



UNIVERSIDAD DE BURGOS
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN
PARA LA VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS
VEGETALES Y NUEVAS APLICACIONES EN
LEGUMINOSAS COMO INGREDIENTES DE
PRODUCTOS PARA ALIMENTACIÓN HUMANA

BELÉN BLANCO ESPESO

BURGOS, 2017

**MEMORIA PRESENTADA POR D.ª BELÉN BLANCO ESPESO
PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD
DE BURGOS**



UNIVERSIDAD DE BURGOS

DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

Dra. ISABEL JAIME MORENO, Profesora titular de Universidad en el área de Tecnología de los Alimentos del Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos de la Universidad de Burgos.

Dr. GREGORIO ANTOLÍN GIRALDO, Profesor titular de Universidad en el área de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

Como Directores de la Tesis Doctoral **“Estudio de la tecnología de extrusión para la valorización de subproductos vegetales y nuevas aplicaciones en leguminosas como ingredientes de productos para alimentación humana”** desarrollada por **Dña. Belén Blanco Espeso**.

INFORMAN:

Favorablemente la presentación de dicha tesis, ya que reúne las condiciones necesarias para su defensa en cuanto a la realización de la fase experimental y la elaboración de la memoria.

Y para que así conste y a los efectos oportunos, firman el presente informe,

En Burgos, a 22 de Febrero de 2017

Fdo. Dña. Isabel Jaime Moreno

Fdo. D. Gregorio Antolín Giraldo



UNIVERSIDAD DE BURGOS

**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

D. JOSÉ MANUEL BENITO MORENO, PROFESOR TITULAR DE LA UNIVERSIDAD DE BURGOS, EN SU CALIDAD DE COORDINADOR DEL PROGRAMA DE DOCTORADO “AVANCES EN CIENCIA Y BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIAS”

CERTIFICA:

Que la memoria titulada **“Estudio de la tecnología de extrusión para la valorización de subproductos vegetales y nuevas aplicaciones en leguminosas como ingredientes de productos para alimentación humana”** presentada por **Dña. Belén Blanco Espeso**, Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, ha sido realizada en CARTIF y en el área de Tecnología de los Alimentos bajo la dirección de la Dra. **Isabel Jaime Moreno**, Profesora titular del Área de Tecnología de los Alimentos y el Dr. **Gregorio Antolín Giraldo**, Profesor titular del Área de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente y en representación de la Comisión Académica del Programa de Doctorado, autoriza su presentación para ser defendida como Tesis Doctoral para la obtención del Título de Doctor.

Y para que conste, y a los efectos oportunos, firmo el presente certificado,

En Burgos, a 22 de Febrero de 2017

Fdo. José Manuel Benito Moreno

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	13
1.1 El papel de la tecnología de extrusión en la industria agroalimentaria	15
1.2 Influencia de la tecnología de extrusión sobre la fibra dietética	16
1.3 Justificación del trabajo	17
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	18
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO 1: EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y NUTRICIONALES DE LA HARINA DE LENTEJA	25
1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1 Importancia de las leguminosas en la dieta	25
1.1.1 Características de las leguminosas	25
1.1.2 Harinas de leguminosas.....	27
1.2 Efecto del pelado en las leguminosas	27
1.3 Transformación de las harinas mediante tecnología de extrusión	28
1.3.1 Efecto de la extrusión sobre las propiedades nutricionales.....	29
1.3.2 Efecto de la extrusión sobre el almidón	29
1.3.3 Efecto de la extrusión sobre las propiedades funcionales	30
1.4 Utilización de harina de lenteja como ingrediente.....	33
1.5 Objetivos	36
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
2.1 Materiales.....	36
2.2 Proceso de extrusión	36
2.3 Caracterización nutricional	37
2.4 Propiedades fisicoquímicas.....	40
2.5 Propiedades de empastamiento	41
2.6 Caracterización morfológica.....	42
2.7 Color	43
2.8 Análisis estadístico	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1 Efecto del pelado y la extrusión en la composición de la harina de lenteja.....	44

3.2 Efecto del pelado y la extrusión en las propiedades fisicoquímicas de la harina de lenteja.....	50
3.3 Efecto del pelado y la extrusión en las propiedades de empastamiento de la harina de lenteja.....	53
3.4 Efecto del pelado y la extrusión en la morfología de la harina de lenteja.....	57
3.5 Efecto del pelado y la extrusión en el color de la harina de lenteja.....	61
4. CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXO.....	77
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE APERITIVOS EXTRUSIONADOS UTILIZANDO MEZCLAS CON HARINA DE LEGUMINOSAS Y EFECTO SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y DE EMPASTAMIENTO.....	81
1. INTRODUCCIÓN.....	81
1.1 Incorporación de harina de leguminosas en snacks expansionados.....	81
1.1.1 Harina de alubia.....	83
1.1.2 Harina de guisante.....	83
1.1.3 Harina de algarroba.....	83
1.2 Propiedades de snacks con leguminosas.....	83
1.3 Objetivos.....	84
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
2.1 Preparación de las formulaciones para los snacks con leguminosas.....	85
2.2 Proceso de extrusión.....	87
2.3 Propiedades de empastamiento.....	87
2.4 Análisis de los productos extrusionados.....	88
2.5 Análisis estadístico.....	89
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
3.1 Composición y propiedades de empastamiento de las materias primas.....	89
3.2 Evaluación de los productos extrusionados.....	94
3.2.1 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los productos extrusionados.....	94
3.2.2 Evaluación de las propiedades funcionales de los productos extrusionados.....	96
3.2.3 Evaluación de las propiedades de empastamiento de los productos extrusionados.....	100
4. CONCLUSIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

ANEXO	114
CAPÍTULO 3: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SALVADO DE TRIGO EXTRUSIONADO EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD Y EL ENVEJECIMIENTO DEL PAN	127
1. INTRODUCCIÓN.....	127
1.1 Importancia del pan	127
1.2 Envejecimiento del pan.....	127
1.3 Pan con fibra	130
1.3.1 Efectos de la incorporación de fibra en las masas panarias	131
1.4 Salvado de trigo	132
1.4.1 Efecto de la incorporación de salvado en panificación.....	134
1.4.2 Pretratamiento del salvado de trigo.....	135
1.4.3 Aplicación de la extrusión como pretratamiento del salvado	136
1.5 Objetivos.....	138
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	138
2.1 Materiales.....	138
2.1.1 Extrusión del salvado	138
2.1.2 Mezclas.....	138
2.2 Métodos	139
2.2.1 Caracterización química del salvado.....	139
2.2.2 Determinación de la microestructura del salvado	140
2.2.3 Propiedades de las mezclas	140
2.2.4 Características de las masas	141
2.2.5 Panificación.....	142
2.2.6 Evaluación de la calidad del pan	143
2.3 Análisis estadístico	143
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	144
3.1 Composición química del salvado de trigo y salvado de trigo extrusionado.....	144
3.2 Índice de absorción de agua e índice de solubilidad.....	146
3.3 Características morfológicas del salvado de trigo y del salvado de trigo extrusionado.....	147
3.4 Influencia del salvado de trigo y salvado de trigo extrusionado en las propiedades de empastamiento	149
3.5 Influencia del ST y STE en las características reológicas de las masas	154

3.6 Influencia de la incorporación de ST y STE en las características físicas del pan	158
3.6.1 Propiedades de color de la corteza y la miga	158
3.6.2 Firmeza.....	161
3.6.3 Valoración sensorial.....	163
4. CONCLUSIONES.....	166
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167
ANEXO	180
CAPÍTULO 4: TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN APLICADA AL ORUJO DE UVA BLANCA.....	197
1. INTRODUCCIÓN.....	197
1.1 Orujo de uva como subproducto agroalimentario.....	198
1.2 Composición del orujo de uva	199
1.3 Compuestos bioactivos del orujo: efectos beneficiosos	201
1.3.1 Aplicaciones del orujo de uva como antioxidante	202
1.4 Fibra dietética del orujo de uva.....	204
1.4.1 Aplicaciones del orujo como fuente de fibra	205
1.4.2 Aplicación en productos expandidos: Características de calidad.....	207
1.5 Modificación del orujo de uva mediante la tecnología de extrusión	209
1.5.1 Efecto del procesado en las propiedades de la fibra.....	209
1.5.2 Efecto del procesado en las propiedades antioxidantes	209
1.6 Objetivos.....	210
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	211
2.1 Materiales.....	211
2.2 Procesos de extrusión sobre orujos	212
2.3 Formulación de los snacks o aperitivos	213
2.4 Elaboración de los snacks expansionados	213
2.5 Caracterización de los orujos y de los orujos extrusionados	214
2.5.1 Caracterización química.....	214
2.5.2 Propiedades antioxidantes	215
2.5.3 Propiedades funcionales.....	216
2.5.4 Color.....	216
2.6 Caracterización de los snacks expansionados.....	216
2.6.1 Humedad	216

2.6.2 Propiedades físicas	217
2.6.3 Valoración sensorial.....	217
2.7 Análisis estadístico	220
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	220
3.1 Caracterización del orujo de uva	220
3.1.1 Caracterización química del orujo con pepitas y sin pepitas	220
3.1.2 Caracterización de las propiedades antioxidantes del orujo con pepitas y sin pepitas.....	223
3.1.3 Propiedades funcionales del orujo con pepitas y orujo sin pepitas.....	226
3.2 Efecto de la aplicación de los procesos de extrusión sobre la composición química del orujo de uva blanca	227
3.2.1 Influencia sobre la composición del orujo de uva con pepitas.....	227
3.2.2 Influencia sobre la composición del orujo de uva sin pepitas.....	229
3.2.3 Cambios en la fibra dietética total en el orujo de uva blanca y relación con las variables de los procesos de extrusión	231
3.2.4 Cambios en la solubilización de la fibra en el orujo de uva blanca y relación con las variables de los procesos de extrusión	232
3.2.5 Modificación inducida por la extrusión en la relación FDI y FDS	235
3.3 Influencia de la aplicación de la extrusión sobre las propiedades antioxidantes del orujo con pepitas y sin pepitas	238
3.3.1 Efecto de aplicación de la extrusión sobre las propiedades antioxidantes del orujo con pepitas	238
3.3.2 Efecto de aplicación de la extrusión sobre las propiedades antioxidantes del orujo sin pepitas	241
3.4 Influencia de los procesos de extrusión sobre las propiedades funcionales del orujo con pepitas y sin pepitas	246
3.4.1 Efecto de la extrusión sobre las propiedades funcionales del orujo con pepitas	246
3.4.2 Efecto de las condiciones de extrusión sobre las propiedades funcionales del orujo sin pepitas	248
3.5 Efecto de la aplicación de la extrusión sobre el color del orujo con pepitas y sin pepitas	249
3.6 Influencia de la incorporación de orujo con y sin pepitas en las características físicas de snacks expandidos.....	251
3.7 Análisis sensorial de los snacks	254
4. CONCLUSIONES.....	260

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	262
ANEXO	279
CONCLUSIONES GENERALES	283

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- AA: absorción de agua
- BD: estabilidad
- CA: capacidad antioxidante
- CV: viscosidad en frío
- DA: densidad aparente
- D_e : diámetro medio
- D_d : diámetro de la boquilla de salida
- DDT: tiempo de desarrollo de la masa
- DPPH: 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo
- DS: estabilidad de la masa
- FAO: Food and Agriculture Organization
- FDA: Food and Drug Administration
- FV: viscosidad final
- FDA: fibra dietética antioxidante
- FDI: fibra dietética insoluble
- FDS: fibra dietética soluble
- FDT: fibra dietética total
- HL-I: harina de lenteja integral
- HL-P: harina de lenteja pelada
- HL-PE: harina de lenteja pelada extrusionada
- HP: viscosidad en caliente
- HPLC: cromatografía líquida de alta resolución
- HS: viscosidad de caída
- HSD: Honestly Significant Difference
- HT: harina de de trigo refinada comercial
- IE: índice de expansión

MAPAMA: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente

MTI: índice de tolerancia al amasado

WAI (*Water Absorption Index*): índice de absorción de agua

WRC: capacidad de retención de agua

WSI (*Water Solubility Index*): índice de solubilidad en agua

OCP: orujo con pepitas

OIV: Observatorio Internacional del Vino

OSP: orujo sin pepitas

SB: retrogradación

SEM: Scanning Electron Microscopy

SME: energía mecánica específica aplicada

ST: salvado de trigo molido

STE: salvado de trigo extrusionado molido

UF: unidades farinográficas

PT: temperatura de empastamiento

Pt: salida de pico

PV: viscosidad máxima o de empastamiento

RVA: Rapid Visco Analyzer

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Asistimos a un momento en el que el desperdicio de alimentos está en el punto de mira tanto de las instituciones públicas como de los consumidores. Los alimentos se pierden o desperdician en todos los puntos de la cadena, desde el inicio, durante la producción agrícola, el procesado, en la cadena de distribución hasta el final, en los hogares y en el sector restauración. Este hecho supone un desperdicio de los recursos utilizados en la producción (tierra, agua, energía y otros insumos) que plantea cuestiones éticas, económicas, sociales, nutricionales y ambientales.

De acuerdo con el estudio “*Preparatory study on food waste across EU27*” para la Comisión Europea, se estima que en Europa el desperdicio y pérdidas de alimentos alcanzan los 89 millones de toneladas, de los cuales se considera que el 39 % está vinculado a los procesos de fabricación (MAPAMA, 2013). El Parlamento Europeo aprobó el 19 de Enero de 2012 la propuesta de resolución sobre cómo evitar el desperdicio de alimentos y estrategias para mejorar la eficiencia de la cadena alimentaria en la EU (PE_TA (2012) 0014) e insta a los estados miembros y a los agentes de la cadena alimentaria que aborden urgentemente el problema. Por tanto, la industria alimentaria está obligada a desarrollar procesos de producción que minimicen la aparición de residuos y a la recuperación, reciclado y valorización de los subproductos procedentes de la producción agroalimentaria, objetivo alineado con el concepto emergente de *Economía Circular* y con la primera prioridad de la *Estrategia Regional de Investigación e Innovación para una especialización Inteligente (RIS3)* de Castilla León, agroalimentación y recursos naturales, entre cuyos objetivos estratégicos se encuentra reforzar un modelo económico más competitivo y sostenible a través del uso eficiente de los recursos.

Según los datos de la *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (FAO) las pérdidas y desperdicio mundiales por año suponen un 45 % del total de lo que se produce para frutas y vegetales y un 30 % para cereales. Estas pérdidas obedecen a diversos factores tales como la falta de una buena logística, acuerdos entre agricultores y compradores, estándares de calidad, actitud del consumidor y pérdidas propias del procesado. En la elaboración o el procesado de productos vegetales se produce un gran número de subproductos procedentes de cereales, frutas, vegetales, así como algas, que son fuente de fibra dietética y/o de compuestos bioactivos.

The American Association of Cereal Chemist (AACC) define la fibra dietética (FD) como aquella formada por las partes digeribles de las plantas o análogos de los carbohidratos que son resistentes a la digestión y a la absorción en el intestino delgado con fermentación total o parcial en el intestino grueso (AACC, 2001).

Durante la última década, el conocimiento relativo a la fibra dietética se ha incrementado considerablemente, tanto en relación a la importancia fisiológica como a los procesos para incrementar su incorporación en alimentos.

Los beneficios relacionados con el consumo de fibra dietética están asociados a la función intestinal, a la reducción del riesgo de padecer enfermedades coronarias, diabetes tipo 2 y a ayudar a controlar el peso (EFSA, 2010).

Además de las funciones en el organismo, desde el punto de vista de la tecnología de alimentos, la fibra tiene una gran importancia puesto que es un ingrediente capaz de aumentar la capacidad de retención de agua y la de retención de aceite, es un emulsionante y puede formar geles. De hecho, la incorporación de fibra en alimentos como en productos de panadería, lácteos, mermeladas, carnes o sopas, puede modificar las propiedades de textura, evitando la sinéresis (eliminación del líquido de un gel causando un efecto de contracción), contribuir a la estabilización de alimentos ricos en grasa o emulsiones e incrementar la vida útil de algunos productos (Elleuch et al., 2011).

De acuerdo con la solubilidad en agua, la fibra dietética total puede clasificarse en dos grupos: fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI). La relación entre ambas, determina sus propiedades fisicoquímicas y sus efectos nutricionales. Desde el punto de vista de la salud, ambos tipos de fibras son complementarios por lo que es deseable un balance entre ambas con un 30-50 % de FDS y un 50-70 % de FDI, es decir, una relación FDS/FDI cercana a 1:2 (Jaime et al., 2002).

Muchos estudios han demostrado que la FDS juega un papel más efectivo que la FDI en aspectos relacionados con la salud (Jing & Chi, 2013). Desde el punto de vista tecnológico, es preferible una mayor proporción de FDS puesto que ésta tiene la propiedad de atrapar agua y formar geles, mientras que la FDI tiene mayor capacidad higroscópica y por tanto, de hinchamiento. Pero la mayor parte de la fibra dietética presente en subproductos sin procesar se presenta como FDI, mientras que el contenido en FDS es muy bajo. Por este motivo, mejorar la relación FDS/FDI tiene especial importancia.

La recomendación de consumo diario de fibra es de 25 g (EFSA, 2010). Sin embargo, la ingesta actual de la población española se encuentra en torno a 19 g/día debido, principalmente al bajo consumo de productos de origen vegetal (MAPAMA, 2012) y al cambio en el estilo de vida hacia una alimentación con mayor ingesta de alimentos procesados. Los productos suplementados con fibra son percibidos por los consumidores como saludables, bajos en calorías y grasas (Elleuch et al., 2011), pero el aspecto y la calidad de los productos ricos en fibra, no cumple las expectativas de los consumidores.

Por otra parte, las leguminosas son una excelente fuente de fibra y promueven el bienestar intestinal a través de su elevado contenido en fibra, proteínas, minerales y

compuestos bioactivos tales como polifenoles y fitoestrógenos que pueden mejorar la salud y prevenir algunas enfermedades. El ritmo de vida actual ha hecho que se consuman menos legumbres en favor de un mayor consumo de otros productos de alto contenido energético que no aportan los mismos nutrientes que las leguminosas. Por ello, se plantea la necesidad del estudio de alternativas para aumentar el consumo de estos alimentos a través de nuevos usos y de nuevas aplicaciones.

1.1 El papel de la tecnología de extrusión en la industria agroalimentaria

Los diferentes métodos de procesado afectan a las materias vegetales en función de las condiciones de proceso utilizadas y del propio material de partida, y permiten obtener nuevos ingredientes y productos. En concreto, la tecnología de extrusión tiene un papel muy importante en la industria agroalimentaria.

Es una tecnología económica y eficiente, y con ella se pueden conseguir transformaciones sobre proteínas, almidones y polímeros de celulosa de manera directa o indirecta en un corto periodo de tiempo (Jing & Chi, 2013). Para ello, se aplican temperaturas elevadas, energía mecánica y presión sobre el material, que ha de fluir a través de un tornillo en el interior de una carcasa.



Figura 1. Equipo de la planta de extrusión del Centro Tecnológico CARTIF.

Los cambios durante el procesado de materias fibrosas deberían estar relacionados con la composición del material. Sin embargo, cada material se comporta de una manera diferente en función de un gran número de variables entre las que no sólo está la composición inicial sino el tipo de tratamiento y las condiciones de dicho tratamiento, por lo que los efectos sobre cada materia debe ser analizados de forma individual.

Las principales transformaciones que se atribuyen a estos procesos están relacionadas con las propiedades funcionales, nutricionales y con las características sensoriales con respecto al material de partida.

1.2 Influencia de la tecnología de extrusión sobre la fibra dietética

La tecnología de extrusión se ha aplicado en la última década sobre diferentes tipos de subproductos con el fin de determinar la posibilidad de obtener ciertas mejoras nutricionales y/o tecnológicas sobre ellos al igual que en las harinas. La información disponible en relación al procesado mediante extrusión de subproductos de origen vegetal es limitada (Stojceska, Ainsworth, Plunkett, Ibanoglu, E. & Ibanoglu, S., 2008).

Son varios los factores que afectan a la calidad del producto final tales como el tipo de extrusor que se utiliza, la configuración del tornillo, la humedad del material, el perfil de temperaturas del proceso, la velocidad de giro del tornillo, el caudal de dosificación de la materia prima, así como el tipo de material de partida y los posibles ingredientes adicionales (El-Samahy, Abd El-Hady, Habiba, & Moussa-Ayoub, 2007).

La aplicación de energía mecánica durante el proceso de extrusión puede influenciar la formación de determinados complejos en los componentes del material de partida y la degradación de algunas moléculas (Sensoy, Rosen, Ho, & Karwe, 2006). Las modificaciones físicas que se obtienen mediante la extrusión suponen una alternativa para mejorar los almidones nativos de las harinas sin utilizar agentes químicos (Hagenimana, Ding, & Fang, 2006), así como sobre la fibra en relación a la solubilización y despolimerización, lo que puede tener también influencia sobre los efectos fisiológicos de la misma.

En los últimos años, un gran número de investigadores ha utilizado diferentes fuentes de fibra para la preparación de FDS, entre ellas las más utilizadas han sido cebada y salvado de avena (Jing & Chi, 2013). También se han obtenido mediante la extrusión de distintas materias y modificaciones de las propiedades funcionales tales como la viscosidad, la capacidad de ligar agua o de formar geles (Daou & Zhang, 2012).

Además, durante el proceso de extrusión se pueden producir diferentes efectos tales como la inactivación de enzimas lipolíticas, reducción de la carga microbiana, reacción

de Maillard, reducción en el contenido de vitaminas termolábiles y/o reducción en el contenido de factores antinutricionales (Camire, 2001).

Estos efectos derivan de alguna manera, en la modificación de determinadas propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales sobre la materia de partida.

1.3 Justificación del trabajo

Incluir harinas de leguminosas en diferentes productos procesados habituales, tales como pan, galletas o snacks, es una buena vía de incorporación, pero está restringida a pequeñas cantidades debido a los efectos negativos que producen en las masas o en la calidad final de los productos. Entre las numerosas variedades de leguminosas, lentejas, alubias, guisantes y algarroba son las leguminosas seleccionadas por su fácil disponibilidad, contenido en nutrientes, entre ellos el almidón, el alto contenido en fibra y el característico color chocolate de la algarroba.

El efecto del pretratamiento o tratamiento térmico de las harinas de leguminosas es un punto de interés por varias razones entre las que cabe citar; que facilita la cocción posterior, elimina compuestos antinutricionales y puede modificar las propiedades funcionales (Ma et al., 2011).

En el Capítulo 1, se estudiará cómo los procesos de pelado y la tecnología de extrusión pueden contribuir a la transformación de las propiedades nutricionales, funcionales y de empastamiento de la harina de lenteja de manera que se puedan proponer nuevas aplicaciones para la incorporación en productos de alimentación.

En el Capítulo 2, se incorporarán harinas de alubia, guisante y algarroba en distintos porcentajes para la elaboración de un snack con base de arroz en el que se evaluarán las características de calidad finales y la idoneidad de las formulaciones propuestas.

Debido a que los subproductos resultantes del procesado en la industria agroalimentaria son altos en fibra, estos pueden ser utilizados para enriquecer otros alimentos de gran consumo, mejorar sus propiedades nutricionales o modificar sus propiedades fisicoquímicas. Para el estudio, se han seleccionado dos subproductos de la industria agroalimentaria por ser abundantes y fácilmente disponibles en Castilla y León; el salvado de trigo y el orujo de uva, por su potencial como fuente de fibra y de compuestos con actividad antioxidante: salvado de trigo y orujo de uva.

El salvado de trigo o tercerilla es una fuente potencial de fibra. Además contiene micronutrientes y compuestos fitoquímicos y posee propiedades antioxidantes (Prückler et al., 2014). El salvado se puede incorporar en alimentos para reemplazar la harina, grasa o azúcar, para retener agua o aceite o como emulsionante. Sin embargo, la cantidad que se puede añadir está limitada debido a que genera cambios indeseables

como por ejemplo en la textura, color o sabor del producto final (Hemery, Rouau, Lullien-Pellerin, Barron, & Abecassis, 2007). En el Capítulo 3 se estudiará cómo la extrusión afecta a la composición del salvado y cómo afectan estas propiedades a las características de panificación y al pan elaborado.

Finalmente, el 97,4 % de la uva que se produce en España está destinada a vinificación. Nuestro país es además el tercer mayor productor mundial de vino con 34 millones de Hl y 1.032 millones de Ha de viñedo. Castilla y León es una zona eminentemente productora de vino.

El subproducto del proceso de vinificación en blanco, el orujo de uva, comprende el 20 % del peso de la uva que se utiliza en vinificación y consiste en piel, raspón y semillas (Yu & Ahmedna, 2013). Es un residuo sin valor económico y su vertido podría suponer un problema medioambiental debido a la alta cantidad generada. No obstante, al orujo de uva se le atribuyen propiedades relacionadas con el contenido en fibra y la presencia de compuestos de la uva con acción antioxidante que justificarían su utilización como ingrediente en alimentación humana.

Sin embargo, la incorporación directa de estos subproductos resulta muy complicada por las dificultades tecnológicas que conlleva en relación a la carga microbiana, textura, dificultad para adaptar los procesos tecnológicos y, especialmente, en lo relativo al aspecto organoléptico. Por ello, interesa transformar de alguna manera estas materias para conseguir mejorar sus propiedades, lo que es el objetivo del Capítulo 4, a través de la aplicación de la extrusión, analizando la relación entre las condiciones de proceso aplicadas y el efecto en la composición química y propiedades antioxidantes. Por otra parte, se analizará la influencia de la inclusión de orujo de uva en la calidad final y la valoración sensorial de un snack expandido.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

El **objetivo general** de esta Tesis se focaliza en la aplicación de la tecnología de extrusión a la revalorización de subproductos vegetales, en la mejora de harinas de leguminosas poco utilizadas y el análisis de las modificaciones de interés nutricional, fisicoquímico, funcional y sensorial que esta técnica genera sobre las materias primas seleccionadas y las características de productos elaborados con incorporación de los productos obtenidos.

Como **objetivos específicos** del presente trabajo se plantean:

- Determinar los cambios nutricionales y funcionales en harina de lenteja como consecuencia de los procesos de pelado y extrusionado.

- Analizar los cambios provocados por el proceso de extrusión en la microestructura de la harina de lenteja y relacionarlo con sus propiedades de empastamiento, nutricionales y funcionales, y analizar las ventajas tecnológicas de este producto.
- Evaluar los atributos de calidad de un snack expandido elaborado con harinas de leguminosas en distintas proporciones.
- Determinar la composición nutricional y propiedades antioxidantes del orujo de uva blanca y tercerilla de trigo tras someterlos a procesos de extrusión utilizando diferentes condiciones de proceso.
- Evaluar la calidad, viabilidad tecnológica y sensorial de la incorporación de los citados subproductos en productos para alimentación humana (pan y snacks).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC (2001). The American Association of Cereal Chemistry. The definition of Dietary Fiber. Recuperado de: <http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/documents/dietaryfiber/dfdef.pdf>

Camire, M. E. (2001). Extrusion and nutritional quality. *Extrusion Cooking: Technologies and Application*, (Guy R., ed.) Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 108-130.

Daou, C., & Zhang, H. (2012). Study on functional properties of physically modified dietary fibres derived from defatted rice bran. *Journal of Agricultural Science*, 4(9), 85-97.

EC (2010). Preparatory study on food waste across eu 27. Recuperado de: http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/bio_foodwaste_report.pdf

EFSA (2010). Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre. Recuperado de: <https://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/1462>

El-Samahy, S. K., El-Hady, E. A., Habiba, R. A., & Moussa-Ayoub, T. E. (2007). Some functional, chemical, and sensory characteristics of cactus pear rice-based extrudates. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9, 136-147.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421.

FAO (2016). Save Food. Recuperado de: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/317265/>

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C., & Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 327-347.

Jaime, L., Mollá, E., Fernández, A., Martín-Cabrejas, M. A., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2002). Structural carbohydrate differences and potential source of dietary fiber of onion (*Allium cepa* L.) tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 122-128.

