutricional.

4.6 Capacidad Antioxidante

En la figura 8 se muestra la capacidad antioxidante de las distintas formulaciones de magdalenas estudiadas en este trabajo.

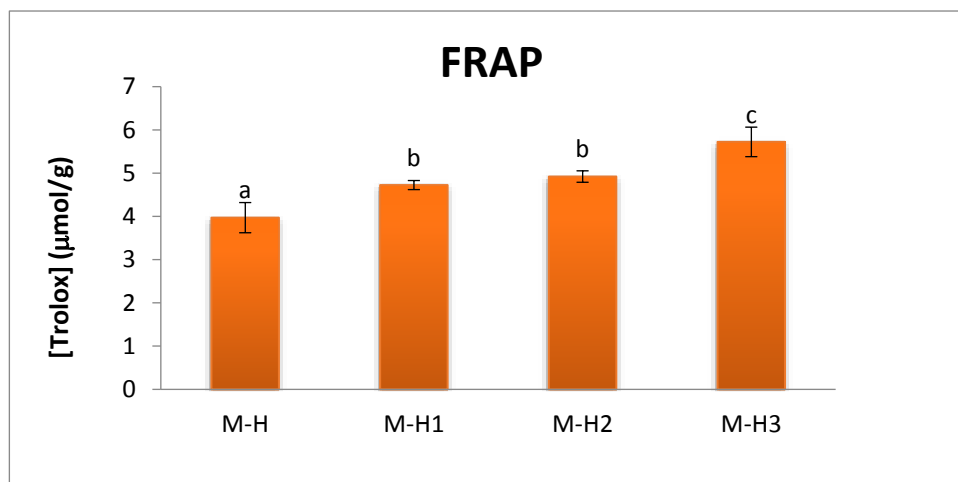


Figura 8. Capacidad antioxidante de las magdalenas Las barras corresponden a los valores medios y las barras de error a la desviación estándar. Diferentes letras (a, b y c) indican diferencias significativas ($p < 0.05$). M-H (control): masa elaborada sin harina extrusionada. M-H1, M-H2 y M-H3: masas elaboradas con harina extrusionada a 50°C, 80°C y 150°C respectivamente y con un 20% de humedad.

Las magdalenas control (M-H) presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con todas las harinas formuladas con harina extrusionada (M-H1, M-H2 y M-H3) (Figura 9). Si se comparan todas las formulaciones estudiadas entre sí, se puede comprobar que las magdalenas control fueron las que presentaron los valores significativamente ($p < 0.05$) menores en capacidad antioxidante, seguidas de las M-H1 y M-H2, que no presentaron entre ellas diferencias significativas ($p > 0.05$) y de las M-H3 que mostraron los valores significativamente ($p < 0.05$) más elevados. La capacidad antioxidante de las magdalenas aumentó a medida que también aumentó la temperatura del tratamiento de extrusión de la harina. Tal y como se ha visto que ocurría en el contenido en compuestos fenólicos, estos resultados también parecen indicar que el nivel de modificación estructural de los gránulos de almidón (como consecuencia de la extrusión) influye potenciando la capacidad antioxidante proporcionada por la fibra de las magdalenas. Es posible que las masas elaboradas con harina H3 tengan mayor cantidad de agua libre capaz de participar en la hidrólisis de las formas glicosídicas de los compuestos fenólicos para dar lugar a las formas agliconas de mayor capacidad antioxidante (Kao y Chen, 2006).

4.7 Anàlisis sensorial

En la tabla 6 se muestran los resultados del test de aceptabilidad, realizado por los consumidores, de las magdalenas elaboradas con fibra de grosella negra y las diferentes harinas extrusionadas. Los atributos evaluados en este test fueron: “textura”, “sabor/aroma”, “apariencia” y “aceptabilidad global”.

Tabla 6. Valores medios de la aceptabilidad de las magdalenas elaboradas con distintas temperaturas de extrusión.

Muestra	Textura	Sabor	Apariencia	Aceptabilidad global
M-H	6,2 (1,8) ^a	6,4 (1,6) ^a	6,5 (1,7) ^a	6,3 (1,7) ^a
M-H1	5,9 (1,8) ^a	6,4 (1,8) ^a	6,7 (1,4) ^a	6,3 (1,7) ^a
M-H2	5,9 (1,8) ^a	5,9 (2,0) ^a	6,7 (1,3) ^a	6,0 (1,8) ^a
M-H3	6,2 (1,6) ^a	6,1 (1,8) ^a	6,6 (1,4) ^a	6,2 (1,6) ^a

Diferentes letras (a) indican diferencias significativas ($p < 0.05$). M-H (control): masa elaborada sin harina extrusionada. M-H1, M-H2 y M-H3: masas elaboradas con harina extrusionada a 50°C, 80°C y 150°C respectivamente y con un 20% de humedad.