Jing, Y., & Chi, Y. J. (2013). Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*, 138(2), 884-889.

Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534-2544.

MAPAMA, (2012). Valoración nutricional de la dieta española de acuerdo al panel de consumo alimentario. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/Valoracion_Nutricional_2012_tcm7-309599.pdf

MAPAMA, (2013). Estrategia “Más alimento, menos desperdicio”. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/imagenes/es/estrategia_1abr_tcm7-269623.pdf

Parlamento Europeo (2012). Resolución del Parlamento Europeo de 19 de enero de 2012, sobre como evitar el desperdicio de alimentos: estrategias para mejorar la eficiencia de la cadena alimentaria en la UE. (PE_TA(2012)0014). Recuperado de: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2012-0014+0+DOC+XML+V0//ES>

Prückler, M., Siebenhandl-Ehn, S., Apprich, S., Höltinger, S., Haas, C., Schmid, E., & Kneifel, W. (2014). Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 211-221.

RIS3, Estrategia Regional de Investigación e Innovación para una Especialización Inteligente de Castilla y León, 2014-2020. Resumen ejecutivo. Recuperado de: <http://www.fuescyl.com/publicaciones/politicas-de-apoyo-a-las-i-d-i-ecastillayleon/ris3-estrategia-regional-de-investigacion-e-innovacion-para-una-especializacion-inteligente-de-castilla-y-leon-2014-2020/26-estrategia-regional-de-investigacion-e-innovacion-para-una-especializacion-inteligente-ris-3-2014-2020-resumen-ejecutivo-ing>

Sensoy, Í., Rosen, R. T., Ho, C. T., & Karwe, M. V. (2006). Effect of processing on buckwheat phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 99(2), 388-393.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, E., & İbanoğlu, S. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 554-563.

Yu, J., & Ahmedna, M. (2013). Functional components of grape pomace: their composition, biological properties and potential applications. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2), 221-237.

CAPÍTULO 1



EFFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y NUTRICIONALES DE LA HARINA DE LENTEJA

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia actual de los países desarrollados es reestructurar la dieta con alimentos que mejoren la salud y ayuden a reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares asociadas a un consumo abusivo de proteínas y grasas de origen animal. Actualmente, la demanda de los consumidores se centra en nuevos productos que ejerzan efectos beneficiosos sobre el organismo y que, al mismo tiempo, sean organolépticamente aceptables.

Las leguminosas son ingredientes excelentes para la formulación de estos nuevos productos, especialmente por sus propiedades nutricionales. Además, y como se pondrá de manifiesto en este capítulo, la aplicación de la tecnología de extrusión a las harinas de leguminosas permite abrir un nuevo abanico en su aplicabilidad manteniendo los requisitos de calidad.

1.1 Importancia de las leguminosas en la dieta

1.1.1 Características de las leguminosas

Las leguminosas constituyen una parte importante de la dieta por ser una buena fuente de proteínas y carbohidratos a un precio muy asequible. El contenido medio de proteínas de las leguminosas varía entre 17 y 40 %, siendo bastante más elevado que el de los cereales (3-7 %) y similar al de la carne (18-25 %), aunque en este último caso sean de distinto valor biológico y con un mejor perfil de aminoácidos (Du, Jiang, Yu, & Jane, 2014; Boye, Zare, & Pletch, 2010). Parte de los carbohidratos de las leguminosas son de *absorción lenta*, como el almidón además de otros polisacáridos no digeribles, como la fibra dietética, que supone entre el 9 y el 27 % (Zulet & Martínez, 2001).

Sin embargo, las leguminosas también contienen ciertos componentes antinutricionales como los inhibidores de tripsina, ácido fítico, taninos y oligosacáridos (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) que, aunque pueden beneficiar la función intestinal, también pueden limitar la utilización en el organismo de proteínas y carbohidratos (Wang, Hatcher, Toews, & Gawalko, 2009). Se sabe que los taninos forman complejos con las

proteínas y disminuyen la digestibilidad y la disponibilidad de aminoácidos (Adsule, Kadam, & Leung, 1989). Por estas razones, las leguminosas necesitan un procesado previo al consumo con el fin de mejorar el perfil nutricional y reducir los factores antinutricionales (Martín-Cabrejas et al., 2009).

Las leguminosas se consideran actualmente *alimentos funcionales*, por el hecho de que ejercen un efecto positivo en determinadas funciones metabólicas como el índice glucémico, la tasa de colesterol, el tránsito intestinal o la reducción de la acumulación de lípidos en el organismo. Estudios recientes atribuyen al consumo habitual de leguminosas efectos beneficiosos sobre la salud incluyendo la reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, osteoporosis, hipertensión, desórdenes gastrointestinales, enfermedades adrenales y reducción del colesterol (Asif, Rooney, Ali, & Riaz, 2013; Hu, 2003; Jacobs Jr & Gallaher, 2004; Korhonen & Pihlanto, 2003; Tharanathan & Mahadevamma, 2003; Vaz-Patto et al., 2015).

Una parte importante de los efectos beneficiosos de las leguminosas está asociada al contenido en fibra. Durante los últimos años, la fibra dietética ha recibido especial atención por su importancia en relación a la promoción de la salud y a la prevención de determinadas enfermedades de diferentes orígenes (Philips, 2013). La relación entre fibra dietética insoluble (FDI) y soluble (FDS) tiene importancia desde el punto de vista nutricional. Se recomienda que la proporción de FDS y FDI esté entre 1:4 y 1:3 (Mildner-Szkudlarz, Bajerska, Zawirska-Wojtasiak, & Górecka, 2013). Schneeman (1987) indicó que una distribución del 30-50 % de FDS y un 50-70 % de FDI se consideran proporciones equilibradas para obtener los máximos efectos sobre la salud.

Estas propiedades asociadas a las leguminosas han contribuido a una importante toma de conciencia de la necesidad de incrementar el consumo de legumbres. Contrariamente, en España ha descendido el consumo en las últimas décadas por diversas razones, entre las que cabe citar un desarrollo más fuerte del sector ganadero y una tendencia cultural a aumentar la ingesta de proteína animal, junto a un ritmo de vida acelerado en el que no se dispone de los tiempos de cocinado que requieren las leguminosas.

Así, la Asamblea General de las Naciones Unidas designó 2016 como *Año Internacional de las Legumbres* con el fin de sensibilizar a la opinión pública sobre las ventajas nutricionales de las legumbres como parte de una producción de alimentos sostenible encaminada a lograr una seguridad alimentaria adecuada y una nutrición equilibrada.

1.1.2 Harinas de leguminosas

Una buena opción para incrementar la utilización y el consumo de legumbres son las harinas de leguminosas en las que existe actualmente un creciente interés (Siddiq, Ravi, Harte, & Dolan, 2010). Estas harinas destacan concretamente por sus propiedades funcionales tales como, las propiedades espumantes, emulsionantes, modificación de textura y viscosidad, gelificación y capacidad de absorción de aceite y agua (Adebowale & Lawal, 2004; Singh, 2001).

Son harinas libres de gluten y con un alto contenido proteico que les imprime carácter funcional para la incorporación como ingrediente en alimentación. Entre las propiedades tecnológicas cabe destacar la capacidad de absorción de agua, o la solubilidad y la viscosidad. Diversos autores han estudiado estas propiedades funcionales en alubia de las variedades lima y mungo, garbanzo, guisante y harinas integrales de alubia pinta, lima, riñón, roja y navy (Chel-Guerrero, Perez-Flores, Betancur-Ancona, & Davila-Ortiz, 2002; Kaur & Singh, 2005; Singh, Kaur, Rana, & Sharma, 2010; Du et al., 2014).

Se ha comprobado como la funcionalidad de las proteínas está afectada por otros factores como la presencia de otros componentes (agua, sales, azúcares o grasa), la composición en aminoácidos de la variedad de leguminosa y los métodos de procesado (Damodaran, 1990). Uebersax & Zabik (1986) prepararon harina de alubia común, alubia pinta y alubia negra con y sin piel para estudiar su aplicación en alimentos y Deshpande et al. (1983) estudiaron las propiedades funcionales de harina de alubia pinta, alubia roja y alubia riñón. Son varios los estudios que se han realizado para incorporar harinas de leguminosas como ingredientes funcionales en determinados productos alimenticios como pan, pasta, galletas, masas y snacks (Han, Janz, & Gerlat, 2010; Petitot, Boyer, Minier, & Micard, 2010). También han sido descritos efectos negativos relacionados con la expansión en extrusionados cuando se incorpora harina de leguminosas en productos a base de soja o cacahuete (Choi, Phillips, & Resurreccion, 2007; Yeu, Lee, Y., & Lee, S.Y., 2008).

Los estudios realizados ponen de manifiesto la importancia de una *caracterización funcional* de las harinas de leguminosas para incrementar su utilización y la posibilidad de modificación de estas propiedades para un mejor uso.

1.2 Efecto del pelado en las leguminosas

La cubierta de las leguminosas (piel) no es digerible y puede tener un sabor amargo. Además es impermeable, lo que dificulta la hidratación de la semilla y alarga los tiempos de cocción. Las harinas de leguminosas pueden obtenerse a partir de leguminosas enteras molidas (harina integral de legumbres) o peladas (descorticadas).

El pelado es un proceso de pretratamiento que consiste en eliminar la cubierta de la semilla. El pelado de las leguminosas reduce los factores antinutricionales y mejora la calidad, palatabilidad, sabor y digestibilidad de las legumbres (Salunkhe, Chavan, Kadam, & Reddy, 1986; Singh, U. & Singh, B., 1992); reduce los taninos y polifenoles que están principalmente concentrados en la cubierta (Beal & Mehta, 1985; Khalil & Mansour, 1995; Nti, 2009; Wang et al., 2009); aumenta el contenido de proteínas y reduce la fibra dietética de harina de leguminosas como las lentejas (Wang et al., 2009) y disminuye el tiempo de cocción.

Desde el punto de vista nutricional, se ha comprobado que la digestibilidad de la proteína de leguminosa y su utilización neta en el organismo es mayor para alubias peladas que sin pelar (Singh, 1993).

1.3 Transformación de las harinas mediante tecnología de extrusión

El procesado de las leguminosas mejora su perfil nutricional y disminuye los factores antinutricionales (Martín-Cabrejas et al., 2009).

Los intentos por incrementar el uso y consumo de leguminosas han llevado a la utilización de diversas técnicas de procesado como el escaldado, hervido, autoclavado, radiaciones, cocinado, tostado, descorticado, germinación, fermentación, utilización de distintos compuestos químicos y enzimas y, recientemente, la extrusión (Van der Poel, 1990; Gujska & Khan, 1991; Bishnoi & Khetarpaul, 1994; Fernández, Aranda, Lopez-Jurado, García-Fuentes, & Urbano, 1997; Alonso, Orue, & Marzo 1998; Alonso, Aguirre, & Marzo, 2000).

Es conocido que, dentro de los tratamientos físicos, los tratamientos hidrotérmicos producen modificaciones en las propiedades funcionales de las harinas y que estas modificaciones dependen del tipo de proceso y de las condiciones del mismo. Diferentes estudios confirman que el tratamiento térmico de las leguminosas incrementa significativamente la calidad de la proteína y la fibra dietética soluble así como reduce la fibra insoluble (Martín-Cabrejas et al., 2008; Wang, Hatcher, Tyler, Toews, & Gawalko, 2010).

Uno de los tratamientos hidrotérmicos que tiene más auge para lograr este tipo de modificaciones es la tecnología de extrusión. Así, Mason (2009) estableció que almidones y harinas modificados mediante extrusión podían ser utilizados en productos de alimentación como espesantes y agentes gelificantes. Los cambios que se pueden producir en las harinas están relacionados con las condiciones utilizadas durante el proceso de extrusión tales como temperatura, humedad o velocidad de los husillos (Wen, Rodis, & Wassweman, 1990) y que provocan determinados cambios en las propiedades funcionales, reológicas y, en menor cuantía, en las características

morfológicas de los almidones de lenteja (González & Pérez, 2002). Estas modificaciones pueden permitir la adaptación de las leguminosas a los requisitos de calidad necesarios desde el punto de vista de la funcionalidad para la formulación de nuevos productos.

1.3.1 Efecto de la extrusión sobre las propiedades nutricionales

La extrusión tiene también influencia sobre la digestibilidad de las proteínas, y la solubilización de la fibra (Cheftel, 1986) como se ha comentado anteriormente. Durante los tratamientos térmicos tiene lugar la desnaturalización de proteínas. La naturaleza y tipo de proteínas, así como el grado de desnaturalización son factores importantes que pueden influir en la funcionalidad de las harinas de leguminosas (Wu & Inglett, 1974). En función de las condiciones de proceso puede tener lugar la *reacción de Maillard* entre azúcares reductores y proteínas.

La extrusión también afecta al contenido total de fibra dietética (Cheftel, 1986) incrementándolo o disminuyéndolo en función de la materia prima y condiciones del proceso y a la funcionalidad de las diferentes fracciones. Los cambios en la ratio FDS/FDI tras el procesado han sido descritos en numerosos estudios, indicando que las modificaciones en la pared de los polisacáridos pueden dar lugar a implicaciones nutricionales y funcionales. Así, en el estudio de Ralet, Della Valle & Thibault (1993) en la extrusión de fibra de guisante se obtuvo una solubilización moderada de polímeros de la pared celular y una transformación significativa de la fibra dietética insoluble a soluble. Otros efectos que se han obtenido con la extrusión son la inactivación de enzimas responsables de la oxidación lipídica, reducción del contenido de factores antinutricionales y reducción de la carga microbiana (Camire, M.E., Camire, A., & Krumhar, 1990).

1.3.2 Efecto de la extrusión sobre el almidón

El contenido medio de almidón de las leguminosas varía entre un 30 y un 50 % dependiendo del tipo de leguminosa, variedad y cultivo (Hoover, Hannouz, & Sosulski, 1988; Hoover & Sosulski, 1991; Wang, Bogracheva, & Hedley, 1998).

Los almidones de leguminosas se caracterizan por su alto contenido en amilosa con respecto a otros tipos de almidón (aproximadamente un 30 %), y, por tanto, menor contenido de amilopectina (aproximadamente 70 %). Su solubilidad y capacidad de hinchamiento depende mucho de la leguminosa y de la forma de cultivo. Son almidones con alta estabilidad térmica, con temperaturas más altas de gelatinización que los cereales y con alto grado de retrogradación.

El proceso de extrusión afecta de manera importante a los carbohidratos, especialmente al almidón ya que durante el proceso puede gelatinizar. La retrogradación del almidón gelatinizado induce la formación de *almidón resistente*, que es un tipo de almidón que resiste la digestión en el intestino delgado y puede ser digerido en el intestino grueso, donde es fermentado por la microflora del colon (Niba, 2002). Son varios los beneficios relacionados con la salud asociados a la fermentación del almidón resistente en el colon, entre ellos la reducción del riesgo de padecer cáncer de colon (Kim, Tanhehco, & Ng, 2006), por lo que su producción y consumo tienen un impacto comercial reseñable.

La conversión del almidón nativo en un almidón cocido y digerible mediante la aplicación de agua y calor, es uno de los efectos importantes de la extrusión (Ding, 2005). Cuando los materiales ricos en almidón se someten a estos procesos se produce la gelatinización del almidón, la degradación de la estructura cristalina, la fragmentación de los polímeros de almidón y la formación de complejos almidón-lípidos y/o almidón-proteínas (Hagenimana, Ding, & Fang, 2006).

La extrusión modifica el tamaño, la forma y la funcionalidad de los gránulos de almidón, por ello la determinación de la *ultraestructura* del almidón provee de información complementaria a las determinaciones fisicoquímicas que permiten explicar los cambios ocurridos. Son varios los investigadores que han aplicado la técnica SEM (*Scanning Electron Microscopy*) para obtener una relación entre la estructura y propiedades fisicoquímicas. Los estudios de microestructura con SEM también se han aplicado a legumbres en su estado nativo y procesadas (Berrios, Swanson, & Cheong, 1998; García, 1993; Hahn, 1977).

1.3.3 Efecto de la extrusión sobre las propiedades funcionales

Las *propiedades funcionales* se definen como las propiedades físicas y químicas intrínsecas que pueden afectar al comportamiento de los ingredientes en una matriz alimentaria durante el procesado, elaboración, almacenamiento y consumo, y que pueden determinar la calidad de los productos finales y sus propiedades durante el procesado tales como maquinabilidad, cocinado, almacenamiento, etc. (Riaz, 2006). Algunas de estas propiedades son el comportamiento reológico, la capacidad de absorción de agua o de solubilización.

Como se ha comentado, el proceso de extrusión puede provocar la gelatinización y/o daño termomecánico de los gránulos de almidón. Es precisamente el *grado de gelatinización* de los gránulos de almidón y su grado de ruptura molecular lo que determinará la viscosidad de la pasta o gel que formen (El-Dash, Gonzales, & Ciol, 1983). De hecho, los almidones nativos no absorben agua a temperatura ambiente y su viscosidad es cercana a cero, mientras que los almidones extruidos absorben rápidamente agua formando pastas a temperatura ambiente.

El comportamiento viscoso está relacionado con las condiciones utilizadas durante el proceso de extrusión de la harina y puede ser caracterizado mediante el análisis de las *propiedades de empastamiento* en un equipo medidor de viscosidad. Estos equipos determinan la evolución de la viscosidad de una solución de harina y agua en un ciclo de calentamiento-enfriamiento aplicando el perfil de temperatura habitualmente programado en estos equipos, que comprende un paso inicial de calentamiento, una etapa de mantenimiento a la temperatura máxima del ciclo y una etapa de enfriamiento. Las curvas que se obtienen por tanto varían en función del perfil de temperaturas que se utilice.

Cuando el almidón se calienta en exceso de agua, se hincha irreversiblemente y sufre una fase de transición de orden-desorden a una temperatura característica que depende del origen o fuente del almidón y se conoce como *temperatura de gelatinización* (Cook & Gidley, 1992).

En la Figura 1, se puede visualizar como tras la gelatinización del almidón tienen lugar fenómenos tales como la *gelificación* y el *empastamiento* y es, este último, el que centra la atención de la posibilidad de modificación sobre harinas y almidones. En el empastamiento tienen lugar una serie de cambios tales como el hinchamiento de los gránulos de almidón, lixiviación de compuestos moleculares al medio, especialmente amilosa, y en ocasiones la ruptura total de los gránulos de almidón. Las curvas de empastamiento representan los cambios en el comportamiento de una solución viscosa de harina durante un ciclo de calentamiento-enfriamiento en el que básicamente influye la composición de la harina y las características del almidón (Shevkani, Singh, Kaur, & Rana, 2014). Cuando la harina se somete a un tratamiento hidrotérmico como es la extrusión, las curvas de empastamiento reflejan la integridad del almidón y las interacciones moleculares (inter o intra) que han tenido lugar durante el proceso.

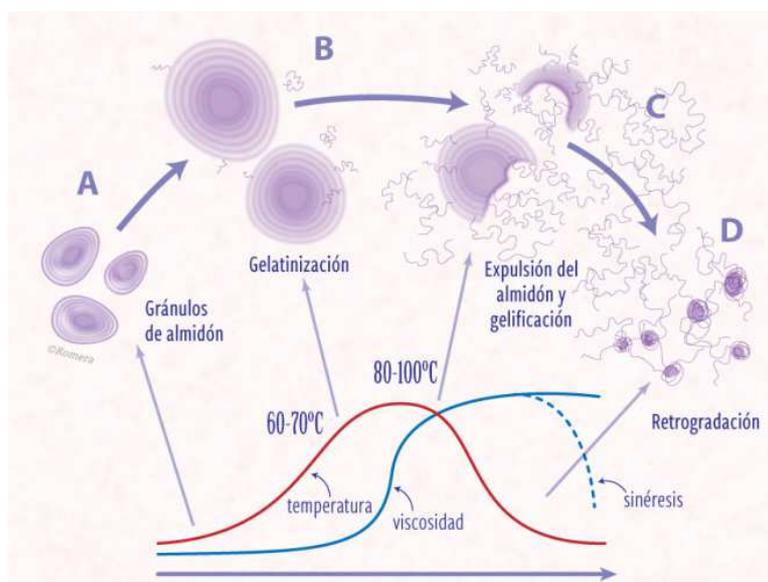


Figura 1. Ilustración del proceso de gelatinización del almidón.
(Fuente: www.ilustracionmedica.es)

Las curvas de empastamiento que se obtienen para leguminosas son muy diferentes de las que se obtienen con cereales. Este hecho es atribuible a que tienen menor cantidad de almidón que los cereales y mayor contenido de proteínas. Por esto, los gránulos de almidón se encuentran embebidos por la red proteica que restringe el acceso del agua e impide la hidratación de los almidones y por tanto, el desarrollo de la viscosidad (Chung, Liu, Hoover, Warkentin, & Vandenberg, 2008; Otto, Baik, & Czuchajowska, 1997).

Los almidones se hinchan y comienzan a friccionarse unos con otros bajo las condiciones de agitación del análisis. La temperatura a la que comienza a producirse el empastamiento se denomina temperatura de empastamiento (*pasting temperature*) e indica la habilidad del almidón para comenzar el hinchamiento aumentando la viscosidad hasta un punto determinado (*pico de viscosidad* o *peak viscosity*). Los valores de viscosidad están relacionados con la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón, de la resistencia de los gránulos de almidón hinchados a disolverse mediante calor o a disgregarse por la agitación, la presencia de almidón soluble y la interacción o cohesividad entre los gránulos de almidón (Copeland, Blazek, Salman, & Tang, 2009; Craig, Maningat, Seib, & Hosney, 1989; Liu, Ramsden, & Corke, 1997; Naivikul & D'Appolonia, 1979). El proceso de calentamiento y la agitación continua hacen que la amilosa comience a lixiviar de los gránulos de almidón, que se deshinchán, lo que conlleva una reducción de la viscosidad hasta un punto mínimo (*trough* o

viscosidad de caída). La diferencia entre este punto y el pico de viscosidad da la idea de la *estabilidad (breakdown)* o del grado de desintegración de los gránulos de almidón.

Una vez que el almidón se ha gelatinizado no es estable, de manera que cuando se va enfriando se produce una reorganización de los gránulos, aumentando la viscosidad hasta un punto máximo (*final viscosity*). La diferencia entre la viscosidad final alcanzada y la viscosidad de caída, se conoce como *retrogradación (setback)* y ofrece una idea de la firmeza que van a tener los productos en los que se incorpora.

Los parámetros de empastamiento se pueden correlacionar fácilmente con el perfil de textura y con la calidad del producto. Por ejemplo, el pico de viscosidad refleja la capacidad de ligar agua del almidón, un alto valor de estabilidad (*breakdown*) es un indicador de alta palatabilidad del producto final.

La extrusión también afecta a propiedades funcionales del almidón como la capacidad de absorción de agua, WAI (*Water Absorption Index*), que mide el volumen ocupado por el almidón tras hidratarse en exceso de agua es decir, el volumen de gel formado (Mason & Hosney, 1986). El valor de WAI depende de la disponibilidad de grupos hidrofílicos y de la capacidad de formación de gel de las macromoléculas (Gómez & Aguilera, 1983), que a su vez dependen de las condiciones utilizadas durante el proceso y de la interacción con otros componentes. La retención de agua afecta a la viscosidad de los productos, facilitando o dificultando su procesamiento, y confiere un efecto de frescura y suavidad en productos horneados.

Una segunda propiedad funcional del almidón que se ve afectada por la extrusión es la capacidad de solubilización en agua, WSI (*Water Solubility Index*). WSI determina la cantidad de sólidos solubles y se utiliza como indicador de la degradación del almidón y de la dextrinización (Dogan & Karwe, 2003). También puede indicar el grado de conversión del almidón durante la extrusión, lo que corresponde con la cantidad de polisacáridos solubles liberados del gránulo de almidón (Ding, 2005). En general, los valores de WAI y WSI se ven significativamente afectados por los parámetros de proceso utilizados, tales como la temperatura y la cantidad de agua del proceso de extrusión, la composición de las harinas, especialmente en relación al contenido de almidón, amilosa, proteínas y fibra; así como al tamaño y forma de los gránulos de almidón (Kaur, Sandhu, & Lim, 2010).

1.4 Utilización de harina de lenteja como ingrediente

La lenteja (*Lens culinaria*, M) es uno de los cultivos más importantes de la familia de las leguminosas. De acuerdo con los datos de la FAO de 2014, la producción mundial de lentejas fue de 4,8 Mt de los cuales 84 kt corresponden con la producción de la UE. España es el primer productor comunitario con 29,3 kt, con Castilla La Mancha como

primer productor, seguido de Castilla y León que acumula el 34 % de la producción nacional de lentejas en la campaña 2016/2017 (MAPAMA, 2016).

Las lentejas contienen un 50-60 % de carbohidratos, la mayoría en forma de almidón, y un 20-24 % de proteínas dependiendo de la variedad (Figura 2). El almidón es el componente principal de los hidratos de carbono en lentejas y varía entre el 35 y 53 % (Reddy, Pierson, Sathe, & Salunkhe, 1984). El almidón en la lenteja está distribuido mayoritariamente en los cotiledones, dispersado en la matriz proteica y presentado con forma granular (Adsule et al., 1989; Jood, Bishnoi, & Sharma, 1998). El almidón de lenteja contiene aproximadamente un 35 % de amilosa (Joshi et al., 2013) que es elevado comparado con el de la harina de trigo (25 %). El contenido de amilosa del almidón de lenteja se puede considerar como un indicador de la capacidad que tiene el almidón de formar un gel.

Las lentejas también destacan por tener bajo contenido en factores antinutricionales y en compuestos que producen flatulencia respecto a otras leguminosas. Así mismo, están relacionadas con un bajo índice glucémico postprandial.

A pesar de las ventajas nutricionales comentadas, el consumo habitual de las lentejas se ha visto reducido, como el resto de las legumbres, por los largos tiempos de cocción necesarios, la necesidad de un proceso de remojo anterior a la cocción y la presencia de compuestos que generan flatulencia.

En España, la lenteja se consume principalmente en forma de guiso y no es común su transformación en harina. La incorporación de lenteja en alimentos a base de cereales aumenta su valor nutritivo, mejorando el contenido proteico y la disponibilidad de lisina (Reyes-Moreno, Romero-Urias, Milán-Carrillo, & Gómez-Garza, 2004; Wood & Grusak, 2007). Por tanto, la harina de lenteja podría contribuir a mejorar la dieta mediante su incorporación en distintos productos de consumo habitual y ya se ha estudiado su aplicación en productos como galletas, pasta, salsas, entre otros, satisfaciendo las necesidades nutricionales de la población en general que consume poca cantidad de legumbre y en concreto de otros sectores como la tercera edad, donde el déficit de proteínas es acusado. Del mismo modo, la harina de lenteja es apta para celíacos y tiene un gran potencial para su uso en dietas de adelgazamiento debido a su bajo aporte de carbohidratos y alto contenido de proteínas comparado con la harina de trigo.



Figura 2. *Distintas variedades de lenteja. De izquierda a derecha: lenteja de la Armuña, lenteja canadiense o crimson, lenteja negra o beluga y lenteja pardina.*

La harina de lenteja se ha incorporado en formulaciones como ingrediente o sustituyendo a distintos tipos de harina (trigo o semolina de arroz) para elaborar productos de panadería o snacks (Ahmend, Taher, Mulla, Al-Hazza, & Luciano, 2016). De la Hera, Ruiz-París, Oliete, & Gómez (2012) estudiaron la incorporación de harina de lenteja para elaborar bizcochos, concluyendo que es importante la selección de la variedad, granulometría y método de elaboración para optimizar las características de calidad. Lazou & Krokida (2010) analizaron las propiedades sensoriales de un producto extrusionado con diferentes ratios de incorporación de harina lenteja y maíz comprobando que a medida que el porcentaje de lenteja se incrementaba, la aceptación sensorial decrecía. En el estudio de sustitución parcial de harina de trigo por harina de lenteja en panificación realizado por Aguilar et al. (2011), se observó que su incorporación afectó negativamente a las propiedades reológicas de la mezcla, así como al volumen del pan, textura y color. Sin embargo, en el análisis sensorial el grado de satisfacción superó el umbral mínimo.

Bahnassey & Khan (1986) estudiaron la incorporación en pasta de diferentes porcentajes de harina de alubia blanca, pinta y lenteja, tratadas térmicamente mediante tostado y sin tostar y se comprobó que, en todos los casos, los espaguetis quedaban más firmes que las muestras control. Así mismo, se determinó que las masas en las que se incorporaba harina de lenteja tenían peores desarrollos que con otras leguminosas. En este estudio también se observó el efecto del tostado previo de las leguminosas, que incide en un aumento de la cantidad de agua absorbida durante la cocción debido al incremento de la capacidad de absorción de agua. Igualmente, se pudo comprobar que la aceptación sensorial de los espaguetis fortificados con harina de leguminosas era mejor cuando se incorporaba harina previamente tostada frente a la no tostada.

1.5 Objetivos

La utilización de harinas de leguminosas, y en particular de harina de lenteja, como ingrediente en diversos alimentos recibe un creciente interés como una posible alternativa para mejorar la dieta. Se ha demostrado que el proceso de extrusión puede producir efectos beneficiosos o negativos sobre las propiedades funcionales y nutricionales de materias almidonosas. No obstante, no hay mucha información acerca de su efecto sobre la harina de lenteja, y se hace necesario conocer en detalle si la extrusión puede contribuir a mejorar su utilización en la elaboración de otros alimentos.

En este estudio se ha llevado a cabo la comparación de diferentes materias primas: harina de lenteja integral comercial, harina de lenteja pelada comercial y harina de lenteja pelada extrusionada. En concreto, se ha realizado la caracterización nutricional de los distintos tipos de harina y se han determinado sus propiedades fisicoquímicas (índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua), propiedades de empastamiento, morfología y color.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Harina de lenteja integral (*Lens culinaris* M.) comercial (HL-I), harina de lenteja pelada comercial (HL-P) y harina de lenteja pelada extrusionada (HL-PE) provenientes de la Harinera Los Pisones (Zamora). La harina de lenteja pelada se obtuvo eliminando la cubierta de la lenteja mediante técnica de abrasión en la misma harinera y moliéndola hasta un tamaño medio de partícula de 250 μm .

2.2 Proceso de extrusión

HL-P fue tratada con un extrusor monohusillo BASN (Buhler S.A., Uzwil, Suiza) de diámetro de tornillo 133 mm y longitud de carcasa 1,43D. El proceso se llevó a cabo con una velocidad de giro del tornillo de 380 rpm y un 13 % de humedad. La temperatura máxima que alcanzó el producto a la salida fue de 110 °C.

La harina obtenida (HL-PE) se secó en un secadero de aire caliente por convección (prototipo, CARTIF, España) a 60 °C y posteriormente fue molida con molino de martillos hasta alcanzar un tamaño medio de partícula de 250 μm , al igual que HL-P.

Los tres tipos de harina se envasaron en bolsas de polietileno hasta el momento de realizar los análisis.

2.3 Caracterización nutricional

Se determinaron las siguientes propiedades nutricionales: humedad, proteínas, cenizas, azúcares reductores, azúcares totales, hierro, fibra dietética total, fibra dietética soluble e insoluble. Todos los análisis se realizaron por triplicado, siguiendo en cada caso la metodología descrita a continuación.

Humedad

Analizada mediante método gravimétrico consistente en el secado de la muestra en estufa a 130 °C hasta peso constante de acuerdo con el método AACC 44-17 (AACC, 2012).

Proteínas

La determinación de proteínas se realizó mediante el método de combustión Dumas. El nitrógeno es liberado por combustión a alta temperatura en oxígeno puro (analizador elemental proteínas/nitrógeno LECO TruSpec, LECO, ST. Joseph, Michigan) siguiendo el método 46.30.01 (AACC, 2012).

Las muestras molidas se pesaron en una cápsula de porcelana para introducirlas en la cámara de combustión fijada a 1050 °C en atmósfera oxidante (O₂). Los gases de combustión fueron filtrados y enfriados para finalmente, aislar el N₂ arrastrándolo por una corriente de gas He hacia una celda de conductividad térmica donde se mide la concentración de N₂ presente en la muestra. El cálculo del contenido en proteínas se realiza multiplicando la concentración de N₂ por el factor 6,25.

Cenizas

Procedimiento gravimétrico en el que la muestra es incinerada a 910 °C en horno mufla hasta obtener cenizas blancas de acuerdo con el método AOAC 923.03 (AOAC, 1995).

La muestra se pesó sobre cápsulas previamente calentadas en el horno a 910 °C y enfriadas, distribuyendo la muestra homogéneamente. A continuación se carbonizó a la entrada en la mufla y después se incineró hasta la combustión total de la muestra. Las

cápsulas se enfriaron en un desecador, hasta peso constante. El porcentaje de cenizas se calculó mediante la expresión:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P - P_1} \times 100$$

P= peso de la cápsula de la muestra (g)

P₁= peso de la cápsula con cenizas (g)

P₂= peso de la cápsula vacía (g)

El porcentaje de cenizas calculado, se refirió a peso seco.

Fibra

Se siguió el método enzimático gravimétrico de acuerdo con los métodos AOAC 985.29, AOAC 993.19 y AOAC 991.42 (AOAC, 1995).

La **fibra dietética insoluble** (FDI) se determinó mediante la extracción de la muestra con una solución detergente en caliente. El residuo se incubó con una solución amilásica y se filtra. La determinación de cenizas en el filtrado permite conocer, por diferencia de peso, la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina de la muestra.

$$\% \text{ fibra dietética insoluble} = \frac{(P_1 - P_2) \times 100}{P}$$

P= peso en mg de la muestra

P₁= peso en mg de crisol + residuo desecado a 110 °C

P₂= peso en mg de crisol + residuo calcinado

La **fibra dietética total** (FDT) se determinó haciendo una hidrólisis a una temperatura de 100 °C en presencia de alfa amilasas. De esta manera se consigue la gelatinización, despolimerización e hidrólisis del almidón.

$$\% \text{ FDT} = \frac{(P_r - p_p - \text{cenizas} - P_b) \times 100}{P_m}$$

Pr= peso del residuo

Pb= peso del blanco

Pm= peso de la muestra

pp= contenido proteico

La **fibra dietética soluble** (FDS) se calculó por diferencia de la FDT y FDI.

Hierro

Se determinó el hierro de las muestras mediante espectrofotometría de absorción atómica. Para ello, las cenizas de la muestra se diluyen en una solución ácida. Se toma una alícuota de esta solución para que reaccione con ortofenantrolina, la cual forma un complejo con el hierro presente. Se mide la absorbancia de la solución resultante con un espectrofotómetro de absorción atómica (modelo 6701F. Shimadzu, Japón) y se convierte este valor en concentración de hierro a través del uso de una curva de calibración.

Azúcares reductores

Se analizaron mediante el método DNS, técnica colorimétrica que emplea el ácido 3,5-dinitrosalicílico para la hidrólisis de polisacáridos presentes en la muestra, seguida de la determinación espectrofotométrica a 540 nm.

Azúcares totales

La determinación de azúcares totales (hexosas, aldopentosas y ácidos hexourónicos, libres o formando polisacáridos) se hizo mediante la reacción de la antrona, que forma un compuesto verde en medio ácido fuerte (ácido sulfúrico) con ciertos carbohidratos y sacáridos, en especial con azúcares y almidones. La reacción de la antrona (9-10 dihidro, 9-ketoantraceno) en medio sulfúrico produce un derivado del furano que tiene su máximo de absorción en 620 nm.

Almidón

El contenido total de almidón se determinó mediante el método 76.13.01 (AACC, 2000) utilizando los kits para determinación total de almidón de Megazyme (Megazyme International, Wicklow, Ireland) siguiendo el método descrito en las instrucciones.

2.4 Propiedades fisicoquímicas

Índice de absorción de agua

El índice de absorción de agua (WAI) se determinó mediante el método de Anderson, Conway, Pfeife & Griffin (1969). La harina se suspende en agua a temperatura ambiente durante 30 min en agitación constante. A continuación las muestras se centrifugan a 3000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se decanta en una placa para evaporarlo. WAI es el peso de gel obtenido después de retirar el sobrenadante referido al peso original de la muestra. El cálculo es:

$$WAI = \frac{Wg}{Wds}$$

Wg= peso del gel (g)

Wds= peso seco de la muestra (g)

Índice de solubilidad en agua

El índice de solubilidad en agua (WSI) es el porcentaje de materia seca recuperada después de que el sobrenadante de la determinación de la absorción de agua es evaporado. El sobrenadante es secado en horno a 105 °C hasta peso constante.

WSI es el peso de sólidos secos en el sobrenadante expresado en porcentaje del peso de la muestra original.

$$WSI = \frac{Wss}{Wds} \times 100$$

Donde:

Wss= peso de los sólidos secos en el sobrenadante (g)

Wds= peso seco de la muestra (g)

2.5 Propiedades de empastamiento

Las propiedades de empastamiento de la HL-I, HL-P y HL-PE se evaluaron mediante un analizador rápido de viscosidad RVA-4 (Rapid Visco Analyzer RVA, Newport Scientific Pty Ltd, Warriewood, Australia) de acuerdo con el método 61.02.01 (AACC, 2012) en el que se somete a la muestra a un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

Para este análisis se mezclan 3 g de muestra con 12 % de humedad y 25 g de agua, ajustando los pesos de la muestra y agua en función de la humedad real de cada muestra. A continuación se introdujo la pala agitadora y se colocó el conjunto en la celda de calentamiento.

La muestra se sometió a un ciclo controlado con agitación constante en el que se calienta de 50 a 95 °C a razón de 5 °C/min y se mantuvo a 95 °C durante 2,7 min, para después enfriar hasta 50 °C a razón de 5 °C/min y mantener a esa temperatura durante 2 min. La velocidad de agitación de los 10 primeros segundos fue de 960 rpm y a partir de ahí se mantuvo a 160 rpm.

En la Figura 3 se muestra un diagrama tipo obtenido en el análisis rápido de viscosidad (RVA) mediante el método descrito.

Los valores que se obtienen de este ensayo son:

- **Temperatura de empastamiento (PT):** temperatura mínima para lograr la cocción de la muestra.
- **Salida de pico (Pt):** tiempo que tarda en salir el pico de viscosidad.
- **Viscosidad máxima o de empastamiento (PV):** viscosidad máxima alcanzada por la muestra en todo el ciclo antes de la retrogradación. Es el punto en el que la viscosidad comienza a aumentar bruscamente.
- **Viscosidad de caída (HS, trough):** el menor valor de viscosidad después del pico o punto donde comienza la retrogradación.
- **Estabilidad (BD):** diferencia entre la viscosidad máxima (PV) y la viscosidad de caída (HS). Está relacionado con la estabilidad de la pasta.
- **Viscosidad final (FV):** valor de la viscosidad de la muestra al final del ciclo.
- **Retrogradación (SB):** diferencia entre la viscosidad final (FV) y la viscosidad de caída (HS). Es un indicador de la retrogradación de los almidones.

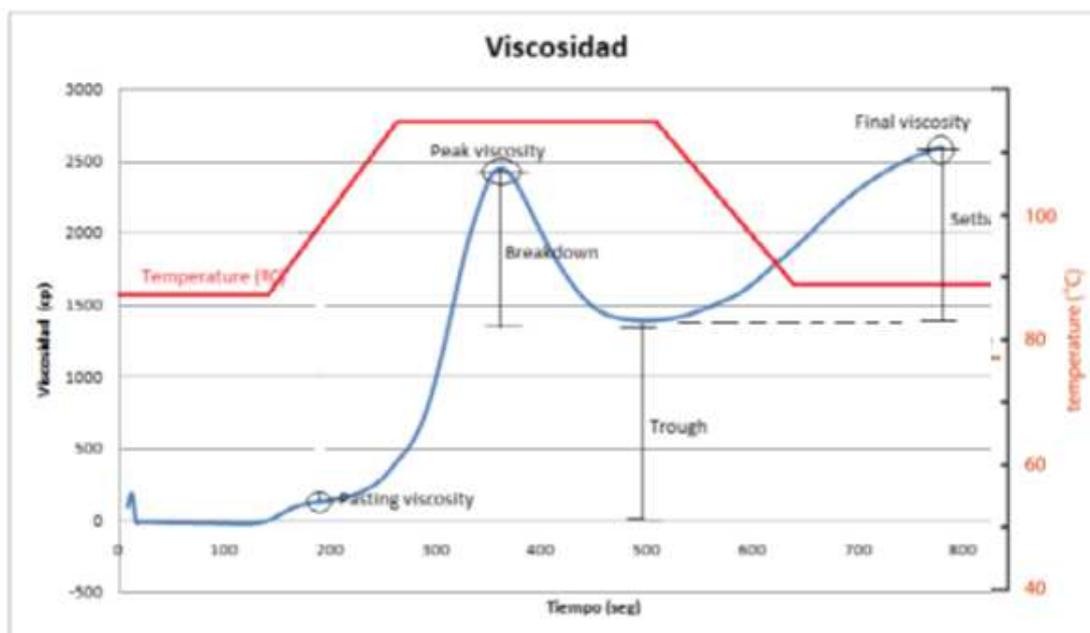


Figura 3. Curva típica del analizador rápido de viscosidad (RVA) y parámetros obtenidos: temperatura de empastamiento (pasting temperature), pico de viscosidad (peak viscosity), estabilidad (breakdown), viscosidad de caída (trough), viscosidad final (final viscosity) y retrogradación (setback).

Se recogieron los diagramas viscosidad-tiempo realizados por triplicado para cada una de las muestras. Los datos del RVA se procesaron mediante el software ThermoLine, versión 1.2 (Newport Scientific Pty Ltd, Warriewood, Australia).

2.6 Caracterización morfológica

La morfología de los componentes de la harina de lenteja fue evaluada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, *Scanning Electron Microscopy*) con un microscopio (FEI QUANTA 200). Las muestras fueron preparadas y colocadas en un adhesivo de doble cara. Posteriormente fueron recubiertas con oro utilizando un evaporador EMITECH K550X (Emitech, RC, England). Se recogieron imágenes a distintos aumentos: 1.000x, 5.000x, 10.000x y 15.000x.

2.7 Color

El color de las harinas se midió utilizando un colorímetro CM-3500d, Minolta Corporation (Osaka, Japón) registrando los parámetros L^* (luminosidad), a^* (rojo/verde) y b^* (amarillo-azul) (CIE, 1978).

Tras la calibración del equipo con una placa blanca (CM-A120), con la máscara CM-127 (30 mm de área de medida) se tomaron las medidas de las muestras de harina extendidas sobre placa petri (CM-A128). Se calculó el valor de cada uno de los parámetros de color suministrados por el equipo L^* , a^* y b^* como media de 3 medidas realizadas para cada harina.

Las medidas se tomaron utilizando iluminante D65 y observador 10° , en modo de reflectancia de acuerdo con las recomendaciones CIE (Commission International De L'Eclairage (CIE)).

L^* representa la luminosidad

a^* representa el color rojo (positivo) a verde (negativo)

b^* representa el color amarillo (positivo) a azul (negativo)

2.8 Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis estadístico de significación para comparar las diferentes harinas de lenteja estudiadas: integral, integral-pelada e integral-pelada-extrusionada. Para ello, una vez estudiada mediante la prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* si los datos seguían una distribución normal, se aplicó el análisis de la varianza (ANOVA) para distribuciones normales y la prueba de *Kruskal-Wallis* como alternativa no paramétrica al ANOVA de un solo factor. En este último caso, esta prueba no requiere que los datos sean normales, sino que utiliza la clasificación de los valores de los datos en lugar del valor real de los datos para el análisis.

Ambos tratamientos detectan las diferencias estudiando globalmente si los grupos tienen medias/medianas distintas, pero no indican entre qué grupos se encuentran dichas diferencias. Para ello, se recurrió al método de la diferencia significativa honesta propuesto por *Tukey* o método HSD (Honestly Significant Difference).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto del pelado y la extrusión en la composición de la harina de lenteja

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la composición de las distintas harinas de lenteja evaluadas.

Tabla 1. Composición de distintos tipos de harina de lenteja. HL-I: integral. HL-P: pelada. HL-PE: pelada y extrusionada.

	HL-I	HL-P	HL-PE
Humedad (%)	9,08 ± 0,17 ^a	9,50 ± 0,19 ^a	11,46 ± 0,20 ^b
Proteínas*	24,01 ± 1,10 ^a	24,44 ± 1,16 ^a	22,96 ± 1,09 ^a
Azúcares totales*	12,86 ± 0,05 ^a	13,06 ± 0,07 ^a	13,83 ± 1,12 ^a
Azúcares reductores*	3,88 ± 0,06 ^a	4,58 ± 0,02 ^a	3,06 ± 0,06 ^a
Fibra dietética soluble (FDS)*	5,05 ± 1,90 ^{a,b}	0,85 ± 0,51 ^a	5,75 ± 37,31 ^b
Fibra dietética insoluble (FDI)*	26,24 ± 0,74 ^b	12,77 ± 0,58 ^a	13,40 ± 0,95 ^a
Fibra dietética total (FDT)*	31,29 ± 2,11 ^c	13,62 ± 0,35 ^a	19,15 ± 0,74 ^b
Almidón*	41,36 ± 2,60 ^a	50,68 ± 2,27 ^b	51,63 ± 2,71 ^b
Lípidos*	1,10 ± 0,05 ^b	1,02 ± 0,05 ^b	0,88 ± 0,05 ^a
Cenizas*	2,52 ± 0,23 ^a	2,30 ± 0,23 ^a	2,15 ± 0,23 ^a
Fe (mg/kg)	133,00 ± 4,73 ^b	51,00 ± 3,06 ^a	46,00 ± 2,00 ^a

* Valores expresados como % sobre extracto seco

^{a-c} Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos ($p < 0,05$)

En general, la fracción proteica y los integrantes de los hidratos de carbono son los componentes principales de las harinas de lenteja y por tanto, los de mayor importancia en las propiedades tecnológicas.

En la bibliografía se recogen valores de la composición nutricional muy diferentes para distintas especies de lenteja, incluso para variedades de una misma especie (Dhinsa, Sood, & Chaudhary, 1985; Holland et al., 1991; Naivikul & D'Appolonia, 1978).

El valor de proteínas de HL-I coincide con el descrito por Ghumman, Kaur & Singh (2016) para un cultivar de lenteja integral molida de India (24,34 %) pero difiere para el contenido de cenizas de dicho cultivar (3,12 % frente a 2,52 % encontrado en este estudio). Sin embargo, en el mismo estudio, otro cultivar diferente de lenteja muestra un contenido de cenizas similar al determinado en el presente trabajo (2,54 %). Chung et al. (2008) obtuvieron un valor de proteínas para lenteja integral de 28,7 y 31,5 % en dos cultivares diferentes.

Los datos obtenidos en este trabajo para la harina original, HL-I, están dentro de los intervalos publicados y las diferencias encontradas ponen de manifiesto la influencia de factores como la variedad, genética, condiciones y localización del cultivo, e incluso los métodos de análisis.

Del mismo modo, los valores de proteínas, humedad y lípidos de la HL-P coinciden con los descritos en un estudio reciente (Rathod & Annature, 2016), mientras la fibra y cenizas difieren probablemente debido a tratarse de diferentes variedades de lenteja.

A continuación se analiza la influencia del pelado y la extrusión sobre los distintos parámetros analizados.

Proteínas

El contenido proteico de las tres muestras (Tabla 1) es similar a los valores publicados por diferentes autores: 19,5-31 % (Bhatty, Nielsen, & Slinkard, 1984); 23,4-36,4 % (Hulse, Rachie, & Billingham, 1977); 27,9 % (Dhinsa et al., 1985); 28,6 % (Batthy, 1988); 20-28 % (Zulet & Martínez, 2001) y 21-29,6 % (Ahmed et al., 2016). No obstante, cabe indicar que, según Kochhar, Walker & Pike (1988), hay una parte no despreciable de las sustancias nitrogenadas en los granos de leguminosas que no son de naturaleza proteica.

El 90 % de las proteínas se encuentran en el cotiledón, por lo que apenas hay diferencia en su contenido entre HL-I y HL-P, Esta observación coincide con la del estudio de Akinjayeju & Bisiriyu (2004) que observaron un efecto similar después del proceso de pelado. Para la HL-PE se ha producido una reducción no significativa en el contenido de proteínas. Este resultado ha sido también observado por Ai, Cichy, Harte, Kelly & Ng (2016) en harina de alubia.

Azúcares totales y reductores

El contenido en azúcares totales y de azúcares reductores (oligosacáridos como rafinosa, estaquiosa y verbascosa) de la HL-P es superior al de la HL-I, lo que puede atribuirse a la forma en la que se ha llevado a cabo el descascarillado y el molido de la harina.

El ligero incremento (no significativo) en azúcares totales observado en las muestras HL-PE puede ser debido a la descomposición de la celulosa en fragmentos solubles durante el proceso de extrusión (Martín-Cabrejas et al., 1999) o a la degradación de almidones.

Finalmente, las muestras de HL-PE presentan menores concentraciones de azúcares reductores que las harinas sin extrusionar (Tabla 1). Esta disminución, aunque no es estadísticamente significativa, puede ser debida a la reacción de Maillard, en la que los grupos carbonilos libres de los azúcares reductores se unen con las proteínas. Esta reacción se ve favorecida con las condiciones del proceso de extrusión de humedad y temperatura. Otros autores explican el descenso en el contenido de estos azúcares por la formación de complejos azúcar-proteína inducidos por el propio proceso de cocción-extrusión (Bressani, 1983), que finalmente son cuantificados como fibra. Los oligosacáridos rafinosa o estaquiosa son de particular importancia en los alimentos que se formulan con leguminosas ya que, de acuerdo con diferentes autores (Calloway & Murphy, 1968; Reddy, Salunkhe, & Sharma, 1980) estos azúcares son la principal causa de flatulencia en humanos. De acuerdo con nuestros resultados, se podría utilizar la extrusión para reducir el contenido de azúcares reductores. Esto coincide con la afirmación de Berrios, Morales, Camara & Sánchez-Mata (2010) quienes determinaron que después del procesado por extrusión se puede utilizar la harina de leguminosa para la formulación de productos con reducción de los factores que generan flatulencia.

Almidón

La HL-I tiene un contenido de almidón de 41,36 % (Tabla 1). Chung et al. (2008) para harina integral de dos cultivares de lenteja obtuvieron valores de 46,0 % y 47,1 %, mientras que Du et al. (2014) determinaron un valor de 50,52 % de almidón para lenteja integral (*Lens culinaris* M.).

El almidón en lentejas se encuentra distribuido, principalmente, en el cotiledón disperso en la matriz proteica (Ahmed et al., 2016). Es por ello, que después del pelado se obtiene un valor mayor de almidón debido al efecto de concentración al eliminar las capas exteriores. También puede deberse a que el tamaño de partícula de HL-P es menor que el de HL-I y al moler más, por efecto de la disgregación entre proteínas y almidón, se podría obtener un valor mayor en la determinación del almidón. Varios autores han observado con anterioridad un efecto similar en el incremento del contenido

de almidón con el molido (de la Hera, Gómez, & Rossel, 2013; Kerr, Ward, McWatters, & Resurreccion, 2000).

Fibra dietética

La fibra dietética total (FDT) es el componente principal de la HL-I y la concentración obtenida en este trabajo, 31,29 % (Tabla 1) está de acuerdo con los valores encontrados por Zulet & Martínez (2001). Sin embargo, el contenido en FDS y FDI está por encima de los valores observados por Dueñas et al. (2016) de 2,40 % y 24,40 % respectivamente. Esto indica que la concentración de FDT en leguminosas, de nuevo, depende del cultivar (Mouser, Suckow, & Kulikowski, 1983).

La FDI supone el 83,9 % de la FDT en la harina integral mientras que la FDS corresponde al 16,1 %. Estas proporciones están en el rango de las descritas por Su & Chang (1995) para alubias en la que la FDI estaba entre 72-90 % de la FDT. Wang, Hatcher & Gawalko (2008) indicaron que la FDI suponía entre el 88,6 y 90,2 % del total de la fibra dietética y la FDS entre el 9,5 y 11,1 % para guisantes.

El proceso de pelado afecta considerablemente a los valores de fibra dietética con disminuciones entre el 50 % y el 80 % de FDT, FDS y FDI. Estos resultados coinciden con los de Wang et al. (2009) para 8 variedades de lentejas diferentes. También están dentro del rango de los datos publicados por Ahmed et al. (2016) para dos variedades de lenteja. Con el pelado también se modifican las proporciones de FDI y FDS respecto a la FDT. En la HL-P el 93,8 % de la fibra corresponde con FDI y el 6,2 % con FDS, mientras que en la HL-I hay menor proporción de FDI y mayor de FDS (Tabla 1).

Sin embargo, se observa un notable incremento de la FDT en la harina de lenteja después del proceso de extrusión. Este aumento es más importante en la FDS que en la FDI. Este efecto puede explicarse por la liberación de la fracción soluble de las hemicelulosas como consecuencia del calentamiento ocurrido durante la extrusión.

De manera análoga, Ranjontra & Gelroth (1988) obtuvieron aumentos del 20 % de la FDS en el proceso de elaboración del pan como consecuencia del tratamiento térmico. Resultados similares han sido descritos por Onyago et al. (2005) en el proceso de extrusión de una mezcla de maíz y mijo y, Pérez-Navarrete, González, Chel-Guerrero & Betancur-Azcon (2006), en mezclas de maíz y alubia lima. Por el contrario, Berrios et al. (2010) concluyeron que el proceso de extrusión no determinaba una modificación significativa de la FDS y estaba asociado al descenso de la FDI en lentejas y alubias.

En este estudio, el incremento en el valor de FDS sugiere que ésta pueda provenir de compuestos que no corresponden a la fibra dietética, como puede ser la aparición de productos derivados de la degradación del almidón que facilitan la formación de

compuestos anhidro altamente reactivos, que contribuyen a un incremento en el contenido de FDT (Larrea, Chang, & Martínez-Bustos, 2005).

Finalmente, se obtiene un aumento de más del 5 % en el contenido en FDT en las muestras de HL-PE respecto a las HL-P. Este fenómeno ya ha sido ya descrito en la literatura científica a través de distintas teorías. En primer lugar, debido a la asociación que se establece entre almidones y proteínas, taninos y proteínas, taninos y almidones durante su cocción y que se produce en diferentes alimentos de origen vegetal (Saura-Calixto, Goñi, Bravo, & Mañas, 1992). Sin embargo, en el presente trabajo la disminución en el contenido de proteínas del 1,5 % en la HL-PE frente a la HL-P no ocurre en la misma proporción que el incremento en la FDT (5,5 %), lo que parece indicar que el aumento de fibra no es debido únicamente a esas interacciones sino al propio proceso de extrusión, en el que probablemente se promueven una serie de modificaciones que aumentan el contenido de polisacáridos no almidonosos y almidones modificados, capaces de resistir la acción enzimática y, por tanto, son cuantificados como FDI y aumentan el contenido final en FDT.

Otros autores como Bhatnagar & Hanna (1994) explican el aumento de la FDT por la formación de complejos entre los lípidos y la amilosa durante el proceso de extrusión. En nuestro estudio, se da una disminución del contenido de lípidos después del proceso de extrusión de 8,6 % atribuible a este efecto.

Por último, cabe señalar algunos aspectos relacionados con el método utilizado para la determinación de la fibra. Es un método enzimático gravimétrico en el que puede tener lugar una escasa gelatinización de almidones que ocasiona una hidrólisis enzimática limitada. Por consiguiente, no se eliminaría todo el almidón y se cuantificaría como parte del valor final de FDT.