No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ninguna de las formulaciones estudiadas de magdalenas para ninguno de los atributos. Sharma et al., (2016) estudiaron la sustitución de harina de trigo por almidón extrusionado en la formulación de distintos productos horneados. En galletas comprobaron que no había diferencias significativas en términos de aceptabilidad global entre las que contenían harina extrusionada y M-H (control). Las magdalenas elaboradas con harina extrusionada, sin embargo, recibieron niveles significativamente más bajos de aceptabilidad. Román et al., (2015) sustituyeron parte de la grasa de bizcochos de la formulación por harina de trigo extrusionada, lo que produjo un descenso de la aceptabilidad. Nuestros resultados sin embargo, demostraron que las magdalenas formuladas con las harinas extrusionadas (M-H1, M-H2 y M-H3) presentaron una buena aceptabilidad. Desde un punto de vista sensorial, la utilización de la harina de trigo extrusionada es viable para la elaboración de magdalenas.

5. CONCLUSIONES

La fibra de la grosella negra empleada en este trabajo presenta autofluorescencia debido a su elevado contenido en compuestos fenólicos. En cuanto a las harinas extrusionadas, los tratamientos a 50°C ó 80°C, con una humedad del 20%, generan harinas pregelatinizadas; mientras que en el tratamiento a 150°C, con la misma humedad, la mayoría de los gránulos están gelatinizados. Al incorporar harina gelatinizada mediante extrusión a la formulación de magdalenas se generan masas compactas y magdalenas de menor altura que cuando se incorpora harina sin tratar o harina pregelatinizada. Además, la incorporación de almidones extrusionados aumenta la extractabilidad de los compuestos fenólicos de la fibra de grosella negra presente en la formulación y la capacidad antioxidante de las magdalenas. El uso de almidón gelatinizado produce mayor extractabilidad de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante que el almidón pregelatinizado. La utilización de la harina de trigo extrusionada confiere buenas propiedades sensoriales por lo que es adecuada para la elaboración de magdalenas. Por tanto, la harina extrusionada y la fibra procedente de grosella negra podrían ser utilizadas para la elaboración de productos de panadería de alto valor nutricional.

6. Referencias bibliográficas

- Baudi, S. (2006). Química de los alimentos. Editorial Enrique Quintanar Duarte, cap 2.
- Basu, A., Rhone, M., Lyons, T.J. (2010). Berries: emerging impact on cardiovascular health. *Nutrition Reviews*, 68 (3), 168-177.
- Bennion, E.B.; Bamford, G.S.T. (1997). The technology of cake making. London, UK: Blackie Academic and Professional, 5, 25-47.
- Bilgic, li, N., Ibanoglu, S., & Herken, E. N. (2007). Effect of dietary fibre addition on the selected nutritional properties of cookies. *Journal of Food Engineering*, 78, 86-89.
- Burns, C.E., Zon, L.I., (2002). Portrait of a stem cell. Department of Hematology/Oncology, Howard Hughes Medical Institute, 3 (5), 612-613
- Camire, M.E., Camire, A., Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29, 35-57.
- Clerici, M., Arioldi, C. and El-Dash, A. (2009). Production of acidic extruder rice flour and its influence on the qualities of gluten free bread. *Food Science Technology*, 42, 618-623.
- Dexter, J.E., Preston, K.R., Martin, D.G., Gander, E.J. (1994). The effects of protein content and starch damage on the physical dough properties and breadmaking quality of Canadian durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 20, 139-151.
- Figueiredo-González, M., Martínez-Carballo, E., Cancho-Grande, B., Santiago, J. L., Martínez, M. C., & Simal-Gándara, J. (2012). Pattern recognition of three *Vitis vinifera* L. red grapes varieties based on anthocyanin and flavonol profiles, with correlations between their biosynthesis pathways. *Food Chemistry*, 130, 9–19.
- Flores, G., Ruiz, M.L., (2015). Accumulation of anthocyanins and flavonols in black currants (*Ribes nigrum* L.) by pre-harvest methyl jasmonate treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 4026-4031.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooraikul, B., Rossnagel, B., (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science*, 36, 219-237.
- Hagenimana, A., Ding, X., Fang, T., (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38-46.
- Hidalgo, G.I, Almajano, M.P., (2017). Red fruits: extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: A review. Chemical Engineering Department, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Kao, T., Chen, B., (2006). Functional components in soybean cake and their effects on antioxidant activity. *Journal of Food Chemistry*, 54, 7544-7555.
- Lee I, Lee S, Lee N, Ko S (2013) Reduced-fat mayonnaise formulated with gelatinized rice starch and xanthan gum. *Journal of Cereal Chemistry*, 90, 29-34.
- Mattila, P.H., Hellström, J., Karhu, S., Pihlava, J.M., Veteläinen, M., (2016). High variability in flavonoid contents and composition between different North- European currant (*Ribes* spp.) varieties. *Journal of Food Chemistry*, 204, 14-20.