Humedad

El valor de humedad de las tres muestras está por debajo del 14 % (Tabla 1), que es el valor a partir del cual se considera que aumenta la posibilidad del crecimiento microbiano (Aryee, Oduro, Ellis, & Afuakwa, 2006). Por tanto, todas las harinas presentan unas condiciones adecuadas para su conservación. HL-PE presenta el mayor contenido en humedad debido a que parte del agua utilizada durante el proceso de extrusión ha sido absorbida por la harina de lenteja.

Lípidos

El valor de los lípidos obtenido en los 3 tipos de harina de lenteja es muy bajo (Tabla 1). Otros autores han indicado valores inferiores, 0,37 % (Shams, Tahbaz, & Abadi, 2010) o superiores como el 2 % obtenido por Chung et al. (2008).

Por otro lado, el 90 % de estos lípidos se concentran en el cotiledón y solamente el 2 % en la cubierta (Singh, Singh, & Sikka, 1968), lo que explica que no haya diferencias entre HL-I y HL-P.

La pequeña reducción en el contenido de lípidos del 0,1% después de la extrusión puede obedecer a la formación de complejos lípido-amilosa durante el proceso, que reduce su extractabilidad (Camire, 2000; Cheftel, 1986; Pérez-Navarrete et al., 2006). Otros autores como Manoharkumar, Seiler & Gerstenkorn (1978), Fornal, Smietana & Sorel-Smietana (1987) y Martínez, Figueroa & Larios (1996) también observaron una reducción de grasa cruda en muestras extruidas de cereales y legumbres.

Cenizas

Las cenizas se determinaron mediante incineración, de manera que reflejan también los elementos minerales como fósforo, calcio, magnesio o hierro y están en consonancia con la variación que se produce en las concentraciones de hierro (Tabla 1).

El valor de las cenizas encontrado para la HL-I es del 2,52 % y es similar al obtenido para harina de lenteja por Ma et al. (2011). Se han obtenido valores de cenizas del 3 % para harina de lenteja (Dhinsa et al., 1985) o del 3,1 % en harina de lenteja canadiense (Bhatty et al., 1984). En el estudio de Wang et al. (2008) se determinaron valores para lenteja sin pelar de diferentes variedades en un rango de 2,48 a 2,84 % atribuyendo las diferencias al efecto del cultivo.

El valor de cenizas para la HL-P es similar al descrito por otros investigadores en la literatura (Ahmed et al., 2016).

La pequeña reducción en el contenido mineral de la HL-PE del 0,5 % puede ser explicada por la pérdida de determinados elementos por volatilización, lixiviación, etc. durante el proceso de extrusión.

Hierro

En la Tabla 1 se observa que el contenido en Fe de HL-I es significativamente ($p < 0,05$) más elevado que el de las otras dos muestras (133 mg/kg). Wang et al. (2009)

en el análisis realizado sobre distintas variedades de lenteja, determinaron valores de 62,5 a 91,8 mg/kg en función del cultivar.

El pelado afecta significativamente reduciendo el contenido de Fe en un 60 % para la HL-P. Esta reducción en el contenido de hierro después del pelado ha sido descrita por otros autores para harina de lenteja (Wang et al., 2009) y para otras leguminosas como frijol (Singh, Voraputhaporn, Rao, & Jambunathan, 1989) y guisantes (Wang et al., 2008) y se debe a que parte de los minerales se encuentran en las cubiertas de las leguminosas.

Por otro lado, se observa una pérdida del 10 % del Fe durante el proceso de extrusión. Esta disminución ha sido también observada en harina de garbanzo por Poltronieri et al. (2000), con pérdidas de Fe del 27 % tras la cocción y del 10 % tras la extrusión con unas condiciones de proceso similares a las utilizadas en nuestro estudio.

Meiners et al. (1976) determinaron que durante los procesos de cocción de lentejas molidas se pierde entre la mitad y dos terceras partes de los minerales en el agua de cocción. Sin embargo, los minerales son estables al calor y es poco probable que se pierdan en el vapor de salida del equipo, pero durante el proceso de extrusión se utilizan temperaturas elevadas y fuerzas de cizalla que afectan a la ruptura de enlaces covalentes (Watzke, 1998), generalmente de las macromoléculas. No obstante, las moléculas pequeñas pueden verse afectadas por el propio proceso o bien porque las modificaciones en las macromoléculas causan efectos en otras moléculas de la materia procesada (Singh, Gamlath, & Wakeling, 2007).

3.2 Efecto del pelado y la extrusión en las propiedades fisicoquímicas de la harina de lenteja

Los resultados para el índice de absorción de agua (WAI) y el índice de solubilidad en agua (WSI) de las harinas integral, pelada y pelada extrusionada están recogidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI) de los tipos de harina de lenteja (HL: integral. HL-P: pelada. HL-PI: pelada y extrusionada).

	HL-I	HL-P	HL-PE
WAI (g/g)	3,11 ± 0,21 ^b	2,12 ± 0,16 ^a	3,08 ± 0,11 ^b
WSI (%)	19,26 ± 0,64 ^a	48,30 ± 9,07 ^b	45,86 ± 2,88 ^b

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos (p<0,05)

Índice de absorción de agua (WAI)

WAI y WSI se consideran indicadores del grado en el que el almidón se ve afectado durante la extrusión. Su valor además está relacionado con las condiciones utilizadas en el procesado y con los componentes de cada materia, en especial con el contenido en almidón, fibra y proteínas.

La HL-I tiene un mayor valor de WAI que la HL-P debido su alto contenido en fibra. El valor medio de WAI para la harina de lenteja pelada, HL-P, es de 2,12 g/g. Este resultado se encuentra próximo a los valores encontrados en la bibliografía de 1,5-1,7 g/g (Kaur et al., 2010), 4,09 g/g (Du et al., 2014) o 6,13 g/g (Ghumman et al., 2016). Estas diferencias están relacionadas con la variedad de lenteja analizada y su composición. El pelado de la lenteja reduce el valor de WAI en algo más de un 30 % como consecuencia de la disminución del contenido en fibra correspondiente a la cubierta.

Después de la extrusión de HL-P, el valor de WAI se incrementa significativamente, mientras que en el valor de WSI no hay diferencias significativas. Este mismo efecto ha sido observado para otras harinas vegetales después de someterlas a procesos de extrusión, como la harina de banana del estudio de Sarawong, Schoenlechner, Sekiguchi, Berghofer & Ng (2014), donde WAI aumenta y WSI disminuye observando una correlación con el caudal de agua utilizado. También para cereales se ha observado un aumento del valor de WAI (Anderson, 1982) al utilizar temperaturas superiores a 150 °C durante el proceso de extrusión. Respecto a las leguminosas, en los estudios de Narayana & Narasiga (1982) y Bencini (1982) con diferentes tipos de harina de alubia en las que se ha aplicado calor se obtuvo un valor de WAI superior al obtenido antes del tratamiento y Milán-Carrillo et al. (2000) también observaron este efecto sobre WAI en harina de garbanzos frescos y garbanzos secos tras un proceso de descascarillado, remojo y extrusión.

El valor de WAI indica la habilidad de la harina para asociarse con el agua cuando se adiciona y por tanto, depende de los grupos hidrofílicos disponibles y de la capacidad de las moléculas constituyentes para formar geles (Gómez & Aguilera, 1983). El aumento en el valor de WAI después de la extrusión se debe a la incidencia del proceso sobre los constituyentes y la presencia de moléculas resultantes de este proceso que tienen mayor afinidad por el agua. De acuerdo con Gujska & Khan (1990) la desnaturalización de las proteínas, la gelatinización del almidón y el hinchamiento de la fibra que tienen lugar durante la extrusión, pueden ser responsables del aumento de los valores de WAI. La ruptura de los enlaces peptídicos produce un incremento del número de grupos polares y, consecuentemente, alta hidrofilia de las proteínas (Prinyawiwatkul, Beuchat, & McWatters, 1993), hecho que puede colaborar en la absorción de agua.

La gelatinización, el grado de fragmentación o el daño termomecánico del almidón de la materia prima de partida durante el proceso de extrusión, depende de las condiciones de

operación, tales como la *velocidad de tornillo*, *caudal de agua* y *temperatura* y tiene influencia en el valor de WAI.

En el presente trabajo, la velocidad utilizada en el proceso ha sido relativamente baja (380 rpm), lo que hace que la harina esté más tiempo en el troquel. Este mayor tiempo de residencia hace que el almidón se gelatinice y sea capaz de formar más enlaces hidrofílicos, aumentando el valor de WAI. Este efecto coincide con el observado en un estudio de Hagenimana et al. (2006), en el que se determinó que la cocción que se produce durante la extrusión provoca la gelatinización del almidón y contribuye a incrementar los valores de WAI.

El caudal de agua empleado en este estudio ha sido relativamente alto (13 %) y ha tenido un efecto plastificante, suavizando la influencia del proceso sobre el almidón y limitando la dextrinización, como puede deducirse de los valores obtenidos en la harina antes y después del proceso.

Índice de solubilidad en agua (WSI)

Los valores obtenidos para WSI para la HL-I y HL-P han sido 19,26 % y 48,30 % respectivamente. Este incremento supone una diferencia significativa (incremento del 30 %) que se ha producido como consecuencia de la reducción del contenido de fibra dietética, especialmente en FDI en la HL-P (Tabla 1). La fibra no se solubiliza y puede, además, recubrir los gránulos de almidón interfiriendo en su hidratación.

Du et al. (2014) obtuvieron valores de WSI para distintas leguminosas sin pelar en el rango de 19,44 a 19,14 %.

Por otro lado, el valor de WSI para la HL-PE ha sido de 45,86 %. Este valor es superior al 30,6 % obtenido en el estudio de Ghumman et al. (2016) para harina de lenteja extrusionada en condiciones similares a las de nuestro estudio. Como se ha comentado anteriormente, estas diferencias se pueden asociar a la variedad de lenteja, forma de cultivo y diferencias en el procesado que inciden en la composición nutricional.

WSI indica la cantidad de compuestos solubles liberados durante el proceso de extrusión (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker, & Marson, 2006), puesto que en el proceso se pueden generar moléculas más pequeñas y solubles que pueden estar relacionadas con la dextrinización (Colonna & Mercier, 1983). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el valor de HL-P y el de HL-PE, lo que indicó la probable reorganización interna de sus gránulos de almidón (pregelatinización) que hace que el agua sea menos accesible al interior de las moléculas y no sea soluble.

WSI depende de varios factores, por ejemplo de la cantidad de amilosa y amilopectina presente en el almidón de la harina, del grado de dextrinización que ha tenido lugar en

la harina extrusionada debido al efecto de la temperatura y las fuerzas de cizalla, así como de las interacciones del almidón y proteínas y por los cambios estructurales de otros componentes como las proteínas que se desnaturalizan o las fibras que se solubilizan (Rathod & Annapure, 2016; Jones, Chinnaswamy, Tan, & Hanna, 2000). En este sentido, la reducción en el contenido de proteínas y la menor cantidad de azúcares reductores en la HL-PE son indicativas de que haya tenido lugar la reacción de Maillard, en la que se forman compuestos que no son solubles.

Otros autores han descrito incrementos en el valor de WSI cuando se emplean condiciones severas en los procesos de extrusión, como baja cantidad de agua en la alimentación y temperaturas por encima de 150 °C, o energía mecánica aplicada alta para harina de guisante extrusionada y harina de subproductos de naranja (Ralet et al., 1993; Larrea et al., 2005). Este incremento de la solubilidad se explica por la presencia de compuestos de bajo peso molecular en el producto extruido.

3.3 Efecto del pelado y la extrusión en las propiedades de empastamiento de la harina de lenteja

Los resultados de los parámetros más relevantes de la determinación de las propiedades de empastamiento están recogidos en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de empastamiento de distintos tipos de harina de lenteja. HL-I: integral. HL-P: pelada. HL-PE: pelada y extrusionada.

	HL-I	HL-P	HL-PE
Salida de pico (Pt, min)	6,56 ± 0,14 ^b	5,42 ± 0,14 ^a	6,38 ± 0,20 ^b
Viscosidad máxima (PV, cp)	595 ± 6,08 ^a	1114,33 ± 26,73 ^b	1055,67 ± 30,14 ^b
T^{ura} de empastamiento (PT, °C)	77,25 ± 0,48 ^c	75,93 ± 0,03 ^b	75,15 ± 0,05 ^a
Viscosidad de caída (HS, cp)	589,33 ± 8,96 ^a	1074,33 ± 17,90 ^b	1039,67 ± 28,57 ^b
Estabilidad (BD, cp)	5,67 ± 2,89 ^a	40 ± 9,17 ^b	16 ± 1,73 ^c
Viscosidad final (FV, cp)	1024 ± 3,21 ^a	1917,67 ± 9,02 ^b	1658,33 ± 19,86 ^c
Retrogradación (SB, cp)	435,33 ± 5,86 ^a	843,33 ± 20,55 ^b	618,67 ± 10,69 ^c

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-c} Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos ($p < 0,05$)

Las curvas obtenidas para las tres harinas (Figura 4), como ocurre para otras leguminosas en un ciclo como este, son muy diferentes de las que se obtienen con harina de cereales debido al menor contenido de almidón y mayor contenido de proteínas respecto a los cereales. De esta manera, los gránulos de almidón en las leguminosas se encuentran embebidos por la red proteica que restringe el acceso del agua e impide la hidratación del almidón y por tanto, el desarrollo de la viscosidad (Chung et al., 2008; Otto et al., 1997). Esto se manifiesta en que ninguna de las harinas analizadas en nuestro estudio muestra el característico pico de viscosidad y el valor de la estabilidad es mínimo.

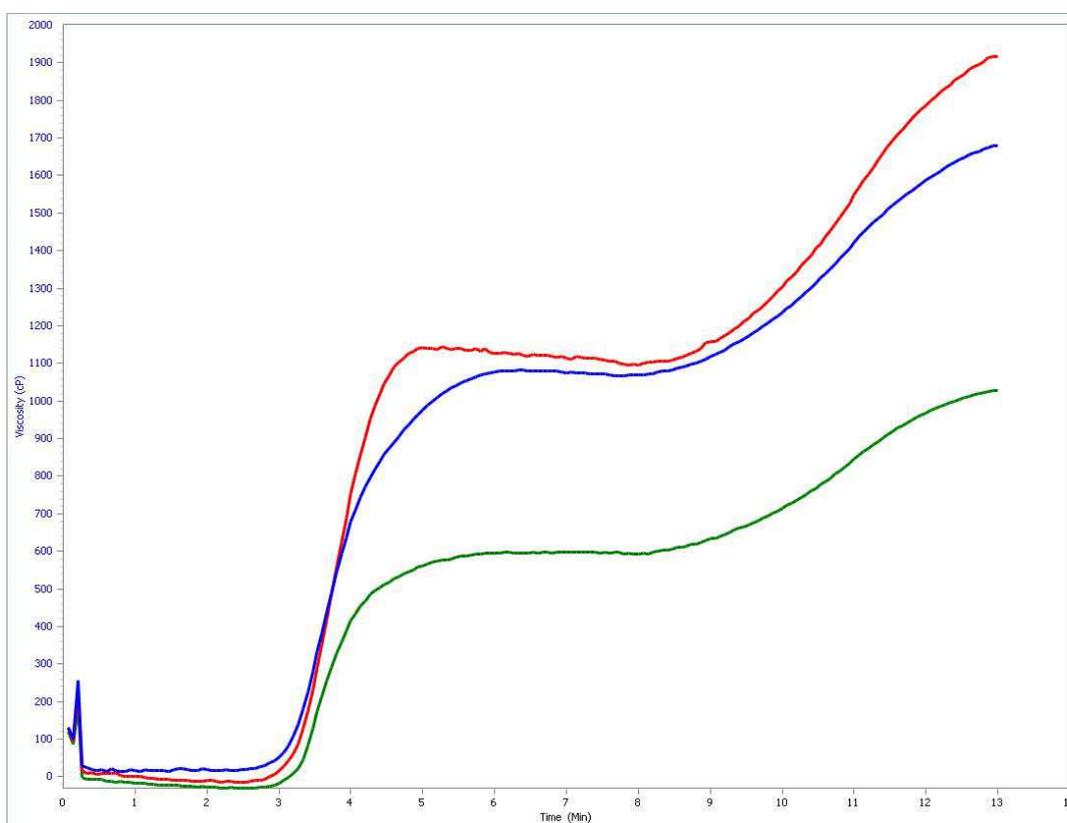


Figura 4. Curvas de empastamiento de la harina de lenteja. Verde: integral HL-I. Rojo: Pelada HL-P. Azul: pelada y extrusionada HL-PE.

Efecto del pelado en las propiedades de empastamiento

El pelado de la lenteja tiene un efecto significativo sobre las propiedades de empastamiento de manera que los valores PV, BD, FV y SB han aumentado y Pt, PT disminuido en la HL-P respecto a HL-I (Tabla 3). En un reciente estudio, Ogundele, Minnaar & Emmambux (2017) también observaron un efecto similar después del pelado

sobre estas propiedades para una leguminosa africana denominada bambara (*Vigna subterranea*). Singh & Singh (2010) obtuvieron resultados similares en trigo duro después de retirar la cascarilla. La eliminación de una parte importante de la fibra y el consecuente efecto de concentración de la cantidad de almidón dan lugar al incremento observado en los valores de las variables de empastamiento.

El *tiempo de salida de pico* de la HL-I es el mayor, con más de un minuto de retraso respecto a la HL-P. Esto es debido al alto contenido en fibra de HL-I que retrasa la hidratación de los almidones durante el ciclo de calentamiento. La fibra se agita durante el análisis, esto abre su estructura y deja los grupos hidroxilo de la celulosa disponibles para la absorción de agua, lo que retrasa el inicio de la gelatinización (Sangnark & Noomhorn, 2003).

El contenido en fibra de la HL-I también explica que esta harina presente los valores más bajos en las distintas medidas de viscosidad: viscosidad máxima, viscosidad de caída y viscosidad final. La fibra disminuye la capacidad de hidratación de la harina y dificulta el proceso de gelatinización del almidón (Sandoval, Farhat, & Fernández, 2009). En la fase de enfriamiento, los almidones de la HL-I se encuentran interferidos por la fibra, de manera que resulta complicada la reorganización y los valores de viscosidad final son más bajos.

La estabilidad de HL-I es también la menor de las tres harinas, debido a un incompleto empastamiento, causado por la reducción en la absorción de agua como resultado de la competencia de la fibra por el agua.

El valor de la retrogradación es similar al que determinaron Ghumman et al. (2016) en harina de lenteja sin pelar (463 cp). Este valor indica que la HL-I, debido a la proporción de fibra dietética que contiene y al consecuente menor valor de WSI (Tabla 2), disminuiría la tendencia a la retrogradación en aquellos productos en los que se añada.

Efecto de la extrusión en las propiedades de empastamiento

La aplicación de la tecnología de extrusión sobre la harina de lenteja pelada modifica las propiedades de empastamiento como se refleja en el valor inferior de estas en HL-PE, aunque, en algunos casos, las diferencias no son significativas (viscosidad máxima, viscosidad de caída y temperatura de empastamiento). Esto se debe al efecto de la disminución de la capacidad de hinchamiento del almidón, a la gelatinización total o parcial del almidón e, incluso, a la degradación del mismo durante el proceso de extrusión. Estos cambios en el almidón van acompañados por otros efectos como la lixiviación de la amilosa o la ruptura de la amilopectina, lo que se traduce en una mayor

absorción de agua por parte del almidón que modifica la curva de viscosidad (Siddiq & Uebersax, 2012).

Otros investigadores también han observado la modificación de las propiedades de empastamiento de las leguminosas después de aplicar un proceso hidrotérmico. Así, Ogundele et al. (2017) observaron como la micronización de harina de bambara (*Vigna subterranea*) disminuía PV, FV, SB y BD.

Las curvas del análisis de viscosidad (RVA) de HL-P y HL-PE (Figura 2) muestran un patrón de comportamiento similar y esto ocurre porque las condiciones del proceso de extrusión no han sido muy agresivas. Se observa un retraso de 1 minuto aproximadamente en el tiempo de salida del pico de HL-PE que puede estar relacionado con una reorganización intragranular, con la compactación de los almidones, la presencia de amilosa liberada del almidón y/o con la formación de complejos lípido-amilosa durante el proceso de extrusión que reducen la accesibilidad del agua a dicha estructura y limita el hinchamiento y solubilización de los gránulos de almidón (Carcea, Cubadda, & Acquistucci, 1992; González & Pérez, 2002). De acuerdo con McCann, Leder, Buckow & Day (2013) los gránulos de almidón de la harina extrusionada son más rígidos y resistentes al calentamiento debido a su capacidad de hinchamiento alterada.

El máximo de viscosidad de HL-PE es algo inferior respecto a HL-P y puede ser atribuido a las propiedades de hidratación de la harina después de la extrusión como consecuencia de la reorganización interna en la relación amilosa-amilopectina.

El menor valor de WSI de HL-PE respecto a HL-P explica también estos resultados, ya que se utiliza como *índice de la extensión de la degradación molecular* durante el proceso y está correlacionado con la viscosidad intrínseca del almidón extrusionado (Ollet, Parker, Smith, Miles, & Mories, 1990). Durante el tratamiento de extrusión, las proteínas de la harina se pueden desnaturalizar y se induce la formación de entrecruzamientos entre ellas a través de fuerzas electrostáticas y puentes disulfuro (Tang & Ma, 2009). Estas formaciones embeben al almidón y no permiten que se hidrate durante el ciclo en el RVA modificando las propiedades de empastamiento.

La *viscosidad de caída* está relacionada con la capacidad de las moléculas de orientarse en la dirección de agitación para disminuir la resistencia del fluido a la agitación y con la lixiviación de la amilosa durante el proceso de extrusión (Menegassi, Pilosof, & Areas, 2011). Los almidones después del proceso de extrusión absorben más agua como se ha podido observar con el valor de WAI (Tabla 2), se hinchan y ocupan más volumen disminuyendo la viscosidad. Así, la diferencia entre la viscosidad máxima alcanzada y la mínima antes de la retrogradación para HL-PE es un 60 % inferior que en HL-P. El valor de la *estabilidad* indica que HL-PE es una harina con una gran capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón y va a formar geles más estables.

El valor de *setback* o *retrogradación* mide la capacidad de gelificación de la pasta que contiene almidón y se utiliza como indicador de firmeza en productos cocidos. En este estudio, la harina de lenteja antes de la extrusión presenta un valor más elevado (843 cp de HL-P frente a 618,67 cp de HL-PE) indicando que la HL-PE formará geles con textura más suave que los geles de HL-P. González & Pérez (2002) observaron esta misma tendencia al aplicar microondas y extrusión sobre almidones de lenteja.

La tendencia a la retrogradación del almidón depende de las proporciones relativas de la amilosa y amilopectina. Es muy probable que estas proporciones se hayan modificado después del proceso de extrusión y así se refleja en un valor de retrogradación más bajo. El menor valor de HL-PE para la retrogradación está relacionado con el valor de WAI más alto de esta harina frente a la harina antes de la extrusión.

La disminución en los valores de la estabilidad y de la retrogradación de la harina extrusionada indican un comportamiento estable de estas harinas cuando se utilizan en condiciones de calentamiento y fuerzas de fricción y una textura más suave en relación a la harina sin extrusionar. La incorporación de la harina en productos de alimentación, tendría un efecto de menor sinéresis durante el almacenamiento en los productos que lleven esta harina y, por tanto, supone una ventaja para su utilización.

Hay diferencia significativa en el valor de la *viscosidad final* de la HL-PE y HL-P. También ha sido descrita por Ai, et al. (2016) una disminución en el valor de la viscosidad final para harina de alubia extrusionada. Cuando la pasta se enfría, la capacidad de aumentar la viscosidad está gobernada por la tendencia del almidón a reasociarse. En el caso de HL-PE, hay una parte de almidón dañado o degradado y, probablemente, amilosa vertida al medio que obstruye el hinchamiento del almidón, por lo que la viscosidad final que alcanza HL-PE es menor que en la HL-P.

3.4 Efecto del pelado y la extrusión en la morfología de la harina de lenteja

La determinación de la ultraestructura se utiliza habitualmente para observar la forma y superficie característica de los almidones.

En las siguientes figuras (Figuras 5 a 8) se muestra la morfología de los gránulos de almidón de la harina de lenteja antes y después de la extrusión, examinados mediante microscopía electrónica de barrido.

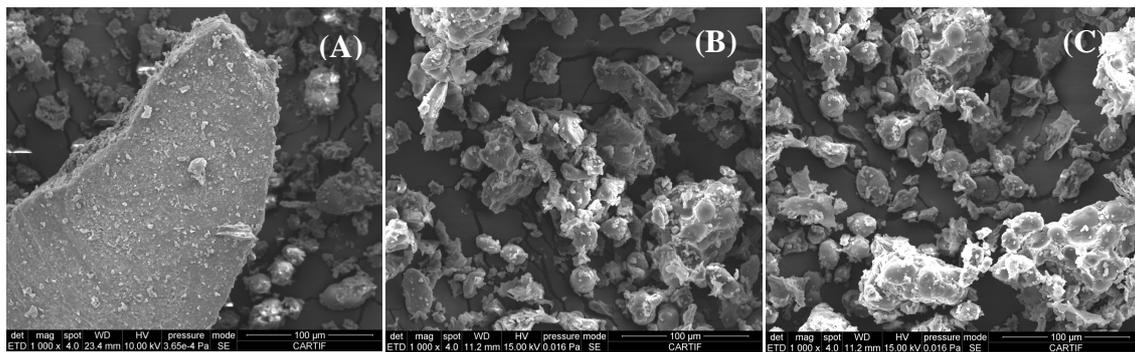


Figura 5. Micrografías de harina de lenteja obtenidas a 1.000x aumentos. A: integral. B: pelada. C: pelada y extrusionada.

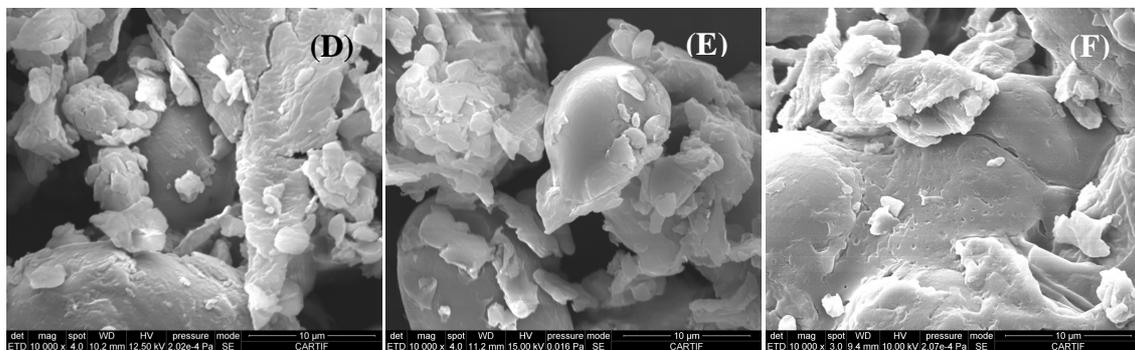


Figura 6. Micrografías de harina de lenteja obtenidas a 10.000x aumentos. D: integral. E: pelada. F: pelada y extrusionada.

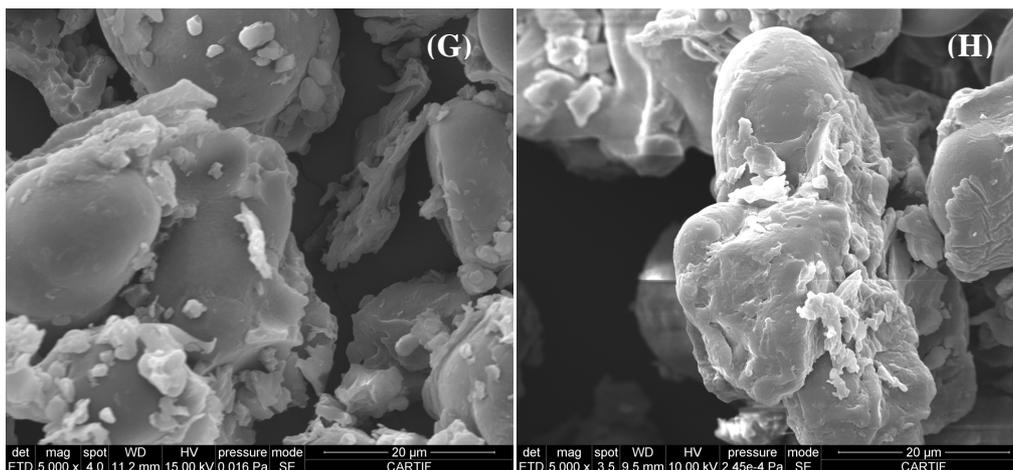


Figura 7. Micrografías de harina de lenteja obtenidas a 5.000x aumentos. G: pelada. H: pelada y extrusionada.

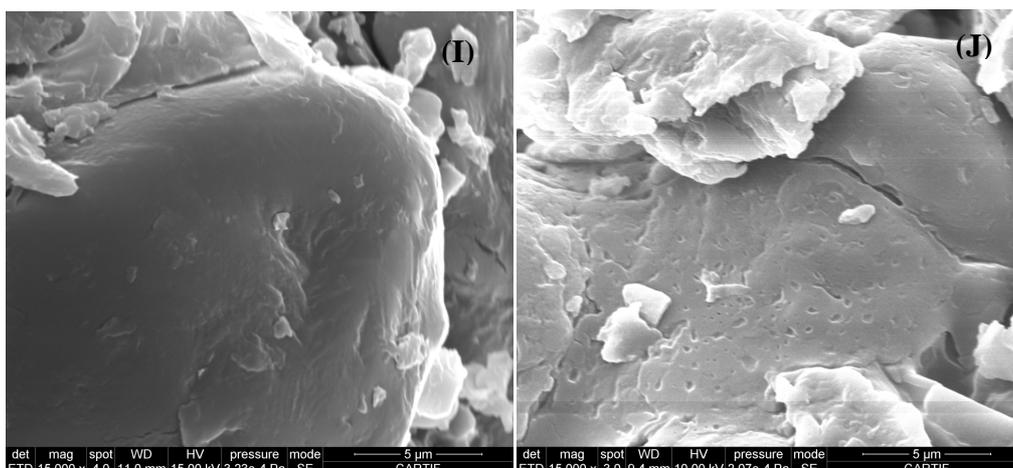


Figura 8. Micrografías de harina de lenteja obtenidas a 15.000x aumentos. I: pelada. J: pelada y extrusionada.

En cuanto a las imágenes de HL-I, se observa una importante presencia de fibra (Figura 5, imagen A) y como los almidones se encuentran dentro un entramado de fibras y proteínas (Figura 6, imagen D). La presencia de fibra y minerales alrededor de los gránulos de almidón ha sido descrita por otros autores (Aguilera, Esteban, Benítez, Mollá, & Martín-Cabrejas, 2009; Sotomayor, Frías, Fornal, & Sadowska, 1999).

En las figuras 6 a 8, en las micrografías E, G e I se pueden apreciar los gránulos de almidón como la forma más representativa de la harina de lenteja pelada (HL-P). Estos presentan una estructura exterior lisa y de diferentes formas, desde ovoides hasta esféricas y algunos de ellos con forma de “bote”. En la Tabla 4 se recogen las características de los gránulos del almidón de lenteja descritas por varios investigadores. Las formas observadas en este estudio concuerdan con las descritas por Ma et al. (2011). El tamaño de dichos gránulos oscila entre 3 y 30 μm de ancho y de 3 a 33 μm de largo. Estos datos concuerdan con lo observado por Ratnayake, Hoover & Warkentin (2002) en el estudio de almidones de lenteja en el que determinaron tamaños de 6 a 32 μm de ancho y de 6 a 37 μm de largo con formas oval, redondeada o elíptica. Batthy (1988) observó que el tamaño de los gránulos de almidón de lenteja variaba entre 10-25 μm de ancho y 15-30 μm de largo y tenían forma esférica y arriñonada. González & Pérez (2002) definieron la forma de los almidones nativos de lenteja como esencialmente elípticos, con forma arriñonada o de bote, con un ancho entre 17,7 y 25,8 μm y una longitud entre 22,6 y 40 μm sin presencia de compuestos granulares. La mayoría de los almidones del estudio de Kaur et al. (2010) para cuatro cultivares diferentes de lentejas, se sitúan entre 11-36 μm , salvo unos pocos que están ente 1-7,5 μm . El tamaño medio era de 15,9 μm y 17,4 μm .

Tabla 4. Datos morfológicos del almidón de lenteja en distintas referencias bibliográficas.

Tipo de harina	Tamaño gránulo (ancho / largo) μm	Forma de gránulos	Referencia
Almidones de lenteja	6 a 32 / 6 a 37	oval, redondeada o elíptica	Ratnayake et al. (2002)
Almidón de lenteja	10 a 25 / 15 a 30	esférica y arriñonada	Batthy (1988)
Almidones nativos de lenteja	17,7 a 25,8 / 22,6 a 40	elípticos, con forma arriñonada o de bote	González & Pérez (2002)
Cuatro cultivares diferentes de lenteja	11 a 36		Kaur et al. (2010)

En las imágenes E y G de HL-P (figuras 5 y 6) se pueden observar partículas con forma globular o irregular unidas a los gránulos de almidón o entre ellos, estas partículas corresponden con cuerpos proteicos procedentes de la matriz proteica disgregados durante el molido de la harina. También se observan partículas de fibra.

En las micrografías F, H y J de la harina de lenteja después del proceso de extrusión (HL-PE) (Figuras 5 a 7) es posible todavía observar los gránulos de almidón aunque con características estructurales modificadas. Las imágenes revelan una estructura más porosa que la de HL-P, los gránulos aparecen más rugosos y con zonas erosionadas y/o pequeñas fisuras e incluso más material extracelular amorfo en la superficie (amilosa) que ofrece ese aspecto rugoso. Este hecho puede traducirse en mejores propiedades para ligar agua por parte de los almidones y de los residuos de aminoácidos resultantes de la desnaturalización durante el proceso de extrusión. La amilosa puede lixiviar al romperse los gránulos de almidón (gelatinización) y posteriormente experimentar aglomeración durante el enfriamiento (retrogradación).

Por otra parte, el tamaño de los gránulos de almidón está ligeramente aumentado. Tanto el tamaño como la forma de los gránulos pueden afectar a las propiedades fisicoquímicas, como la gelatinización y el empastamiento, la susceptibilidad enzimática, la cristalinidad o la solubilidad (Lindeboom, Chang, & Tyler, 2004). Los gránulos de HL-PE son más grandes que los de HL-P y esto afecta a la susceptibilidad a la ruptura por la agitación porque las fuerzas entre los gránulos no son estables (Wang, Domoney, Hedley, Casey, & Grusak, 2003).

También se observa que los gránulos de almidón y los cuerpos proteicos se encuentran prácticamente fusionados después de la extrusión (figura 6, imagen H). Este efecto ha sido observado anteriormente por Sotomayor et al. (1999). Durante el proceso de

extrusión tiene lugar la pérdida de la solubilidad de proteínas debido a la desnaturalización que resulta de los cambios estructurales que activan los grupos hidrofílicos tales como -OH, -NH₂, -COOH y -SH para formar enlaces cruzados con el almidón (Bencini, 1982; Narayana & Narasiga, 1982). También se observa una ligera reducción de los cuerpos proteicos que estaban unidos al almidón en la HL-P.

La gelatinización así como la formación de enlaces proteína-almidón ocurre con gran facilidad en la harina durante los tratamientos hidrotérmicos puesto que los almidones y proteínas están muy expuestos e íntimamente mezclados. Así mismo, en la harina extrusionada algunos cuerpos proteicos se presentan en forma de copos probablemente debido a esa mezcla de proteína-almidón provocada por la pregelatinización. Sin embargo, los almidones no se muestran modificados en su forma aunque sí en tamaño, algo aumentado debido al agua absorbida durante el proceso de extrusión.

Camire et al. (1990) concluyeron que los cambios morfológicos durante la extrusión se traducen en cambios en las propiedades físico-químicas y en el grado de gelatinización de los gránulos de almidón. Así ocurre con las propiedades analizadas y este incremento en el tamaño está de acuerdo con el mayor valor de WAI y menor viscosidad final respecto a la HL-P. Como se ha comentado anteriormente, la gelatinización del almidón y las modificaciones en la superficie del gránulo tras el proceso de extrusión permiten que este absorba más agua. Así mismo, las proteínas después del proceso de extrusión se vuelven más hidrofóbicas, por tanto su capacidad para disolverse en agua disminuye.

3.5 Efecto del pelado y la extrusión en el color de la harina de lenteja

Los valores de los parámetros de color de los distintos tipos de harina de lenteja se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores L*, a*, b* de distintos tipos de harina de lenteja (HL-I: integral. HL-P: pelada. HL-PE: pelada y extrusionada).

	L*	a*	b*
HL-I	73,67 ± 0,01 ^a	3,04 ± 0,01 ^b	14,80 ± 0,00 ^a
HL-P	90,63 ± 0,01 ^b	-0,21 ± 0,01 ^a	18,04 ± 0,02 ^b
HL-PE	89,64 ± 0,08 ^b	-0,95 ± 0,01 ^a	21,87 ± 0,01 ^b

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre procesos (p<0,05)

El proceso de pelado de la harina, se traduce en un incremento de la luminosidad (L^*), un descenso en la tonalidad rojiza (a^*) hacia tonalidad verdosa y un incremento en la tonalidad amarilla (b^*) en la harina de lenteja pelada que puede ser atribuible a que las capas externas son más ricas en pigmentos oscuros.

No se aprecian diferencias significativas en los parámetros de color entre la harina de lenteja antes y después de la extrusión. Las condiciones utilizadas en el proceso de extrusión no han modificado los pigmentos de color propios de la harina y no ha favorecido la incidencia de la reacción de Maillard entre grupos amino libres de las proteínas y grupos carbonilo de azúcares libres de manera significativa.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo ha demostrado que el pelado de la lenteja antes de convertirla en harina y la extrusión de harina de lenteja pelada son dos procesos que afectan a las propiedades nutricionales y funcionales.

El pelado produce efectos importantes en la composición nutricional y en las propiedades fisicoquímicas. En concreto supone una reducción de más de la mitad del contenido original en fibra dietética total y de hierro. Sin embargo, se obtiene una mejora en las propiedades de empastamiento, un incremento en el índice de solubilidad en agua (WSI) y mejores propiedades de color para poder incluir esta harina en productos de alimentación.

En cuanto a la aplicación de la extrusión sobre la harina de lenteja, en las condiciones de proceso utilizadas en este estudio, produce una modificación de la microestructura del almidón y de otros componentes de la harina que se traducen en una mejora en el valor nutricional y unas propiedades tecnológicas mejoradas.

La harina de lenteja extrusionada se encuentra pregelatinizada, las proteínas se han desnaturalizado parcialmente, se ha incrementado la capacidad de absorción de agua, reducido la solubilidad, disminuido la viscosidad y tiene menor tendencia a la retrogradación lo que resulta interesante desde el punto de vista industrial puesto que incrementaría la vida útil de los productos en los que se incorpore mejorando la actual limitación en su utilización.

Desde el punto de vista nutricional, con la aplicación de esta tecnología, se consigue un aumento de la fibra dietética soluble que ofrece ventajas tecnológicas para incrementar el uso de la harina. La capacidad de absorción de agua es una de las propiedades funcionales de las harinas relacionada con la formulación en el procesado industrial y con la calidad de los productos finales. Así, por ejemplo, la harina de lenteja después de la extrusión podría formar un gel más fuerte. Esta característica es utilizada en la industria para rebozados, donde interesa que la cobertura forme una película más crujiente en el momento de la fritura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC International (2012). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 11th edition. Methods 44-17.01 (Moisture-Air-Oven Method), 46-30.01 (protein), 61-02.01 (RVA). The Association: St. Paul, MN, USA.

Adebowale, K., & Lawal, O. (2004). A Comparative study of the functional characteristics of some underutilized African Legume flours: Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), Jack bean (*Canavalia ensiformis*) and Mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *Food Research International*, 37, 355-365.

Adsule, R., Kadam, S. S., & Leung, H. (1989). Lentil. En D. Salunkhe, & S. Kadam, *Handbook of world food legumes: nutritional chemistry, processing technology and utilization* (págs. 133-152). Boca Ratón, Florida: CRC.

Aguilar, J., Esparza, J.R., Meza, J.A., Candelas, M.G., Aguilera M., & Ramírez, P. (2011). Effect of lentil (*Lens culinaris*) flour over rheological and baking properties of wheat flour. *Ciencia@UAQ.*, 4(2), 4-9.

Aguilera, Y., Esteban, R., Benítez, V., Mollá, E., & Martín-Cabrejas, M. (2009). Starch, functional properties, and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10682-10688.

Ahmed, J., Taher, A., Mulla, M. Z., Al-Hazza, A., & Luciano, G. (2016). Effect of sieve particle size on functional, thermal, rheological and pasting properties of Indian and Turkish lentil flour. *Journal of Food Engineering*, 186, 34-41.

Ai, Y., Cichy, K. A., Harte, J. B., Kelly, J. D., & Ng, P. K. (2016). Effects of extrusion cooking on the chemical composition and functional properties of dry common bean powders. *Food Chemistry*, 211, 538-545.

Akinjayeju, O., & Bisiriyu, K. T. (2004). Comparative studies of some properties of undehulled, mechanically dehulled and manually dehulled cowpea (*Vigna unguiculata* Walp. L.) flours. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(4), 355-360.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L., Jr. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*, 14:4-7; 11-12.

Anderson, R. (1982). Water absorption and solubility and amylography characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chemistry*, 59, 265-269.

Alonso, R., Aguirre, A., & Marzo, F. (2000). Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrientes and in vitro digestibility of protein and

digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, 68, 159-165.

Alonso, R., Orue, E., & Marzo, F. (1998). Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. *Food Chemistry*, 63(4), 505-512.

AOAC (1995). Methods 923.03, 985.29, 993.19 & 991.42 *Official Methods of Analysis*, 16th Edition. Washington, DC. Association of Official Analytical Chemist.

Aryee, F. N. A., Oduro, I., Ellis, W. O., & Afuakwa, J. J. (2006). The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. *Food Control*, 17(11), 916-922.

Asif, M., Rooney, L. W., Ali, R., & Riaz, M. N. (2013). Application and opportunities of pulses in food system: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(11), 1168-1179.

Bahnassey, Y., & Khan, K. (1986). Fortification of spaghetti with edible legumes. II. Rheological, processing and quality evaluation studies. *Cereal Chemistry*, 63, 216-219.

Batthy, R. (1988). Composition and quality of lentil (*Lens culinaris* Medik); a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(2), 144-160.

Beal, L., & Mehta, T. (1985). Zinc and phytate distribution in peas. Influence of heat treatment, germination, pH, substrate, and phosphorus on pea phytate and phytase. *Journal of Food Science*, 50(1), 96-100.

Bencini, M. (1982). Functional properties of drum-dried chickpea flours. *Journal of Food Science*, 51, 1518-1521.

Berrios, D., Swanson, B., & Cheong, W. (1998). Structural characteristics of stored black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scanning*, 20(5), 410-417.

Berrios, J., Morales, P., Camara, M., & Sánchez-Mata, M. (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, 43(2), 531-536.

Bhatnagar, S., & Hanna, M. (1994). Amylose-lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches. *Cereal Chemistry*, 71(6), 582-586.

Bhatty, R., Nielsen, M., & Slinkard, A. (1984). Cooking quality of lentils grown in the Canadian Prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 64(1), 17-24.

Bressani, R. (1983). Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. El amaranto y su potencial. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 3.

Bishnoi, S., & Khetarpaul, N. (1994). Saponin content and trypsin inhibitor of pea cultivars: Effect of domestic processing and cooking methods. *Journal of Food Science and Technology*, 31, 73-76.

Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43, 414-431.

Camire, M. E. (2000). Chemical and nutritional changes in food during extrusion. *Extruders in Food Applications*, 127-147. CRC Press, ISBN 978-156-6767-79-2, Boca Raton, United States of America.

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.

Calloway, D. H., & Murphy, E. L. (1968). The use of expired air to measure intestinal gas formation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 150(1), 82-95.

Carcea, M., Cubadda, R., & Acquistucci, R. (1992). Physiochemical and rheological characterization of sorghum starch. *Journal of Food Science*, 57(4), 1024-1025.

Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, 20(4), 263-283.

Chel-Guerrero, L., Perez-Flores, V., Betancur-Ancona, D., & Davila-Ortiz, G. (2002). Functional properties of flours and protein isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia ensiformis* seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 584-591.

Choi, I. D., Phillips, R. D., & Resurreccion, A. V. A. (2007). Consumer based optimization of a third generation product made from peanut and rice flour. *Journal of Food Science*, 72(7), 443-449.

Chung, H. J., Liu, Q., Hoover, R., Warkentin, T. D., & Vandenberg, B. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. *Food Chemistry*, 111(2), 316-321.

Commission International De L'Eclairage (CIE). (s.f.). Recommendationd on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Supplement No. 2 to CIE Publication No.15. Colorimetry, Bureau Central de la CIE, Paris, 1978.

Colonna, P., & Mercier, C. (1983). Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. *Carbohydrate Polymers*, 3(2), 87-108.

- Cook, D., & Gidley, M. (1992). Loss of crystallinity and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate Research*, 227, 103-112.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527-1534.
- Craig, S., Maningat, C., Seib, P., & Hosene, R. (1989). Starch paste clarity. *Cereal Chemistry*, 66, 173-182.
- Damodaran, S. (1990). Interfaces, protein films, and foams. *Advances in Food and Nutrition Research*, 34, 1-79.
- De la Hera, E., Gómez, M., & Rosell, C. (2013). Particle size distribution affecting the starch enzymatic digestion and hydration of rice flour carbohydrates. *Carbohydrate Polymers*, 98, 421-427.
- De la Hera, E., Ruiz-París, E., Oliete, B., & Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT-Food Science and Technology*, 49(1), 48-54.
- Deshpande, S. S., & Cheryan, M. (1983). Changes in phytic acid, tannins and trypsin inhibitory activity on soaking of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nutrition Reports International*, 27(2), 371-377.
- Dhinsa, K., Sood, D., & Chaudhary, M. (1985). Nutritional evaluation of some varieties of lentil. *The Indian Journal of Nutrition and Dietetics*, 22, 186-189.
- Ding, Q. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 283-289.
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148.
- Dogan, H., & Karwe, M. (2003). Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9(2), 101-114.
- Du, S.K., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J.L. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 308-313.
- Dueñas, M., Sarmiento, T., Aguilera, Y., Benitez, V., Mollá, E., Esteban, R. M., & Martín-Cabrejas, M. A. (2016). Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 66, 72-78.

El-Dash, A., Gonzales, R., & Ciol, M. (1983). Response surface methodology in the control of thermoplastic of starch. *Journal of Food Engineering*, 2(2), 129-152.

FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://www.fao.org/pulses-2016/es/>

Fernandez, M., Aranda, P., Lopez-Jurado, M., García-Fuentes, M., & Urbano, G. (1997). Bioavailability of phytic acid phosphorus in processed *Vicia faba* L. var. Major. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45, 4367-4371.

Fornal, L., Soral-Smietana, M. dan Szipenelowski, J. (1987). Chemical characteristics and physicochemical properties of the extruded mixtures of cereal starches. *Starch-Stärke*. Vol. 39. No. 2. pp.75-78. ISSN 0038-9056.

García, E. L. (1993). A comparative study of normal and hard-to-cook brazilian common beans (*Phaseolus vulgaris*): ultrastructural and histochemical aspects. *Food Structure*, 12, 147-154.

Ghumman, A., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinari*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 137-144.

Gómez, M., & Aguilera, J. (1983). Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. *Journal of Food Science*, 48(2), 378-381.

González, Z., & Pérez, E. (2002). Evaluation of lentil starches modified by microwave irradiation and extrusion cooking. *Food Research International*, 35(5), 415-420.

Gujaska, E., & Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science*, 55(2), 466-469.

Gujaska, E., & Khan, K. (1991). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science*, 56(2), 431-435.

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

Han, J. J., Janz, J. A., & Gerlat, M. (2010). Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International*, 43(2), 627-633.

Hahn, D. J. (1977). Light and scanning electron microscopic studies on dry beans; intracellular gelatinization of starch in cotyledons of large lima beans (*Phaseolus lunatus*). *Journal of Food Science*, 42, 1208-1212.

Holland, B., Welch, A., Unwin, I., Buss, D., Paul, A., & Southgate, D. (1991). McCance and Widdowson's *The Composition of Foods*. 5th edn. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Hoover, R., Hannouz, D., & Sosulski, F. W. (1988). Effects of hydroxypropylation on thermal properties, starch digestibility and freeze thaw stability of field pea (*Pisum sativum* cv Trapper) starch. *Starch-Stärke*, 40(10), 383-387.

Hoover, R., & Sosulski, F. (1991). Composition, structure, functionality, and chemical modification of legume starches: a review. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69, 79-92.

Hu, F. (2003). Plant-based foods and prevention of cardiovascular disease: an overview. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 544-551.

Hulse, J., Rachie, K., & Billingsley, L. (Edits.). (1977). Breeding strategy for the nutritional improvement of pulses. In: *Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders*. Ottawa, Canada: International Development Research Centre.

Jacobs Jr, D., & Gallaher, D. (2004). Whole grain intake and cardiovascular disease: a review. *Current Atherosclerosis Reports*, 6(6), 415-423.

Jones, D., Chinnaswamy, R., Tan, Y., & Hanna. (2000). Physicochemical. *Cereal Foods World*, 45(4), 164-168.

Jood, S., Bishnoi, S., & Sharma, A. (1998). Chemical analysis and physicochemical properties of chickpea and lentil cultivars. *Food/Nahrung*, 42(02), 71-74.

Joshi, M., Aldred, P., Panozzo, J., Kasapis, S., Adhikari, R., & Adhikari, B. (2013). Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*, 2, 1484-1496.

Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L) cultivars. *Food Chemistry*, 91, 403-411.

Kaur, M., Sandhu, K., & Lim, S. (2010). Microstructure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens culinaris*) cultivars. *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 349-355.

Khalil, A., & Mansour, E. (1995). The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. *Food Chemistry*, 54(2), 177-182.

Kim, J., Tanhehco, E., & Ng, P. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food Chemistry*, 99(4), 718-723.

- Kerr, W. L., Ward, C. D. W., McWatters, K. H., & Resurreccion, A. V. A. (2000). Effect of milling and particle size on functionality and physicochemical properties of cowpea flour. *Cereal Chemistry*, 77(2), 213-219.
- Kochhar, N., Walker, A., & Pike, D. (1988). Effect of variety on protein content, amino acid composition and trypsin inhibitor activity of cowpeas. *Food Chemistry*, 29(1), 65-78.
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2003). Food-derived bioactive peptides-opportunities for designing future foods. *Current Pharmaceutical Design*, 9(16), 1297-1308.
- Larrea, M., Chang, Y., & Martinez-Bustos, F. (2005). Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 38(3), 213-220.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392-408.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch-Stärke*, 56(3-4), 89-99.
- Liu, H., Ramsden, L., & Corke, H. (1997). Physical properties and enzymatic digestibility of acetylated ae, wx, and normal maize starch. *Carbohydrate Polymers*, 34(4), 283-289.
- Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534-2544.
- Manoharkumar, B., Seiler, K., & Gerstenkorn, P. (1978). Pressure extrusion of indian maize and maize-legume composite flours. *Journal of Food Science and Technology*, 15, 173-176.
- MAPAMA (2016) Subdirección General de Cultivos Herbáceos e Industriales con datos de Avances de producciones agrícolas. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. SGT (MAPAMA).http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/produccionesagricolas/sup_proteag_espana_201617_tcm7-362820.pdf
- Martín-Cabrejas, M.A., Díaz, M.F., Aguilera, Y., Benítez, V. Mollá, E. & Esteban, R.M. (2008). Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. *Food Chemistry*, 107(3), 1045-1052.
- Martín-Cabrejas, M. A., Aguilera, Y., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S., & Esteban, R. M. (2009). The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*, 114(3), 1063-1068.

Martín-Cabrejas, M. A., Jaime, L., Karanja, C., Downie, A. J., Parker, M. L., Lopez-Andreu, F. J., Maina, G., Esteban, R.M., Smith, A.C., & Waldron, K. W. (1999). Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 1174-1182.

Martinez, B. F., Figueroa, J. D. C., & Larios, S. A. (1996). High lysine extruded products of quality protein maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71(2), 151-155.

Mason, W. (2009). Starch in food use. *Starch: Chemistry and Technology*. Third Edition, chapter 20, 746-772.

Mason, W. R., & Hosney, R. C. (1986). Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry*, 63(5), 436-441.

McCann, T. H., Leder, A., Buckow, R., & Day, L. (2013). Modification of structure and mixing properties of wheat flour through high-pressure processing. *Food Research International*, 53(1), 352-361.

Meiners, C., Derise, N., Lau, H., Crews, M., Ritchey, S., & Murphy, E. (1976). The content of nine mineral elements in raw and cooked mature dry legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 24(6), 1126-1130.

Menegassi, B., Pilosof, A., & Areas, J. (2011). Comparison of properties of native and extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L. BRS Alegria) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 44(9), 1915-1921.

Milán-Carrillo, J., Reyes-Moreno, C., Armienta-Rodelo, E., Carábez-Trejo, A., & Mora-Escobedo, R. (2000). Physicochemical and nutritional characteristics of extruded flours from fresh and hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L). *LWT-Food Science and Technology*, 33(2), 117-123.

Mildner-Szkudlarz, S., Bajerska, J., Zawirska-Wojtasiak, R., & Górecka, D. (2013). White grape pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on physical and nutraceutical characteristics of wheat biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 389-395.

Mouser, F., Suckow, P., & Kulikowski, W. (1983). Analytische bestimmung von trebern für ballaststoffen in brot, obst und gemüse. *Getreide, Mehl und Brot*, 37, 380-382.

Naivikul, O., & D'Appolonia, B. (1979). Carbohydrates of legume flours compared with wheat flour. II. Starch. *Cereal Chemistry*, 56(1), 24-28.

Naivikul, O., & D'Appolonia, B. (1978). Comparison of legume and wheat flour carbohydrates.1. Sugar analysis. *Cereal Chemistry*, 55, 913-918.

- Narayana, K., & Narasiga, R. (1982). Functional properties of raw and heat processed winged bean (*Psopocarpus tetragonolobus*) flour. *Journal of Food Science*, 47(5), 1534-1538.
- Niba, L. (2002). Resistant starch: a potential functional food. *Nutrition and Food Science*, 32, 62-67.
- Nti, C. (2009). Effects of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) variety and processing on the quality and consumer appeal for its products. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(11), 2234-2242.
- Ogundele, O. M., Minnaar, A., & Emmambux, M. N. (2017). Effects of micronisation and dehulling of pre-soaked bambara groundnut seeds on microstructure and functionality of the resulting flours. *Food Chemistry*, 214, 655-663.
- Ollet, A. L., Parker, R., Smith, A. C., Miles, M. J., & Morires, V. M. (1990). Macro structural changes during the twin screw extrusion cooking of maize grits. *Carbohydrate Polymers*, 13, 69-84.
- Onyango, C., Noetzold, H., Ziems, A., Hofmann, T., Bley, T., & Henle, T. (2005). Digestibility and antinutrient properties of acidified and extruded maize–finger millet blend in the production of uji. *LWT-Food science and Technology*, 38(7), 697-707.
- Otto, T., Baik, B., & Czuchajowska, Z. (1997). Microstructure of seeds, flours, and starches of legumes. *Cereal Chemistry*, 74(4), 445-451.
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., & Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43(2), 634-641.
- Pérez-Navarrete, C., González, R., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Azcon, D. (2006). Effect of extrusion on nutritional quality of maize and Lima bean flour blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2477-2484.
- Philips, G. (2013). Dietary fibre: A chemical category or a health ingredient? *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 1(1), 3-9.
- Poltronieri, F., Areas, J. A. G., & Colli, C. (2000). Extrusion and iron bioavailability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Chemistry*, 70(2), 175-180.
- Prinyawiwatkul, W., Beuchat, L. R., & McWatters, K. H. (1993). Functional property changes in partially defatted peanut flour caused by fungal fermentation and heat treatment. *Journal of Food Science*, 58(6), 1318-1323.