- Martínez M., A. (2005). Flavonoides. Tesis doctoral en la facultad de química farmacéutica, en la Universidad de Antioquia.
- Martínez, M.M, Oliete, B., Gómez, M., (2013a). Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 57, 424-429.
- Martínez, M.M, Oliete, B., Román, L., Gómez, M., (2013b). Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality. *Journal of Food Quality*, 37(2), 83-94.
- Martínez, M.M., Pico, J., Gómez, M., (2015). Physicochemical modification of native and extruded wheat flours by enzymatic amylolysis. *Journal of Food Chemistry*, 167, 447-453.
- Matsakidou A., Blekas G. and Paraskevopoulou A., (2010). Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *Food Science and Technology*, 43(6), 949-957.
- Määtä, K., Kamal-Eldin, A., Törrönen, R., (2001). Phenolic compounds in berries of black, red, green and white currants (*Ribes* sp.). *Antioxidants and Redox Signaling*, 3, 91-93.
- Miller, R.A., Maningat, C.C., Hosney, R.C., (2008). Modified wheat starches increase bread yield. *Journal of Cereal Chemistry*, 85, 713-715.
- Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*, 30, 134–144.
- O’Shea, N.; Doran, L.; Auty, M.; Arendt, E.; Gallagher, E., (2013). The rheology, microstructure and sensory characteristics of a gluten-free bread formulation enhanced with orange pomace. *Food and Function*, 4, 1856–1863.
- R. Drabent, B. Pliszka, T. Olszewska, (1999). Fluorescence properties of plant anthocyanin pigments. I. Fluorescence of anthocyanins in *Brassica oleracea* L. extracts. *Journal of Photochemistry and Photobiology, Biology*, 50, 53–58.
- R. Drabent, B. Pliszka, G. Huszcza-Ciołkowska, B. Smyk, (2007). Ultraviolet fluorescence of cyanidin and malvidin glyco-sides in aqueous environment. *Spectroscopy Letters*, 40, 165–182.
- Román, L., Santos, I., Martínez, M.M, Gómez, M., (2015). Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality. *Journal of Food Science and Technolgy*, 52, 8188-8195.
- Sanchez, H.D., Gonzalez, R.J., Osella, C.A., Torres, R.L., de la Torre, M.A.G., (2008). Elaboration of bread without gluten from extruded rice flours. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6, 109-116.
- Siljestrom, M., Westerlunds, E., Bjorck, I., Holm, J., Asp, N.G., Theanders, O., (1986). The effects of various thermal processes on dietary fibre and starch content of whole grain wheat and white flour. *Journal of Cereal Science*, 4, 315-323
- Sharma, S., Singh, N., Katyal, M., (2016). Effect of gelatinized-retrograded and extruded starches on characteristics of cookies, muffins and noodles. *Journal of Food Science and Technolgy*, 53, 2482-2491.

- Stervbo, U., Vang, O., Bonnesen, C., (2007). A review of content of the putative chemopreventive phytoalexin resveratrol in red wine. *Food Chemistry*, 101, 449-457.
- Tanaka, Y., Sasaki, N., & Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: Anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal*, 54, 733–749.
- Wang, L., Behr, S., Newman, R.K. and Newman, C.W. (1997). Comparative cholesterol lowering effects of barley B-glucan and barley oil in golden Syrian hamsters. *Nutrition Research*, 17, 77-88.
- Wilderjans, E.; Luyts, A.; Brijs, K.; Delcour, J.A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30, 6-15.
- Wolf, B., (2010). Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15, 50-54.