Ralet, M., Della Valle, G., & Thibault, J. (1993). Raw and extruded fibre from pea hulls. Part I: Composition and physico-chemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 20(1), 17-23.

Ranjontra, G., & Gelroth, J. (1988). Soluble and total dietary fiber in white bread. *American Association of Cereal Chemistry*, 65(2), 117-124.

Rathod, R., & Annapure, U. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 114-123.

Ratnayake, W., Hoover, R., & Warkentin, T. (2002). Pea starch: Composition, structure and properties. A review. *Starch-Stärke*, 54(6), 217-234.

Reddy, N. R., Salunkhe, D. K., & Sharma, R. P. (1980). Flatulence in rats following ingestion of cooked and germinated black gram and a fermented product of black gram and rice blend. *Journal of Food Science*, 45(5), 1161-1164.

Reddy, N., Pierson, M., Sathe, S., & Salunkhe, D. (1984). Chemical, nutritional and physiological aspects of dry bean carbohydrates. A review. *Food Chemistry*, 13, 25-68.

Reyes-Moreno, C., Romero-Urias, C. A., Milán-Carrillo, J., & Gómez-Garza, R. M. (2000). Chemical composition and nutritional quality of fresh and hardened chickpea (*Cicer arietinum* L.) after the solid state fermentation (SSF). *Food Science and Technology International*, 6(3), 251-258.

Riaz, M. (2006). *Soy Applications in Foods*. London, CRC. Taylor and Francis.

Salunkhe, D. K., Chavan, J. K., Kadam, S. S., & Reddy, N. R. (1986). Pigeon pea as an important food source. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 23(2), 103-145.

Sandoval, A., Farhat, I., & Fernández, Q. (2009). Rheological modeling of cassava (*Manihot esculenta* cranz) starches and flours during extrusion process. *Vitae*, 14 (1), 6-15.

Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 80(2), 221-229.

Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33-39.

Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1992). Formation of resistant starch in deproteinized and no deproteinized beans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46(2), 109-111.

Schneeman, B. (1987). Soluble vs insoluble fiber: different physiological responses. *Food Technology*, 41, 81-82.

Shams, H., Tahbaz, F., & Abadi, A. (2010). Effects of cooked lentils on glycemic control and blood lipids of patients with type 2 diabetes. *ARYA Atherosclerosis Journal*, 4(1), 1-5.

Shevkani, K., Singh, N., Kaur, A., & Rana, J. C. (2014). Physicochemical, pasting, and functional properties of amaranth seed flours: effects of lipids removal. *Journal of Food Science*, 79(7), 1271-1277.

Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J. B., & Dolan, K. D. (2010). Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT-Food Science and Technology*, 43(2), 232-237.

Sidding, M., & Uebersax, M. (2012). Dry beans and pulses production and consumption. An overview. *Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition*. Ames: John Wiley & Sons, 1-22.

Singh, U. (1993). Protein quality of pigeon pea as influenced by seed polyphenols and cooking process. *Plant Food and Human Nutrition*, 43, 171-179.

Singh, U. (2001). Functional properties of grain legume flour. *Journal of Food Science and Technology*, 38 (3), 191-199.

Singh, N., Kaur, N., Rana, J. C., & Sharma, S. K. (2010). Diversity in seed and flour properties in field pea (*Pisum sativum*) germplasm. *Food Chemistry*, 122(3), 518-525.

Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(8), 916-929.

Singh, U., & Singh, B. (1992). Tropical grain legumes as important human foods. *Economic Botany*, 46(3), 310-321.

Singh, S., & Singh, N. (2010). Effect of debranning on the physico-chemical, cooking, pasting and textural properties of common and durum wheat varieties. *Food Research International*, 43(9), 2277-2283.

Singh, S., Singh, H. D., & Sikka, K. C. (1968). Distribution of nutrients in the anatomical parts of common Indian pulses. *Cereal Chemistry*, 45, 13-18.

Singh, U., Voraputhaporn, W., Rao, P. V., & Jambunathan, R. (1989). Physicochemical characteristics of pigeonpea and mung bean starches and their noodle quality. *Journal of Food Science*, 54(5), 1293-1297.

Sotomayor, C., Frías, J., Fornal, J., & Sadowska, J. (1999). Lentil starch content and its microscopical structure as influenced by natural fermentation. *Starch-Stärke*, 51(5), 152-156.

Su, H. L., & Chang, K. C. (1995). Physicochemical and sensory properties of dehydrated bean paste products as related to bean varieties. *Journal of Food Science*, 60(4), 794-797.

Tharanathan, R., & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes: a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 507-518.

Tang, C. H., & Ma, C. Y. (2009). Heat-induced modifications in the functional and structural properties of vicilin-rich protein isolate from kidney (*Phaseolus vulgaris* L.) bean. *Food Chemistry*, 115(3), 859-866.

Uebersax, M. A., & Zabik, M. E. (1986). Processing and use of dry edible bean flours in foods. In plant proteins: Applications, biological effects, and chemistry. *ACS Symposium Series. American Chemical Society*, Washington, DC (Vol. 312).

Van der Poel, A. F. (1990). Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). A review. *Animal Feed Science and Technology*, 29(3-4), 179-208.

Vaz Patto, M. C., Amarowicz, R., Aryee, A. N., Boye, J. I., Chung, H. J., Martín-Cabrejas, M. A., & Domoney, C. (2015). Achievements and challenges in improving the nutritional quality of food legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), 105-143.

Wang, N., Hatcher, D. W., & Gawalko, E. J. (2008). Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry*, 111(1), 132-138.

Wang, N., Hatcher, D. W., Tyler, R. T., Toews, R., & Gawalko, E. J. (2010). Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*, 43(2), 589-594.

Wang, T. L., Bogracheva, T. Y., & Hedley, C. L. (1998). Starch: as simple as A, B, C?. *Journal of Experimental Botany*, 49(320), 481-502.

Wang, T. L., Domoney, C., Hedley, C. L., Casey, R., & Grusak, M. A. (2003). Can we improve the nutritional quality of legume seeds?. *Plant Physiology*, 131(3), 886-891.

Wang, N., Hatcher, D., Toews, R., & Gawalko, E. (2009). Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*). *LWT-Food Science and Technology*, 42(4), 842-848.

Watzke, H. J. (1998). Impact of processing on bioavailability examples of minerals in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 9(8), 320-327.

Wen, L., Rodis, P., & Wassweman, B. (1990). Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry* 67(3), 268-275.

Wood, J.A., and Grusak, M.A. (2007). Nutritional Value of Chickpea. In: Chickpea Breeding and Management. Yadav, S.S. Redden, B., Chen, W., Sharma, B. (Eds.), CAB International, Wallingford, UK, pp. 101–142.

Wu, Y., & Inglett, G. E. (1974). Denaturation of plant proteins related to functionality and food applications. A review. *Journal of Food Science* 39(2), 218-225.

Yeu K., Lee, Y. and Lee, S.Y. (2008). Consumer acceptance of an extruded soy-based high-protein breakfast cereal. *Journal of Food Science*, 73(1), 20–25.

Zulet, M., & Martínez, J. (2001). Dieta Mediterránea: legumbres y colesterolemia. *Revista Chilena de Nutrición*, 28, 312-320.

ANEXO

- **Caracterización de distintos tipos de harina de lenteja (HL-I: integral. HL-P: pelada. HL-PE: pelada y extrusionada).**

Prueba de Normalidad, valores de p

Parámetro	p
Humedad	<0,010*
Proteína	>0,150
Azúcares totales	0,096
Azúcares reductores	>0,150
Fibra dietética total (FDT)	0,131
Fibra dietética insoluble (FDI)	<0,010*
Fibra dietética soluble (FDS)	>0,150
Almidón	>0,150
Grasa	>0,150
Cenizas	>0,150
Fe	<0,010*
Índice de absorción de agua (WAI)	0,036*
Índice de solubilidad en agua (WSI)	0,100
Color L*	<0,010*
Color a*	<0,010*
Color b*	0,043*

**Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal*

▪ **Propiedades de empastamiento de distintos tipos de harina de lenteja.**

Parámetro	p
Salida de pico (Pt)	>0,150
Viscosidad máxima (PV)	<0,010*
Temperatura de empastamiento (PT)	>0,150
Viscosidad de caída (HS)	<0,010*
Estabilidad (BD)	0,091
Viscosidad final (FV)	0,051
Retrogradación (SB)	>0,150

**Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal*

CAPÍTULO 2



DESARROLLO DE APERITIVOS EXTRUSIONADOS UTILIZANDO MEZCLAS CON HARINA DE LEGUMINOSAS Y EFECTO SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y DE EMPASTAMIENTO

1. INTRODUCCIÓN

Las leguminosas están reconocidas como una valiosa fuente de proteínas en muchas partes del mundo. El consumo de media taza al día de legumbre puede mejorar la calidad de la dieta aumentando la ingesta de fibra, proteína, folatos, zinc, hierro y magnesio y reduciendo la ingesta de grasas saturadas y grasa total (Mitchell, Lawrence, Hartman, & Curran, 2009). Las leguminosas contienen proteínas con un contenido relativamente bajo en aminoácidos azufrados, como metionina, cisteína y triptófano, pero la cantidad de otros aminoácidos esenciales como lisina, es bastante mayor que en los cereales (Duranti, 2006). Con el fin de complementar el perfil proteico, se han realizado diversos estudios que han demostrado el efecto beneficioso de la incorporación de leguminosas en productos con trigo, arroz o maíz (Bressani, 1975; Shekib, Zoueil, Youssef, & Mohamed, 1986).

Por otra parte, las leguminosas son una excelente fuente de fibra que promueve, no sólo el bienestar intestinal, sino que además mejora otras funciones del organismo que se traducen en una mejora de la salud física y mental (FDA, 2016).

Asimismo, las legumbres contienen compuestos bioactivos tales como polifenoles, fitoestrógenos y galactósidos que pueden mejorar la salud y prevenir algunas enfermedades. Los galactósidos derivados de la sacarosa, como la rafinosa, estaquiosa y verbascosa han demostrado tener efectos beneficiosos sobre la función intestinal, similares a los de la fibra dietética, incluso actuando como probióticos y reduciendo la absorción de compuestos de tipo nitroso potencialmente cancerígenos (Van Loo, 1988).

Como se ha comentado en el Capítulo 1, una forma de incrementar el consumo de leguminosas es convirtiendo las semillas secas en harinas e incorporando éstas en la formulación de nuevos productos.

1.1 Incorporación de harina de leguminosas en snacks expansionados

Existe una gran demanda a nivel mundial de productos listos para consumir que sean sanos y nutritivos, destinados a todos los grupos de edad y, especialmente, al sector infantil (Rathod & Annapure, 2016). Los snacks a base de cereales son productos de

gran interés comercial por sus características de producción y consumo, vida útil relativamente larga y buena aceptabilidad sensorial.

Se han realizado estudios para mejorar el perfil nutricional de productos extrusionados a través, por ejemplo, del incremento en el contenido de fibra dietética (Stojceska, Ainsworth, Plunkett, & İbanoğlu, 2010). La harina de leguminosas representa una alternativa excelente para introducir concentraciones más altas de fibra dietética en la dieta y ya se han realizado trabajos para incorporar fibra mediante la formulación de snacks con leguminosas como lenteja, guisante y garbanzo (Berrios, Morales, Camara, & Sánchez-Mata, 2010). Rebello, Greenway & Finley (2014) demostraron que, en alimentos formulados con cereales y leguminosas se produce un efecto sinérgico entre nutrientes y componentes bioactivos que podrían proporcionar beneficios significativos para la salud.

La introducción de leguminosas en productos extrusionados es un paso innovador que permite enriquecer las propiedades funcionales de los snacks (Kour & Saxena, 2014) dado que las harinas de leguminosas causan un impacto positivo en los niveles de proteínas, fibra dietética y expansión, a la vez que aportan bajos niveles de calorías (Al, 1988; Berrios, 2006; Singh, Sekhon, & Singh, 2007). La comercialización de snacks de cereales con leguminosas podría aportar a los consumidores de estos productos un valor nutricional añadido y con efecto saciante (Mollard, Wong, Luhovyy, Cho, & Anderson, 2014).

El arroz es un material atractivo para los aperitivos extrusionados debido a su capacidad de expansión y a su sabor suave y neutro. Sin embargo el arroz, así como otros cereales almidonosos como el maíz, el trigo, la cebada y la avena, tienen un contenido en proteínas relativamente bajo, en torno al 10 %.

La sustitución de las harinas con alto contenido en almidón, como la de maíz, por leguminosas se ha llevado a cabo en diferentes productos, principalmente de panadería y también en snacks (Alam, Kaur, Khaira, & Gupta, 2016; Anton, Fulcher, & Arntfield, 2009; da Silva, Ascheri, de Carvalho, Takeiti, & Berrios, 2014; Guzmán-Ortiz et al., 2015; Ravindradran, Carr, & Hardacre, 2011). La harina de arroz se ha sustituido en formulaciones de snacks principalmente por soja o distintos tipos de alubias (Asare, Sefa-Dedeh, Sakyi-Dawson, & Afoakwa, 2004; Bassinello et al., 2011; Chauhan & Bains, 1988).

Sin embargo, la sustitución de harina de arroz por una mezcla de harinas de leguminosas como alubia blanca Almonga, guisante o algarroba no ha sido llevada a cabo hasta la fecha. La mezcla de la harina de arroz con harina de estas leguminosas puede ser una buena opción desde el punto de vista nutricional, sensorial y funcional para formular un producto alimenticio listo para el consumo como puede ser un snack expandido.

1.1.1 Harina de alubia

La harina de alubia tiene un gran potencial de uso en dietas de control de peso, debido a su contenido en carbohidratos complejos como el almidón resistente, a su contenido en proteínas (20-22 %) y fibra dietética (23-32 %) mayor que la harina de trigo y a que no contiene gluten (Ai, Cichy, Harte, Kelly, & Ng, 2016; Pelembe, Erasmus, & Taylor, 2002; Zhang, Shi, Ilic, Jun, & Kakuda, 2008).

1.1.2 Harina de guisante

El guisante es también una fuente importante de nutrientes, especialmente de proteínas, aminoácidos esenciales y almidón. La composición de la proteína del guisante se caracteriza por su alto contenido en lisina, la cual es deficiente en muchas otras proteínas de origen vegetal tales como las de los cereales. Por tanto, las mezclas de cereales con guisante son complementarias de manera que en el producto final se obtiene un contenido proteico completo y equilibrado.

1.1.3 Harina de algarroba

La algarroba es una legumbre mediterránea que posee un sabor dulce similar al del chocolate, pero no contiene cafeína ni teobromina (Bengoechea, Puppo, Romero, Cordobés, & Guerrero, 2008). Las vainas de algarroba se caracterizan por su alto valor nutritivo con alto contenido de azúcares solubles (alrededor de 40-50 %, principalmente sacarosa), moderado contenido en proteínas (3-4 %) y lípidos (0,4-0,8 %), un alto nivel de minerales (Fe, Ca, Na, K, P y S) y vitaminas (E, D, C, niacina, B6 y ácido fólico) (Durazzo, Turfani, Narducci, & Azzini, 2014; Kumazawa et al., 2002; Ortega, Macià, Romero, Reguant, & Motilva, 2011; Youssef, El-Manfaloty, & Ali, 2013).

La harina de algarroba se utiliza para mejorar el valor nutricional de los productos a base de cereales como pan, galletas y pasteles (Ortega et al., 2011).

1.2 Propiedades de snacks con leguminosas

Durante la extrusión, el material almidonoso se mezcla, se cuece y se pasa a través de una matriz. Como resultado, se producen una serie de cambios químicos como la gelatinización de las moléculas de almidón, el entrecruzamiento de las proteínas y la generación de nuevos aromas (Zhang, Bai, & Zhang, 2011). Las propiedades funcionales como la absorción/retención de agua, la solubilidad, el índice de expansión, la densidad aparente y la viscosidad de los productos extrusionados se relacionan con

las modificaciones moleculares que ocurren durante el proceso (Lazou & Krokida, 2010).

Las cualidades deseables para los snacks extrusionados son: alto índice de expansión y baja densidad aparente (Gupta, Bawa, & Semwal, 2008). Concretamente, el fenómeno de expansión en estos productos depende de la diferencia de presión entre la salida del extrusor y la presión atmosférica. Las condiciones del proceso, especialmente el agua y la temperatura, así como la composición de la materia prima, van a determinar cómo fluye la masa en el interior y por tanto, el tiempo de residencia y el grado de gelatinización del almidón previo a la expansión.

En relación a los ingredientes, el efecto de la incorporación de materias ricas en proteínas sobre las propiedades funcionales de los extrusionados a base de cereales se ha analizado ampliamente (Berrios, 2006; Fernández-Gutiérrez, Martín-Martínez, Martínez-Bustos, & Cruz-Orea, 2004; Gujska & Khan, 1991; Lin, Huff, & Hsieh, 2002, Matthey & Hanna, 1997; Onwulata, Smith, Konstance, & Holsinger, 2001). Las proteínas afectan a la distribución del agua en la matriz y su estructura macromolecular influye en las propiedades reológicas del material extrusionado (Moraru & Kokini, 2003). La fortificación parcial o completa con proteínas se ha utilizado en los productos expandidos para impartir beneficios nutricionales y funcionales (Jisha, Sheriff, & Padmaja, 2010; Lazou, Krokida, Karathanos, & Marinos-Kouris, 2010; Tremaine & Schoenfuss, 2014) y conseguir una buena mezcla nutricional. Sin embargo, la incorporación de proteínas a los almidones también aumenta los sitios para el entrecruzamiento y, por tanto, afecta a la calidad de la textura. Las proteínas se desnaturalizan, reorganizan y se complejan para formar matrices expandidas. Por otro lado, el grado de expansión depende de la concentración y el tipo de proteína (Aboagye & Stanley, 1987).

La elaboración de snacks enriquecidos con fibra suele conllevar un deterioro de las propiedades de expansión y textura. En cambio, la fibra soluble produce una mejor expansión y menos problemas con la obtención de productos más densos que la insoluble (Robin, Schuchmann, & Palzer, 2012).

1.3 Objetivos

El objetivo de este estudio ha sido evaluar los efectos de la extrusión sobre las propiedades físicas, funcionales y de empastamiento de una mezcla de harina de arroz con tres tipos de harina de leguminosas en diferentes proporciones, así como conocer la influencia de la inclusión de harinas ricas en fibra y proteína sobre la calidad de los aperitivos extrusionados obtenidos.

Los guisantes, alubias y vainas de algarrobo se trituraron y mezclaron con harina de arroz y se extruyeron en las condiciones más favorables. Los productos extrusionados se secaron y se midió su diámetro y densidad aparente. A continuación se molieron para determinar el índice de absorción de agua (WAI), el índice de solubilidad en agua (WSI), la capacidad de retención de agua (WRC) y las propiedades de empastamiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de las formulaciones para los snacks con leguminosas

El arroz (*Oryza sativa* variedad Montsianell) fue suministrado por la "Cámara Arrocería de Amposta", la alubia (*Phaseolus vulgaris* variedad Almonga) fue suministrada por un agricultor de la zona (Benjamín Rodríguez Álvarez SL). Se obtuvo el guisante (*Pisum sativum* variedad Cartouche) a través de la empresa COPISO y la algarroba (*Ceratonia siliqua* variedades Negra y Roja) de Armengol Hermanos. Todas las materias primas se molieron en un molino Retsch SK1 (Haan, Alemania) y se pasaron a través de un tamiz de 1 mm.

La composición de las harinas se determinó en un estudio previo y en la Tabla 1 se incluye un resumen de los datos publicados por Pedrosa et al. (2015a, 2015b).

Tabla 1. Composición de las harinas (g/100 g).

Componente	Arroz	Guisante	Alubia	Algarroba
Proteína	6,88	22,29	25,38	4,95
Grasa	0,83	1,40	0,94	0,39
Fibra dietética	0,95	15,84	18,50	33,10
Almidón	80,25	41,54	31,37	0,79

Las fórmulas para los snacks se prepararon mezclando harina de arroz, guisante, alubia y algarroba en diferentes proporciones obteniendo un total de 12 mezclas (Tabla 2).

Tabla 2. Composición de las mezclas de harina de arroz y leguminosa expresada en porcentaje.

Fórmula	Arroz	Alubia (A) o Guisante (G)	Algarroba
20.1.G	80	20	0
20.2.G	75	20	5
20.3.G	70	20	10
40.1.G	60	40	0
40.2.G	55	40	5
40.3.G	50	40	10
20.1.A	80	20	0
20.2.A	75	20	5
20.3.A	70	20	10
40.1.A	60	40	0
40.2.A	55	40	5
40.3.A	50	40	10

Las proporciones entre la harina de leguminosa y de arroz se seleccionaron en base a investigaciones preliminares con el fin de obtener una buena calidad sensorial (Alonso, Orúe, & Marzo, 1988; Anton et al., 2009; Mensa-Wilmot, Phillips, & Sefa-Dedeh, 2001; Ravindran et al., 2011; Varela, Chen, Fiszman, & Povey, 2007).

Todas las formulaciones incluyeron una pequeña cantidad de sal y carbonato de calcio (0,5 y 0,75 % respectivamente) para ayudar a la texturización y mejorar el sabor. Las harinas se mezclaron en un sistema de mezcla doméstico y se almacenaron en bolsas de polietileno antes de la extrusión.

2.2 Proceso de extrusión

Se utilizó un extrusor de doble husillo corrotante Clextral Evolum 25 (Clextral, Firminy Cedex, Francia). El barril dispone de seis módulos, cada uno de 100 mm de longitud, con calentamiento independiente. El diámetro del tornillo (D) es de 25 mm y la longitud de tornillo (L) es 600 mm. El material se introdujo en el extrusor utilizando un alimentador volumétrico de doble husillo, modelo LWFD5-20 (K-Tron Corp., Pitman, NJ, EE.UU.) a una velocidad media de 25 kg/h.

La temperatura del producto a la salida fue de 120-130 °C. La velocidad del tornillo se ajustó a 900-950 rpm para obtener una buena expansión y se añadió agua en una cantidad de 2,5-4 kg/h. Las condiciones de extrusión se seleccionaron en función de ensayos previos para obtener una buena producción de snacks expandidos.

Las muestras se recogieron cuando el régimen era estacionario y se secaron en un secadero (prototipo, CARTIF, España) con aire por convección a 85-120 °C.

2.3 Propiedades de empastamiento

Las propiedades de empastamiento de la harina de arroz y de las mezclas preparadas se determinaron mediante un analizador Rapid Visco Analyzer (RVA, Modelo 4, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, NSW, Australia) según el método AACC 61.02.01 (AACC, 2012). Para ello se suspendió el polvo (3,01 g) en agua destilada (25 g corregido para compensar el 14 % de la base de humedad de la muestra).

Los parámetros de empastamiento se determinaron a partir de las curvas RVA utilizando el software de análisis de datos Thermocline para Windows versión 1.2. (Newport Scientific, Australia) y fueron: temperatura de empastamiento (PT), salida de pico (Pt), viscosidad máxima o de empastamiento (PV), viscosidad de caída (HS), estabilidad (BD), viscosidad final (FV) y retrogradación (SB). La descripción detallada de estos parámetros se incluye en el Capítulo 1.

Los snacks extrusionados se molieron y tamizaron (250 µm) para determinar su perfil de empastamiento con el mismo equipo RVA, utilizando el ciclo correspondiente al *método de extrusión* de acuerdo con las condiciones definidas por el fabricante. Brevemente, este supone el calentamiento de las suspensiones de 25 °C a 95 °C, después se mantienen a 95 °C durante 5 minutos y por último se enfrían a 25 °C. El análisis se realizó utilizando 3,01 g y 25 g de agua, corrigiendo el peso en función de la humedad de cada muestra. Los parámetros de empastamiento se obtuvieron tal como se ha descrito previamente. Adicionalmente, se determinaron el pico de viscosidad en frío (CP) que corresponde con el pico de viscosidad previo al calentamiento y el pico de

viscosidad en caliente (HP) que corresponde con la pico de viscosidad después de que comience el calentamiento.

2.4 Análisis de los productos extrusionados

Densidad aparente (DA)

La densidad aparente (DA) se midió en g/cm^3 pesando la cantidad de los productos extrusionados necesaria para ocupar el volumen de un cilindro de vidrio de 1000 cm^3 (Ryu, Neumann, & Walker, 1993).

Índice de expansión (IE)

El diámetro de los productos extrusionados se midió usando un calibrador vernier y tomando el valor medio de 10 mediciones aleatorias. El índice de expansión (IE) se determinó como el diámetro medio de los snacks extrusionados respecto al diámetro de la boquilla de salida (4 mm) (Gujska & Khan, 1991).

$$\text{EI} = \text{diámetro de extrusionado (mm)} / \text{diámetro de la salida (mm)}$$

Absorción de agua e índice de solubilidad

El índice de absorción de agua (WAI) y el índice de solubilidad en agua (WSI) de los snacks extrusionados se determinaron por el método propuesto por Anderson, Conway, Pfeiffer & Griffin (1969).

Se dispersó un gramo de muestra en 10 ml de agua destilada a temperatura ambiente ($22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$). Los snacks expandidos se trituraron en un molino IKA (IKA, Staufen, Alemania) y se pasaron a través de un tamiz para una distribución de tamaño uniforme de 0,450 mm. La suspensión se agitó suavemente de forma intermitente durante 30 minutos y después, las muestras se centrifugaron a 3000 g durante 15 min. Se decantó el sobrenadante para determinar el contenido en sólidos y se pesó el sedimento. WAI y WSI se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{WAI (g/g)} = \text{peso de gel} / \text{peso seco de la muestra}$$

$$\text{WSI (\%)} = (\text{peso de sólidos secos en el sobrenadante} / \text{peso seco de la muestra}) \times 100$$

Capacidad de retención de agua

Se midió la capacidad de retención de agua (WRC, según sus siglas en inglés) de las harinas extrusionadas por el método de centrifugación descrito por Kaur & Singh (2005) y Robertson et al. (2000). Para ello se disolvieron 250 mg de muestra de snacks expansionados molidos (0,450 mm) en 15 ml de agua destilada y se colocaron en tubos de centrifuga de 15 ml previamente pesados.

Las mezclas se agitaron y se dejaron a temperatura ambiente durante 1 h. A continuación se centrifugaron durante 20 min a 3000 g. El sobrenadante se descartó y se pesó el residuo o gel. WRC se calculó como gramos de agua por gramos de muestra seca siguiendo la ecuación:

WRC (g de agua/ g de muestra) = (peso de gel- peso seco de la muestra) / peso seco de la muestra

2.5 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de las sustituciones crecientes de harina de arroz por harina de guisante, alubia y algarroba, se analizaron los resultados obtenidos para los parámetros aplicando pruebas de significancia estadística, después de haber comprobado mediante la prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov*, si las poblaciones estaban distribuidas normalmente.

Para aquellos parámetros que seguían una distribución normal se aplicó la prueba paramétrica de t-Student para medidas de muestras emparejadas, con el objetivo de estudiar si aparecían diferencias significativas entre formulaciones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Composición y propiedades de empastamiento de las materias primas

El análisis de la composición de las muestras (Pedrosa et al., 2015a, b) puso de manifiesto que los guisantes y la alubia contienen el porcentaje más alto de proteína (Tabla 1), mientras que el más bajo correspondía a la algarroba. Todas las muestras presentaron un bajo contenido de grasa. El mayor valor de fibra dietética correspondió a la algarroba, seguido de la alubia, el guisante y el arroz. También es destacable que el contenido de almidón en la harina de guisante y alubia es la mitad que en la harina de arroz.

En la Tabla 3 se muestran las propiedades de empastamiento de las harinas de arroz, alubia y guisante. La harina de algarroba no mostró una curva de empastamiento debido a su bajo contenido de almidón y alto contenido en fibra dietética. Las propiedades de empastamiento de harinas de leguminosa difieren significativamente de la harina de arroz debido a su reducido contenido en almidón y mayor contenido de proteína. Además, los gránulos de almidón de las harinas de leguminosa pueden estar incrustados en la matriz proteica como se observó en las micrografías del Capítulo 1, restringiendo la hidratación y la hinchazón de los gránulos de almidón y, por tanto, el desarrollo de la viscosidad (Chung, Liu, Hoover, Warkentin, & Vandenberg, 2008; Otto, Baik, & Czuchajowska, 1997).

Tabla 3. Propiedades de empastamiento de harinas de arroz, alubia y guisante.

Tipo de harina	PV (cp)	HS (cp)	BD (cp)	FV (cp)	SB (cp)	Pt (min)	PT (°C)
Arroz	6901 ± 0,71	3344 ± 1,41	3557 ± 0,71	7858 ± 105,36	4514 ± 103,94	5,47 ± 0,00	76 ± 0,60
Alubia	1526 ± 39,60	1491 ± 35,36	35 ± 4,24	2562 ± 58,69	1071 ± 23,33	6,03 ± 0,14	81 ± 0,18
Guisante	1818 ± 98,29	168 ± 64,35	134 ± 33,94	2812 ± 84,85	1127 ± 20,51	5,32 ± 0,02	78 ± 0,00

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

PV: viscosidad máxima o de empastamiento. HS: viscosidad de caída. BD: estabilidad. FV: viscosidad final. SB: retrogradación. Pt: salida de pico. PT: temperatura de empastamiento.

Las harinas de alubia y guisante tienen una viscosidad máxima (PV) más baja que la harina de arroz debido al menor contenido en almidón de las leguminosas respecto al arroz. El contenido en almidón de la harina de guisante es mayor que en la de alubia y así se puede ver reflejado en el valor de PV. La harina de alubia muestra un valor de estabilidad (BD) muy bajo, lo que indica que esta harina presenta buena estabilidad y resistencia a las fuerzas del fluido. La harina de alubia tiene la temperatura de empastamiento más alta, lo que indica que el almidón de alubia es altamente resistente al hinchamiento y a la ruptura. Los mismos resultados fueron encontrados por Du, Jiang, Yu & Jane (2014) para la alubia (variedad Lima). El valor de la retrogradación (SB) de la harina de guisante es más bajo que el de la harina de alubia, lo que significa que el almidón de guisante es más estable al calentamiento y durante el almacenamiento.

Las propiedades de empastamiento de las mezclas de arroz-leguminosa están recogidas en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades de empastamiento de las mezclas preparadas con harina de arroz y harina de guisante (G), alubia (A) y algarroba.

Mezcla*	PV (cp)	BD (cp)	HS (cp)	FV (cp)	SB (cp)	Pt (min)	PT (°C)
20.1.G	3983 ± 12	1909 ± 237	2074 ± 249	6026 ± 37	3952 ± 211	5,33 ± 0,000	81 ± 1,84
20.2.G	3598 ± 20	1829 ± 14	1769 ± 34	5720 ± 19	3951 ± 15	5,30 ± 0,042	81 ± 1,77
20.3.G	1915 ± 71	661 ± 42	1303 ± 42	3791 ± 30	2488 ± 72	5,77 ± 0,332	84 ± 0,00
40.1.G	2803 ± 23	1194 ± 17	1609 ± 40	5011 ± 57	3402 ± 17	5,33 ± 0,007	83 ± 0,07
40.2.G	2301 ± 1	865 ± 2	1435 ± 4	4653 ± 4	3217 ± 0,7	5,17 ± 0,049	84 ± 0,04
40.3.G	204 ± 103	666 ± 123	1382 ± 20	3940 ± 87	2558 ± 67	5,67 ± 0,007	85 ± 0,53
20.1.A	3492 ± 96	1611 ± 34	1881 ± 23	6597 ± 93	4716 ± 61	5,27 ± 0,41	80 ± 0,57
20.2.A	3061 ± 92	1281 ± 285	1779 ± 193	5818 ± 109	4038 ± 302	5,64 ± 0,52	82 ± 1,84
20.3.A	2763 ± 83	951 ± 101	1812 ± 184	5465 ± 62	3653 ± 246	5,87 ± 0,19	84 ± 0,53
40.1.A	2468 ± 28	976 ± 113	1492 ± 86	4908 ± 1	3415 ± 84	5,37 ± 0,05	84 ± 0,60
40.2.A	2152 ± 4	731 ± 1	1421 ± 3	4592 ± 4	3170 ± 1	5,67 ± 0,57	84 ± 0,04
40.3.A	1687 ± 45	372 ± 43	1315 ± 73	3942 ± 36	2627 ± 35	6,20 ± 0,75	86 ± 0,04

*Mezcla 20: mezcla con 20 % harina de guisante o alubia. Mezcla 40: mezcla con 40 % harina de guisante o alubia. 1: sin harina de algarrobo, 2: 5 % harina de algarroba, 3: 10 % harina de algarroba.

PV: viscosidad máxima o de empastamiento. BD: estabilidad. HS: viscosidad de caída. FV: viscosidad final. SB: retrogradación. Pt: salida de pico. PT: temperatura de empastamiento.

Las propiedades de empastamiento de las mezclas de arroz-leguminosa recogidas en la Tabla 4 permiten determinar el efecto de la sustitución de la harina de arroz por diferentes proporciones de harina de leguminosa. La viscosidad máxima (PV), la viscosidad final (FV), la estabilidad (BD) y la retrogradación (SB) disminuyeron al sustituir el contenido de arroz por harinas de legumbre independientemente del tipo de legumbre. Se observó el mismo efecto para las mezclas de arroz-proteína de soja, arroz-proteína de guisante (95/5 % p/p) y arroz-soja (Marcoa & Rosell, 2008; Xu et al., 2016).

El PV para las preparaciones con guisante y alubia al 40 % de inclusión difirió significativamente ($p < 0,05$), pero no se encontraron diferencias en el 20 % de inclusión (guisante o alubia) o con la inclusión de harina de algarroba. Las mezclas de guisante-arroz mostraron valores más altos de las propiedades de empastamiento que las correspondientes de alubia-arroz debido a que el contenido de almidón de la harina de guisante es mayor que el de la harina de alubia. Sin embargo, cuanto más se incrementa la sustitución de la harina de arroz por harina de leguminosa, menor es el valor para PV, independientemente de si se ha sustituido por harina de alubia o guisante. La temperatura de empastamiento (Pt) aumentó en todos los casos probablemente debido a la interacción entre la proteína de la harina de leguminosa con el almidón de arroz interfiriendo en la capacidad de absorción de agua del almidón (Liu, Gu, Donner, Tetlow, & Emes, 2007). Los valores de BD disminuyeron para todas las formulaciones y de manera proporcional a la sustitución llevada a cabo, lo que indica una mejor estabilidad con la incorporación de harina de leguminosa. El efecto de la presencia de fibra dietética dentro de la matriz de almidón se ve potenciado por la temperatura del proceso que conduce a una disgregación de la matriz.

El tiempo de pico para la fórmula 40.3.A fue significativamente mayor que el del resto de las fórmulas con alubia debido al alto contenido en fibra y proteínas y baja proporción de almidón que produce un retraso en el tiempo para alcanzar la viscosidad máxima (PV).

El valor de SB disminuye en todas las fórmulas, lo que sugiere una reducida disponibilidad de gránulos hinchados y una tendencia menor a la retrogradación debido a la menor cantidad de almidón en las fórmulas. El FV disminuyó a medida que aumentaba el contenido de leguminosa, indicando una capacidad reducida del almidón para reorganizarse después del proceso de calentamiento y enfriamiento.

3.2 Evaluación de los productos extrusionados

3.2.1 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los productos extrusionados

Índice de expansión

La expansión es una de las cualidades más deseables de los snacks extrusionados (Rodríguez-Miranda et al, 2011). El índice de expansión (IE) refleja el grado de expansión que alcanzan los productos extrusionados.

El IE de los snacks extrusionados obtenidos en el estudio disminuyó con el aumento de la sustitución de harina de leguminosa (Tabla 5) independientemente de que fuera harina de alubia o guisante y, especialmente, con la inclusión del 10 % de harina de algarroba. Singh, Sekhon & Singh (2007) también obtuvieron una correlación de este tipo entre el índice de expansión y la incorporación de sémola de guisante en expansionados de arroz.

El porcentaje de alubia o guisante incluido (20 ó 40 %) no tuvo un efecto significativo en la expansión de los extrusionados, pero la sustitución por harina de algarroba tiene un efecto marcado en la reducción de la expansión. El valor más alto para el IE se obtuvo en los snacks con alto contenido de almidón y menor contenido de proteína y de fibra dietética (fórmulas 20.1.G y 20.1.A). La expansión depende en gran medida de la composición química de las materias primas utilizadas y las transformaciones de los componentes durante la extrusión depende también de la composición global (Gupta et al, 2008).

La capacidad de expansión de los snacks extrusionados elaborados en este estudio, depende de las propiedades funcionales del almidón que contienen las mezclas (Bassinello, Carvalho, Ríos, Maciel, & Berrios, 2015). Cuando el almidón se somete a procesos de extrusión, la expansión depende de la formación de una matriz de almidón que atrapa vapor de agua, dando lugar a la formación de burbujas (Harper, 1981; Guy & Horne, 1988). La harina de arroz es rica en almidón, pero la sustitución de parte de la harina de arroz por las harinas de leguminosas, disminuye el contenido total de almidón y aumenta el contenido en proteína, lo que influye de manera negativa sobre la estructura final de los snacks al disminuir la expansión (Bengoechea et al., 2008; Arêas, 1992; Li & Lee, 1996; Moraru & Kokini, 2003; Singh et al., 2007). Además, el almidón de legumbre genera interacciones con el resto de componentes que alteran la matriz continua de almidón, lo que reduce la capacidad de expansión.

Bassinello et al. (2015) obtuvieron resultados similares y observaron una mayor expansión en formulaciones con niveles de proteína más bajos. También se ha puesto de manifiesto que la sustitución de la harina de arroz con alto porcentaje de harina de garbanzo conduce a una menor expansión (Suksomboon, Poolsup, Boonkaew, &

Suthisisang, 2011). Un alto contenido de fibra aumenta la capacidad del producto para absorber agua, impidiendo la salida del vapor en el proceso, lo que conduce a una estructura de producto más empaquetada y menos expandida (Dehghan-Shoar, Hardacre, & Brennan, 2010), y esto será lo que ocurre cuando se incluye harina de algarroba.

Las fórmulas con alto contenido de fibra impiden que las burbujas de gas se expandan a su potencial máximo (Moore, Sanei, Hecke, & Bouvier, 1990). Varios autores han observado que un aumento en el contenido de proteína y fibra en las formulaciones da lugar a una disminución de la tasa de expansión (Jones, Chimmaway, Tan, & Hanna, 2000; Singh et al., 2007).

Densidad aparente

La densidad aparente (DA) es un buen índice de los cambios estructurales que provoca el proceso de expansión sobre el material. La DA también describe el grado de expansión experimentado por la masa fundida a medida que sale del extrusor (Altan, McCarthy, & Maskan, 2008; Ilo, Tomschik, Berghofer, & Mundigler, 1996). Uno de los atributos deseables que debe considerarse en el desarrollo de productos extrusionados expandidos es la obtención de valores bajos de densidad y esta característica está inversamente asociada con la capacidad de expansión (Berrios, Wood, Whitehand, & Pan, 2004; Patil, Berrios, Tang, & Swanson, 2007).

En el estudio se ha observado que, en general, la sustitución de harina de arroz por leguminosas, bajo las mismas condiciones de proceso, aumenta los valores de la DA (Tabla 5). No se ha observado diferencia entre sustituir harina de arroz por un 20 o 40 % de harina de guisante o sustituir 20 % de guisante o alubia en la DA. Sin embargo, aumentar el porcentaje de sustitución de harina de arroz por harina de alubia del 20 al 40 % o sustituir el 40 % por harina de guisante o alubia, tiene un efecto negativo significativo en la DA. El alto contenido de proteína, fibra y grasa y bajo contenido de almidón de la harina de alubia respecto a la harina de guisante (Tabla 1) podría ser responsable de este efecto.

Los valores DA aumentaron a medida que se incorporaba la harina de algarroba en las formulaciones (Tabla 5). Aumentar el contenido de fibra dietética reduce la expansión de los cereales extrusionados (Robin et al., 2012). Este efecto también ha sido descrito para la inclusión de salvado de arroz (Sekhon, Dhillon, Singh, & Singh, 1997), salvado de maíz (Pai, Blake, Hamake, & Campanella, 2009) y fibra de soja (Jin, Hsieh, & Huff, 1995).

La fibra presente en la harina de guisante y alubia tiene capacidad para absorber agua que puede conducir a productos con mayor densidad y bajo índice de expansión. La

harina de algarroba al 5 y 10 % aumenta la presencia de azúcares y fibra dietética soluble que absorben agua y afectan la expansión de acuerdo con Dehghan-Shoar et al. (2010).

La densidad de los productos expandidos es un factor importante relacionado con su almacenamiento y transporte. Una expansión alta y una baja densidad son altamente deseables en productos alimenticios expandidos (Bassinello et al., 2015). Según Kim, Maga & Martin (1989) la densidad aparente está indirectamente relacionada con la expansión. Una expansión creciente disminuye la densidad del producto.

La relación inversa observada entre DA y el IE de los aperitivos (Tabla 5), también fue descrita por Singh et al. (2007). Es posible que la DA se vea indirectamente afectada por las modificaciones que tienen lugar en el almidón bajo las condiciones de proceso utilizadas (por ejemplo; baja cantidad de agua en la alimentación) y las interacciones que, durante el procesado con el agua y el resto de los componentes de las fórmulas, se producen. Además, la cantidad de agua utilizada durante el proceso de extrusión fue baja, por lo tanto, el almidón puede verse sometido a diferentes modificaciones.

3.2.2 Evaluación de las propiedades funcionales de los productos extrusionados

Índice de absorción de agua

El índice de absorción de agua (WAI) y el índice de solubilidad en agua (WSI) se consideran indicadores del grado de gelatinización del almidón y su degradación. WAI mide la cantidad de agua absorbida por los gránulos de almidón después de hincharse en exceso de agua y puede usarse como un índice de gelatinización (Anderson, 1982; Eide, Goot, & Boom, 2003). El valor de WAI también se ve afectado por la interacción de otros componentes, tales como la fibra, azúcares o proteínas.

Tabla 5. Propiedades funcionales de los productos extrusionados.

Mezcla*	IE	DA (g/cm ³)	WAI (g/g)	WSI (%)	WRC (g agua/g)
20.1.G	2,44 ± 0,43	0,09 ± 0,00	5,89 ± 0,17	8,76 ± 0,64	654 ± 16
20.2.G	2,08 ± 0,58	0,10 ± 0,00	5,37 ± 0,11	14,76 ± 0,56	644 ± 16
20.3.G	1,50 ± 0,36	0,13 ± 0,00	5,06 ± 0,10	12,61 ± 0,60	705 ± 18
40.1.G	2,55 ± 0,74	0,08 ± 0,00	4,84 ± 0,94	16,12 ± 0,61	641 ± 14
40.2.G	1,67 ± 0,45	0,10 ± 0,00	7,15 ± 0,14	14,91 ± 0,10	610 ± 13
40.3.G	1,55 ± 0,34	0,31 ± 0,00	7,54 ± 0,19	10,55 ± 3,50	578 ± 13
20.1.A	2,43 ± 0,36	0,09 ± 0,00	8,07 ± 0,03	11,24 ± 0,60	613 ± 20
20.2.A	1,88 ± 0,37	0,13 ± 0,00	7,55 ± 0,19	13,79 ± 1,07	578 ± 19
20.3.A	1,53 ± 0,56	0,23 ± 0,00	7,45 ± 0,50	12,77 ± 1,26	632 ± 21
40.1.A	2,11 ± 0,44	0,12 ± 0,00	7,71 ± 0,06	15,39 ± 0,60	542 ± 16
40.2.A	1,71 ± 0,46	0,15 ± 0,00	7,55 ± 0,09	15,82 ± 2,49	515 ± 14
40.3.A	1,26 ± 0,30	0,28 ± 0,00	7,26 ± 0,14	15,13 ± 0,93	535 ± 14

*Mezcla 20: mezcla con 20 % harina de guisante o alubia. Mezcla 40: mezcla con 40 % harina de guisante o alubia. 1: sin harina de algarrobo, 2: 5 % harina de algarroba, 3: 10 % harina de algarroba.

IE: índice de expansión. DA: densidad aparente. WAI: índice de absorción de agua. WSI: índice de solubilidad en agua. WRC: capacidad de retención de agua.

Los valores del WAI de los snacks extrusionados obtenidos siguieron tendencias diferentes dependiendo del tipo y cantidad de leguminosa que incluyen (Tabla 5). Se observó en todos los casos que el valor WAI está influenciado por la relación leguminosa-arroz, especialmente con la incorporación de harina de algarroba.

No se encontraron diferencias entre la sustitución por 20 o 40 % de harina de guisante en los valores de WAI, pero sí hubo diferencias entre 20 y 40 % cuando se sustituye por harina de alubia. La harina de alubia tiene menos contenido en almidón y más alto en fibra y proteína que la de guisante, lo que afecta al valor de WAI.

Las fórmulas que contienen harina de alubia tienen valores más altos de WAI que las formulaciones con guisante, excepto en el 40 % de inclusión con 5 y 10 % de harina de algarroba, en las que no se observaron diferencias significativas entre la sustitución de arroz por harina de alubia o harina de guisante.

La incorporación de la harina de algarroba en las fórmulas influye en los valores de WAI para las formulaciones en las que se incluye un 20 % de guisante, pero no afectó en las del 20 % de alubia. Para las formulaciones al 40 % de harina de leguminosa, sólo las que contienen 10 % de harina de algarroba afectaron los valores de la WAI con respecto a las fórmulas sin sustitución de esta harina.

Singh et al. (2007) también determinaron que la incorporación de leguminosas en productos extrusionados reducía los valores de WAI. Este hecho podría atribuirse a la dilución del almidón de arroz debido a la sustitución de la leguminosa. También otros autores han observado anteriormente una disminución del valor de WAI con una disminución en el contenido de almidón (Jones et al., 2000; Robin et al., 2012; Yağcı & Göğüş, 2008).

Es destacable el contenido de lípidos que aporta la harina de guisante en relación a la de alubia. La presencia de lípidos tiene un efecto plastificante ya reducen la fricción durante el proceso, lo que conduce a una menor gelatinización del almidón.

Los cambios en los valores WAI de los productos extrusionados pueden atribuirse a la variación en la degradación del almidón, la dilución del almidón en las mezclas, la desnaturalización de las proteínas, la gelatinización del almidón y el hinchamiento de la fibra durante el proceso de extrusión.

Sin embargo, la inclusión de 40 % de harina de guisante condujo al efecto opuesto. WAI ha sido descrito como una medida de almidón dañado, así como de la desnaturalización de proteínas y de la formación de complejos macromoleculares (Dogan & Karwe, 2003). En nuestro estudio, los polisacáridos solubles liberados de las cadenas poliméricas del almidón después de la extrusión, las interacciones durante el proceso de extrusión entre componentes del almidón (amilosa y amilopectina), la desnaturalización de las proteínas y el hinchamiento de la fibra afectaron el valor de WAI.

Índice de solubilidad en agua

El índice de solubilidad en agua (WSI) indica la degradación total sufrida por los gránulos de almidón y la presencia de moléculas de bajo peso molecular (Gutkoski & El-Dash, 1999). Por ello, este índice se utiliza a menudo como un indicador de la degradación de los componentes moleculares (Einde et al., 2003).

Los valores de WSI obtenidos en el presente estudio para los productos extrusionados (Tabla 5) mostraron que el valor más bajo de este parámetro corresponde con la formulación que incluye 20 % de harina de guisante, que es la formulación con el contenido más alto en almidón y proteínas y más bajo en fibra. Este hallazgo está de acuerdo con estudios previos que establecen que el WSI disminuye con el aumento del contenido de almidón y proteína (Jones et al., 2000).

Comparando la sustitución del arroz por guisante o por alubia y algarroba, sólo 20.1.G y 20.1.A son significativamente diferentes.

Los valores de WSI se ven afectados por la concentración de guisante o alubia (20 o 40 %) y por la incorporación de harina de algarroba (5 o 10 %). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre la sustitución de 20 o 40 % de alubia y 5 o 10 % de algarroba. Este efecto se atribuye también al menor contenido de almidón de estas fórmulas.

La proporción de leguminosa influye significativamente en los valores de WSI, pero no se encontró una tendencia clara entre los valores de WSI de los extrusionados en relación al aumento del nivel de harina de guisante y de alubia. Entre los extrusionados con 20 % de inclusión de harina de guisante y alubia, el WSI aumentó con el nivel de harina de algarroba. Los extrusionados con 40 % de alubia no mostraron diferencias con la incorporación de la harina de algarroba, pero se observó una tendencia opuesta para las fórmulas con harina de guisante al 40 %. Los extrusionados con 40 % de harina de guisante y algarroba a 5 y 10 % mostraron una tendencia decreciente en el valor de WSI. Kumar, Sarkar & Sharma (2010) también observaron una disminución en el WSI con un aumento en la fibra y Singh et al. (2007) observaron una disminución de WSI en extrusionados elaborados con arroz y guisantes.

El WSI está relacionado con la cantidad de moléculas solubles debidas a la dextrinización del almidón y también con la despolimerización de las macromoléculas tales como fibra o proteína. Se sabe que la extrusión disminuye la solubilidad de las proteínas, hecho que se ha relacionado con la formación de agregados insolubles, que involucran tanto enlaces covalentes como enlaces no covalentes (Liu & Hsieh, 2008). La presencia de moléculas solubles, que a menudo se atribuye a la dextrinización, también disminuye el WSI (Colonna, Tayeb, & Mercier, 1998). Se sabe que las degradaciones macromoleculares ocurren en función de la cantidad de agua utilizada en la alimentación, de la temperatura y de la velocidad del tornillo (Davidson, Paton, Diosady, & Larocque, 1984), por lo que estos parámetros se mantuvieron iguales para todos los extrusionados. Durante el proceso de extrusión podrían formarse complejos de amilosa-lípido y almidón-proteína (Sathe, Deshpande, & Salunkhe, 1982). Por lo tanto, la relación leguminosa-arroz y la interacción entre los componentes de ambas harinas durante el procesamiento explican los cambios. La disminución de WSI con el 40 % de

harina de guisante y el 5 y 10 % de harina de algarroba indicó un efecto acumulativo de la interacción de la proteína, los lípidos y la degradación del almidón.

Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (WRC) es una propiedad de las matrices alimentarias definida por la interacción de proteína, fibra y polisacáridos no almidonosos con el agua. WRC hace referencia a la capacidad de retener físicamente el agua en contra de la acción de las fuerzas externas (gravedad y centrifugación) (Kinsella, 1979) y expresa la cantidad de agua mantenida en asociación con estos componentes como “agua atrapada” o “agua unida” (Robertson & Eastwood, 1981a, 1981b).

El efecto de la incorporación de harinas de leguminosas en el valor de WRC se muestra en la Tabla 5. WRC no muestra la misma tendencia de comportamiento entre las distintas series. Este hecho se puede atribuir a que el valor de WRC depende de un amplio número de factores como puede ser: el contenido proteico de la fórmula, la desnaturalización de las proteínas durante el proceso de extrusión, la presencia de almidón gelatinizado y dextrinado, la presencia de fibra de las leguminosas y más concretamente, los galactomananos de la harina de algarroba, y a la interacción entre ellos.

D’Appolonia (1977) observó que WRC para mezclas que contienen harina de trigo y diferentes tipos de harina de alubia aumentó con el nivel de harina de alubia debido al alto contenido de proteínas.

Durante la extrusión, las características estructurales de las fibras y de las proteínas podrían modificarse facilitando la captación de agua. Los cambios en la fibra durante la extrusión se reflejan en el valor WRC.

3.2.3 Evaluación de las propiedades de empastamiento de los productos extrusionados

Se evaluó el efecto de la extrusión sobre las propiedades de empastamiento de las formulaciones de leguminosa-arroz. Los valores de los parámetros de empastamiento se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades de empastamiento de las mezclas de harina extrusionadas.

Mezcla*	CV (cp)	HP (cp)	HS (cp)	BD (cp)	FV (cp)	SB (cp)	Pt (min)
20.1.G	4752± 357	4694 ± 240	276 ± 14	4418 ± 226	990 ± 5	714 ± 19	2,17 ± 0,14
20.2.G	3536± 517	3511 ± 626	191 ± 10	3170 ± 404	770 ± 1,41	579 ± 11	2,07 ± 0,00
20.3.G	2760± 129	2806 ± 104	235 ± 4	2571 ± 107	888 ± 25	652 ± 29	2,40 ± 0,18
40.1.G	3465± 805	3158 ± 578	277 ± 1	2881 ± 578	1009 ± 13	732 ± 13	2,07 ± 0,00
40.2.G	2861 ± 212	2841 ± 175	183 ± 5	2657 ± 180	749 ± 1	565 ± 5	2,10 ± 0,04
40.3.G	1403 ± 6	1562 ± 30	199 ± 19	1363 ± 11	744 ± 26	545 ± 7	4,40 ± 1,98
20.1.A	4283 ± 442	3976 ± 375	185 ± 1	3791 ± 374	851 ± 9	666 ± 8	2,07 ± 0,00
20.2.A	3178 ± 55	3158 ± 29	204 ± 8	2954 ± 77	902 ± 2,12	698 ± 1	2,07 ± 0,00
20.3.A	2591 ± 250	2720 ± 216	331 ± 1	2388 ± 217	1101 ± 6	769 ± 5	2,70 ± 0,24
40.1.A	2117 ± 396	2143 ± 418	202 ± 19	1941 ± 399	638 ± 227	530 ± 74	2,17 ± 0,05
40.2.A	1637 ± 16	1695 ± 4	200 ± 1	1495 ± 4	737 ± 2	537 ± 2	2,47 ± 0,37
40.3.A	939 ± 48	1483 ± 11	256 ± 1	1227 ± 11	812 ± 11	556 ± 11	5,84 ± 0,62

*Mezcla 20: mezcla con 20 % harina de guisante o alubia. Mezcla 40: mezcla con 40 % harina de guisante o alubia. 1: sin harina de algarrobo, 2: 5 % harina de algarroba, 3: 10 % harina de algarroba.

CV: viscosidad en frío. HP: viscosidad en caliente. HS: viscosidad de caída. BD: estabilidad. FV: viscosidad final. SB: retrogradación. Pt: salida de pico.

La viscosidad en frío (CV) es la viscosidad máxima antes de comenzar el calentamiento durante un ciclo de viscosidad. La gran viscosidad inicial en todos los extrusionados ocurre porque el almidón ya está gelatinizado o dextrinado y las proteínas desnaturalizadas como consecuencia del proceso de cocción por extrusión, como también ha quedado reflejado en la disminución que se obtuvo en el valor de WAI (Tabla 5). En nuestro estudio, CV disminuyó con el tipo de leguminosa (alubia, guisante y algarroba) y con el porcentaje incluido en las mezclas. Las sustituciones más altas suponen menos almidón, y la reducción es más pronunciada en la harina de alubia que en las fórmulas con harina de guisante; y con la presencia de un alto porcentaje de fibra y azúcares debido a la harina de algarroba que compite por el agua disponible en el proceso.

Las interacciones entre componentes tales como proteína, fibra y grasa con gránulos de almidón afectan a la gelatinización del almidón y contribuyen a reducir la viscosidad (Ondo, Singkhornart, & Ryu, 2013; Robin et al., 2012). El pico de viscosidad (PV) de las harinas extruidas también disminuyó a medida que el contenido de almidón disminuía. Las harinas de leguminosas compitieron por el agua durante el proceso de extrusión, hecho que afecta al grado de gelatinización como ha quedado reflejado con los valores de HP.

El efecto que se observa en la gelatinización del almidón también ha tenido repercusión en el grado de expansión y, por tanto, en la densidad aparente (Yannioti, Petraki, & Soumpasi, 2007) como se ha registrado en el presente estudio. El mayor índice de expansión y la baja densidad aparente correspondieron al mayor valor de HP.

La viscosidad final (FV) tuvo un comportamiento diferente en snacks que contenían harina de guisantes que en aquellos que contenían alubias. Mientras que los extrusionados de arroz y guisante mostraron un menor valor de FV con el aumento del contenido de harina de guisante y algarroba, los extrusionados de arroz y alubia mostraron la tendencia opuesta y la VF y la retrogradación (SB) del almidón durante el enfriamiento aumentaron con el contenido de leguminosa, como se observa en la Tabla 6. En otros estudios se ha observado una disminución de la retrogradación al incorporar diferentes fuentes de fibra a las harinas de cereales (Jozinović, Šubarić, Ačkar, Babić, & Miličević, 2016; Nascimento, Calado & Carvalho, 2012), que es lo que ocurre en los extrusionados en los que se incorpora harina de guisante (Tabla 6). El diferente comportamiento del valor de la retrogradación en los extrusionados con los dos tipos de harina se puede explicar en parte por el distinto contenido de fibra, que es mucho mayor en harina de guisante que en harina de alubia, no obstante probablemente también se deba a la interacción de algunos componentes de la harina de alubia con los de la harina de arroz. Durante el enfriamiento, la asociación entre las moléculas de amilosa da lugar a la formación de una estructura de gel y conduce a un aumento de la viscosidad final de harinas extrusionadas de acuerdo con Hagenimana, Ding & Fang (2006) y Ondo et al. (2013). Este es el valor de FV que está asociado con el grado de cocción, con el

contenido de almidón y con cómo se encuentra este. Una alta viscosidad se puede atribuir a un bajo grado de cocción. Sin embargo, en el estudio las condiciones de procesado fueron iguales para todos los snacks, por lo que las variaciones en la FV se pueden atribuir a la interacción entre el almidón, la fibra y azúcares procedentes de la harina de algarroba, los cuales pueden haber protegido al almidón de la dextrinización y por lo tanto, disminuir el grado de cocción.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio indican que el guisante, la alubia y la algarroba se pueden incorporar en una fórmula base de arroz a través de un extrusor de doble husillo para la elaboración de snacks expandidos para desarrollar productos extrusionados saludables y sin gluten.

La presencia de la harina de leguminosas afectó a las propiedades de empastamiento de las mezclas propuestas, reduciendo su valor a medida que se sustituyó la harina de arroz por harina de leguminosa.

La proporción y tipo de leguminosa añadida afectó significativamente a las propiedades fisicoquímicas, funcionales y de empastamiento de los productos finales debido a la dilución del contenido total de almidón y al incremento de la presencia de proteínas, fibra dietética, lípidos y azúcares y las modificaciones debidas a la acción de las condiciones del proceso de extrusión sobre el almidón, proteínas y fibra. Destaca la disminución del índice de expansión, que se ve más afectado con la inclusión de harina de algarroba. Por otra parte, el índice de absorción de agua disminuyó y el índice de solubilización en agua aumentó a medida que se incrementaba el nivel de sustitución de las tres leguminosas en todos los productos extrusionados.

El efecto del procesado sobre las propiedades funcionales de las mezclas de arroz y leguminosas propuestas se reflejó en un incremento de las propiedades de hidratación y una modificación de las propiedades de empastamiento que ponen de manifiesto la utilidad de estas harinas después del proceso de extrusión como nuevos ingredientes con utilidad, por ejemplo, para rebozados o productos de hidratación instantánea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC International (2012). Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 61-02.01. Determination of the Pasting Properties of rice with the Rapid Visco Analyzer. November 3, 2012. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A.

Aboagye, Y., & Stanley, D. (1987). Thermoplastic extrusion of peanut flour by twin-screw extruder. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 20(3), 148-153.

Ai, Y., Cichy, K. A., Harte, J. B., Kelly, J. D., & Ng, P. K. (2016). Effects of extrusion cooking on the chemical composition and functional properties of dry common bean powders. *Food Chemistry*, 211, 538-545.

Alam, M.S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2016). Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Critical Reviews in Food Science*, 56(3), 445-473.

Alonso, R., Orúe, E., & Marzo, F. (1998). Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. *Food Chemistry*, 63(4), 505-512.

Altan, A., McCarthy, K., & Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley–grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89(1), 24-32.

Anderson, R. (1982). Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chemistry*, 59, 265-269.

Anderson, R., Conway, H., Pfeifer, V., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*, 14(1), 4-11.

Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S.D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989-996.

Arêas, J. (1992). Extrusion of food proteins. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 32(4), 365-392.

Asare, E. K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E., & Afoakwa, E. O. (2004). Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice–cowpea–groundnut blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(5), 431-439.

Bassinello, P. Z., de GC Freitas, D., Ascheri, J. L. R., Takeiti, C. Y., Carvalho, R. N., Koakuzu, S. N., & Carvalho, A. V. (2011). Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science*, 1(1), 1645-1652.

Bassinello, P., Carvalho, A., Rios, A., Maciel, R., & Berrios, J. (2015). Expanded Gluten Free Extrudates Made from Rice Grits and Bandinha (Bean) Flour Mixes: Main Quality Properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2267-2275.

Bengoechea, C., Puppo, M., Romero, A., Cordobés, F., & Guerrero, A. (2008). Linear and non-linear viscoelasticity of emulsions containing carob protein as emulsifier. *Journal of Food Engineering*, 87(1), 124-135.

Berrios, J. (2006). Extrusion cooking of legumes: Dry bean flours. In: Helman DR, Moraru CI, editors. *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering*, 1st edition. New York, NY: Taylor and Francis Group, 1-8.

Berrios, J., Morales, P., Camara, M., & Sánchez-Mata, M. (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, 43(2), 531-536.

Berrios, J., Wood, D., Whitehand, L., & Pan, J. (2004). Sodium bicarbonate and the microstructure, expansion and color of extruded black beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(5), 321-335.

Bressani, R. (1975). Legumes in human diets and how they might be improved. *Nutritional Improvement of Food Legumes by Breeding*. M. Milner, ed. Wiley & Sons, New York, 15-42.

Chauhan, G. S., & Bains, G. S. (1988). Effect of some extruder variables on physico-chemical properties of extruded rice—Legume blends. *Food Chemistry*, 27(3), 213-224.

Chung, H. J., Liu, Q., Hoover, R., Warkentin, T. D., & Vandenberg, B. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. *Food Chemistry*, 111(2), 316-321.

Colonna, P., Tayeb, J., & Mercier, C. (1998). Extrusion cooking of starch and starchy product. In C. Mercier, P. Linko, & M. Harper, *Extrusion cooking* (pp. 247-319). Inc. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemist.

D'Appolonia, B. L. (1977). Rheological and baking studies of legume-wheat flour blends. *Cereal Chemistry*, 54(1), 53-63.

da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., de Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., & Berrios, J. D. J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2), 620-626.

Davidson, V., Paton, D., Diosady, L., & Larocque, G. (1984). Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. *Journal of Food Science*, 49(2), 453-458.

Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A. K., & Brennan, C. S. (2010). The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry*, 123(4), 1117-1122.

Dogan, H., & Karwe, M. (2003). Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9(2), 101-114.

Du, S.K., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J.L. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 308-313.

Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67-82.

Durazzo, A., Turfani, V., Narducci, V., & Azzini, E. (2014). Nutritional characterisation and bioactive components of commercial carobs flours. *Food Chemistry*, 153, 109-113.

Fernández-Gutiérrez, J. A., Martín-Martínez, S., Martínez-Bustos, F., & Cruz. Orea, A. (2004). Physicochemical properties of casein-starch interaction obtained by extrusion process. *Starch-Stärke*, 56(5), 190-198.

Einde, R., Goot, A., & Boom, R. (2003). Understanding molecular weight reduction of starch during heating shearing processes. *Journal of Food Science*, 68(8), 2396-2404.

FDA (2016). *Questions and Answers for Industry on Dietary Fiber*. Recuperado de: <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/LabelingNutrition/ucm528582.htm>

Gujaska, E., & Khan, K. (1991). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science*, 56(2), 431-435.

Gupta, M., Bawa, A. S., & Semwal, A. D. (2008). Effect of barley flour on development of rice-based extruded snacks. *Cereal Chemistry*, 85(2), 115-122.

Gutkoski, L., & El-Dash, A. (1999). Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54(4), 315-325.

Guy, R., & Horne, A. (1988). Extrusion and co-extrusion of cereals. J. Kokini, C. Ho, & M. Karwe, Edits. *Food extrusion, Science and Technology*. Dekker, NY.

Guzmán-Ortiz, F. A., Hernández-Sánchez, H., Yee-Madeira, H., San Martín-Martínez, E., del Carmen Robles-Ramírez, M., Rojas-López, M., Berrios, J.J., & Mora-Escobedo,

R. (2015). Physico-chemical, nutritional and infrared spectroscopy evaluation of an optimized soybean/corn flour extrudates. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4066-4077.

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

Harper, J. M., (1981). *Extrusion of foods*. Vol. I. Boca Ratón, FL. CRC press.

Ilo, S., Tomschik, U., Berghofer, E., & Mundigler, N. (1996). The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *LWT-Food Science and Technology*, 29(7), 593-598.

Jin, Z., Hsieh, F., & Huff, H. (1995). Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. *Journal of Cereal Science*, 22(2), 185-194.

Jisha, S., Sheriff, J., & Padmaja, G. (2010). Nutritional, functional and physical properties of extrudates from blends of cassava flour with cereal and legume flours. *International Journal of Food Properties*, 13(5), 1002-1011.

Jones, D., Chinnaswamy, R., Tan, Y., & Hanna. (2000). Physiochemical. *Cereal Foods World*, 45(4), 164-168.

Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Babić, J., & Miličević, B. (2016). Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. *Journal of Food Engineering*, 172, 31-37.

Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 91(3), 403-411.

Kim, C., Maga, J., & Martin, J. (1989). Properties of extruded dried distiller grains (DDG) and flour blends. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13(3), 219-231.

Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56(3), 242-258.

Kour, J., & Saxena, D.C. (2014). Studies on the development of nutraceutical foods using extrusion technology-a review. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(5), 1028.

Kumar, N., Sarkar, B., & Sharma, H. (2010). Development and characterization of extruded product of carrot pomace, rice flour and pulse powder. *African Journal of Food Science*, 4 (11), 703-717.

- Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M., & Nakayama, T. (2002). Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(2), 373-377.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392-408.
- Lazou, A., Krokida, M., Karathanos, V., & Marinos-Kouris, D. (2010). Mechanical properties of corn-legume based extrudates. *International Journal of Food Properties*, 13(4), 847-863.
- Li, M., & Lee, T. (1996). Effect of extrusion temperature on solubility and molecular weight distribution of wheat flour proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 763-768.
- Lin, S., Huff, H., & Hsieh, F. (2002). Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *Journal of Food Science*, 67(3), 1066-1072.
- Liu, K., & Hsieh, F. (2008). Protein–protein interactions during high-moisture extrusion for fibrous meat analogues and comparison of protein solubility methods using different solvent systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(8), 2681-2687.
- Liu, Q., Gu, Z., Donner, E., Tetlow, I., & Emes, M. (2007). Investigation of digestibility in vitro and physicochemical properties of A-and B-type starch from soft and hard wheat flour. *Cereal Chemistry*, 84(1), 15-21.
- Marcoa, C., & Rosell, C. (2008). Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering*, 84(1), 132-139.
- Matthey, F., & Hanna, M. (1997). Physical and functional properties of twin-screw extruded whey protein concentrate–corn starch blends. *LWT-Food Science and Technology*, 30(4), 359-366.
- Mensa-Wilmot, Y., Dixon-Phillips, R., & Sefa-Deheh, S. (2001). Acceptability of extrusion cooked cereal/legume weaning food supplements to Ghanaian mothers. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 52(1), 83-90.
- Mitchell, D. C., Lawrence, F. R., Hartman, T. J., & Curran, J. M. (2009). Consumption of dry beans, peas, and lentils could improve diet quality in the US population. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(5), 909-913.
- Mollard, R. C., Wong, C. L., Luhovyy, B. L., Cho, F., & Anderson, G. H. (2014). Second-meal effects of pulses on blood glucose and subjective appetite following a standardized meal 2 h later. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(7), 849-851.

Moore, D., Sanei, A., Hecke, E., & Bouvier, J. (1990). Effect of ingredients on physical/structural properties of extrudates. *Journal of Food Science*, 55(5), 1383-1387.

Moraru, C., & Kokini, J. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147-165.

Nascimento, T., Calado, V., & Carvalho, C. (2012). Development and characterization of flexible film based on starch and passion fruit mesocarp flour with nanoparticles. *Food Research International*, 49(1), 588-595.

Ondo, S., Singkhornart, S., & Ryu, G.-H. (2013). Effects of die temperature, alkalized cocoa powder content and CO₂ gas injection on physical properties of extruded cornmeal. *Journal of Food Engineering*, 117(2), 173-182.

Onwulata, C., Smith, P., Konstance, R., & Holsinger, V. H. (2001). Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, 34(8), 679-687.

Ortega, N., Macià, A., Romero, M.-P., Reguant, J., & Motilva, M.-J. (2011). Matrix composition effect on the digestibility of carob flour phenols by an in-vitro digestion model. *Food Chemistry*, 124(1), 65-71.

Otto, T., Baik, B., & Czuchajowska, Z. (1997) Microstructure of seeds, flours, and starches of legumes. *Cereal Chemistry*, 74(4), 445-451.

Pai, D., Blake, O., Hamake, B., & Campanella, O. (2009). Importance of extensional rheological properties on fiber-enriched corn extrudates. *Journal of Cereal Science*, 50(2), 227-234.

Patil, R., Berrios, J. D., Tang, D., & Swanson, B. (2007). Evaluation of methods for expansion properties of legume extrudates. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(6), 777-783.

Pedrosa, M.M., Cuadrado, C., Burbano, C., Muzquiz, M., Cabellos, B., Olmedilla-Alonso, B., & Asensio-Vegas, C. (2015a). Effects of industrial canning on the proximate composition, bioactive compounds contents and nutritional profile of two Spanish common dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 166, 68-75.

Pedrosa, M.M., Cabellos, B., Arribas, C., Cuadrado, C., Burbano, C. & Muzquiz, M. (2015b). Development and characterization of rice bases extruded product foods fortifies with legume flours. In: *Eucarpia International Symposium on Protein Crops*. (Spanish Association for Legumes & A. de Ron Ed). pp 141-143.

- Pelembe, A., Erasmus, C., & Taylor, J. R. (2002). Development of a protein-rich composite sorghum–cowpea instant porridge by extrusion cooking process. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2), 120-127.
- Rathod, R., & Annapure, U. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 114-123.
- Ravindran, G., Carr, A., & Hardacre, A. (2011). A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea–rice blends. *Food Chemistry*, 124 (4), 1620-1626.
- Rebello, C., Greenway, F., & Finley, J. (2014). Whole grains and pulses: a comparison of the nutritional and health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(29), 7029-7049.
- Robertson, J. A., De Monredon, F., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J.-F. (2000). Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: A European collaborative study. *LWT-Food Science and Technology*, 33, 72-79.
- Robertson, J.A., & Eastwood, M.A., (1981a). An examination of factors which may affect the water holding capacity of dietary fibre, *British Journal of Nutrition*, 45, 83-88.
- Robertson, J.A., & Eastwood, M.A., (1981b). A method to measure the water-holding properties of dietary fibre using suction pressure, *British Journal of Nutrition*, 46(2), 247-255.
- Robin, F., Schuchmann, H.P. & Palzer, S. (2012). Dietary fibre in extruded cereals: limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 28, 23-32.
- Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C., Delgado-Licon, E., & Vivar-Vera, M. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 673-680.
- Ryu, G., Neumann, P., & Walker, C. (1993). Effects of some baking ingredients on physical and structural properties of wheat flour extrudates. *Cereal Chemistry*, 70(3), 291-297.
- SAS Institute, S. (1989). SAS/STAT User's Guide, Version 6. (4th ed. Vol. 2, 846). Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Sathe, S., Deshpande, S., & Salunkhe, D. (1982). Functional properties of lupin seed (*Lupinus mutabilis*) proteins and protein concentrates. *Journal of Food Science*, 47(2), 491-497.

Sekhon, K., Dhillon, S., Singh, N., & Singh, B. (1997). Functional suitability of commercially milled rice bran in India for use in different food products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50(2), 127-140.

Shekib, L. A., Zoueil, M. E., Youssef, M. M., & Mohamed, M. S. (1986). Amino acid composition and In vitro digestibility of lentil and rice proteins and their mixture (Koshary). *Food Chemistry*, 20(1), 61-67.

Singh, B., Sekhon, K. S., & Singh, N. (2007). Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice. *Food Chemistry*, 100(1), 198-202.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156-164.

Suksomboon, N., Poolsup, N., Boonkaew, S., & Suthisisang, C. (2011). Meta-analysis of the effect of herbal supplement on glycemic control in type 2 diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*, 137(3), 1328-1333.

Tremaine, A., & Schoenfuss, T. (2014). Twin Screw Extrusion Puffing of Nonfat Dry Milk and Starch—The Effects of Acid Addition, Fluid Addition Rate and Nonfat Dry Milk Concentration on Extruded Products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 232-246.

Van Loo, J. (1998). Non-digestible oligosaccharides are prebiotic functional food ingredients with promising health benefits. *Proceedings of Profibre*. Lisbon.

Varela, P., Chen, J., Fiszman, S., & Povey, M. (2007). Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: Texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics*, 20(6-7), 311-320.

Xu, E., Wu, Z., Pan, X., Long, J., Wang, F., Xu, X., & Jiao, A. (2016). Effect of enzymatic (thermostable α -amylase) treatment on the physicochemical and antioxidant properties of extruded rice incorporated with soybean flour. *Food Chemistry*, 197, 114-123.

Yağcı, S., & Göğüş, F. (2008). Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 122-132.

Yannioti, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594-599.

Youssef, M., El-Manfaloty, M., & Ali, H. (2013). Assessment of proximate chemical composition, nutritional status, fatty acid composition and phenolic of carob (*Ceratonia siliqua* L). *Food and Public Health*, 3(6), 304-308.

Zhang, J., Shi, J., Ilic, S., Jun Xue, S., & Kakuda, Y. (2008). Biological properties and characterization of lectin from red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*). *Food Reviews International*, 25(1), 12-27.

Zhang, M., Bai, X., & Zhang, Z. (2011). Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *Journal of Cereal Science*, 54(1), 98-103.

ANEXO

- **Propiedades de empastamiento de las mezclas preparadas con harina de arroz y harina de guisante (G), alubia (A) y algarroba.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones		
	G	A	G + A
Viscosidad máxima (PV)	>0,150	>0,150	>0,100
Viscosidad de caída (HS)	0,111	0,122	>0,100
Estabilidad (BD)	>0,150	>0,150	>0,100
Viscosidad final (FV)	>0,150	>0,150	>0,100
Retrogradación (SB)	>0,150	>0,150	>0,100
Salida de pico (Pt)	<0,010*	>0,150	<0,010*
Temperatura de empastamiento (PT)	0,018*	>0,150	<0,010*

**Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal*

Resumen de las diferencias significativas entre procesos, valores p dos colas

PV	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,013*			0,086					
20.2.G	0,037*				0,007*			0,092				
20.3.G	0,021*	0,014*				0,109			0,081			
40.1.G										0,007*		
40.2.G				0,021*							0,015*	
40.3.G				0,062	0,181							0,073
20.1.A										0,032*		
20.2.A							0,223				0,047*	
20.3.A							0,120	0,014*				0,053
40.1.A												
40.2.A										0,034*		
40.3.A										0,039*	0,010*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

HS	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,263			0,468					
20.2.G	0,369				0,050			0,941				
20.3.G	0,119	0,073				0,124			0,124			
40.1.G										0,414		
40.2.G				0,110							0,192	
40.3.G				0,116	0,134							0,861
20.1.A										0,069		
20.2.A							0,581				0,229	
20.3.A							0,589	0,923				0,247
40.1.A												
40.2.A										0,457		
40.3.A										0,465	0,475	

CAPÍTULO 2: Desarrollo de aperitivos extrusionados utilizando mezclas con harina de leguminosas y efecto sobre sus propiedades físicas y de empastamiento

BD	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,156			0,266					
20.2.G	0,729			0,008*				0,214				
20.3.G	0,070	0,021*			0,950				0,091			
40.1.G										0,254		
40.2.G				0,026*							0,005*	
40.3.G				0,118	0,258							0,121
20.1.A										0,058		
20.2.A								0,405			0,224	
20.3.A								0,086	0,440			0,085
40.1.A												
40.2.A										0,200		
40.3.A										0,052	0,053	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

FV	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,042*			0,115					
20.2.G	0,083			0,009*				0,476				
20.3.G	0,013*	0,002*			0,324				0,009*			
40.1.G										0,241		
40.2.G				0,076							0,058	
40.3.G				0,060	0,052							0,985
20.1.A										0,026*		
20.2.A								0,126			0,041*	
20.3.A								0,013*	0,210			0,007*
40.1.A												
40.2.A										0,007*		
40.3.A										0,017*	0,022*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

CAPÍTULO 2: Desarrollo de aperitivos extrusionados utilizando mezclas con harina de leguminosas y efecto sobre sus propiedades físicas y de empastamiento

SB	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,156			0,149					
20.2.G	0,996			0,009*				0,742				
20.3.G	0,068	0,027*			0,604					0,067		
40.1.G										0,824		
40.2.G				0,043*						0,007*		
40.3.G				0,045*	0,045*						0,513	
20.1.A										0,048*		
20.2.A							0,148			0,153		
20.3.A							0,123	0,502			0,092	
40.1.A												
40.2.A										0,154		
40.3.A										0,028*	0,029*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

Pt	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,500			0,573					
20.2.G	0,500			0,286				0,552				
20.3.G	0,315	0,264			0,755					0,500		
40.1.G										0,500		
40.2.G				0,550						0,398		
40.3.G				0,018*	0,037*						0,500	
20.1.A										0,656		
20.2.A							0,500			0,500		
20.3.A							0,604	0,725			0,703	
40.1.A												
40.2.A										0,610		
40.3.A										0,379	0,053	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

PT	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,286			1,000					
20.2.G	0,987				0,202			0,667				
20.3.G	0,262	0,252				0,220			0,545			
40.1.G										0,500		
40.2.G				0,018*							0,500	
40.3.G				0,165	0,500							0,197
20.1.A										0,157		
20.2.A							0,518				0,284	
20.3.A							0,148	0,384				0,110
40.1.A												
40.2.A										0,542		
40.3.A										0,126	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

- **Índice de expansión, densidad aparente, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y capacidad de retención de agua de las mezclas extrusionadas.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones		
	G	A	G + A
Índice de expansión (IE)	<0,010*	>0,150	>0,100
Densidad aparente (DA)	<0,010*	<0,010*	>0,100
Índice de absorción de agua (WAI)	0,107	>0,150	>0,100
Índice de solubilidad en agua (WSI)	0,076	>0,150	>0,100
Capacidad de retención de agua (WRC)	>0,150	>0,150	>0,150

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

Resumen de las diferencias significativas entre procesos, valores p dos colas

IE	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,119			0,932					
20.2.G	0,000*				0,000*			0,006*				
20.3.G	0,000*	0,000*				0,222			0,576			
40.1.G										0,000*		
40.2.G				0,000*							0,528	
40.3.G				0,000*	0,047*							0,000*
20.1.A										0,000*		
20.2.A							0,000*				0,000*	
20.3.A							0,000*	0,000*				0,000*
40.1.A												
40.2.A										0,000*		
40.3.A										0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

DA	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,119			0,953					
20.2.G	0,000*				0,000*			0,000*				
20.3.G	0,000*	0,000*				0,222			0,000*			
40.1.G										0,000*		
40.2.G				0,000*							0,000*	
40.3.G				0,000*	0,047*							0,000*
20.1.A										0,004*		
20.2.A							0,002*				0,024*	
20.3.A							0,000*	0,000*				0,001*
40.1.A												
40.2.A										0,009*		
40.3.A										0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

CAPÍTULO 2: Desarrollo de aperitivos extrusionados utilizando mezclas con harina de leguminosas y efecto sobre sus propiedades físicas y de empastamiento

WAI	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,242			0,002*					
20.2.G	0,011*				0,001*			0,003*				
20.3.G	0,020*	0,125				0,003*			0,009*			
40.1.G										0,031*		
40.2.G				0,066							0,098	
40.3.G				0,025*	0,176							0,255
20.1.A										0,006*		
20.2.A							0,052				0,146	
20.3.A							0,178	0,638				0,691
40.1.A												
40.2.A										0,057		
40.3.A										0,008*	0,147	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

WSI	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,009*			0,010*					
20.2.G	0,011*				0,634			0,404				
20.3.G	0,024*	0,063				0,446			0,972			
40.1.G										0,226		
40.2.G				0,051							0,599	
40.3.G				0,116	0,157							0,227
20.1.A										0,002*		
20.2.A							0,090				0,289	
20.3.A							0,220	0,342				0,181
40.1.A												
40.2.A										0,788		
40.3.A										0,447	0,606	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

WRC	20.1.G	20.2.G	20.3.G	40.1.G	40.2.G	40.3.G	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G				0,063			0,146					
20.2.G	0,244				0,002*			0,083				
20.3.G	0,204	0,050				0,004*			0,082			
40.1.G										0,009*		
40.2.G				0,002*							0,016*	
40.3.G				0,581	0,052							0,167
20.1.A										0,512		
20.2.A							0,158				0,875	
20.3.A							0,009*	0,000*				0,002*
40.1.A												
40.2.A										0,187		
40.3.A										0,055	0,001*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

▪ **Propiedades de empastamiento de las mezclas de harina extrusionadas.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones	
	G	A
Viscosidad en frío (CV)	>0,150	>0,150
Viscosidad en caliente (HP)	>0,150	>0,150
Viscosidad de caída (HS)	>0,150	0,012*
Estabilidad (BD)	>0,150	>0,150
Viscosidad final (FV)	0,018*	>0,150
Retrogradación (SB)	0,117	>0,150
Salida de pico (Pt)	<0,010*	<0,010*

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

Resumen de las diferencias significativas entre procesos, valores p dos colas

CV	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,559					
20.2.G		0,574				
20.3.G			0,742			
40.1.G				0,135		
40.2.G					0,072	
40.3.G						0,052

HP	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,347					
20.2.G		0,604				
20.3.G			0,768			
40.1.G				0,071		
40.2.G					0,067	
40.3.G						0,224

HS	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,077					
20.2.G		0,378				
20.3.G			0,019*			
40.1.G				0,117		
40.2.G					0,147	
40.3.G						0,143

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

BD	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,379					
20.2.G	0,451					
20.3.G	0,572					
40.1.G				0,085		
40.2.G				0,072		
40.3.G				0,072		

FV	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,014*					
20.2.G	0,002*					
20.3.G	0,042*					
40.1.G				0,246		
40.2.G				0,105		
40.3.G				0,098		

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

SB	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,105					
20.2.G	0,037*					
20.3.G	0,092					
40.1.G				0,134		
40.2.G				0,112		
40.3.G				0,169		

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre procesos

Pt	20.1.A	20.2.A	20.3.A	40.1.A	40.2.A	40.3.A
20.1.G	0,500					
20.2.G		0,500				
20.3.G			0,500			
40.1.G				0,233		
40.2.G					0,433	
40.3.G						0,377

CAPÍTULO 3



EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SALVADO DE TRIGO EXTRUSIONADO EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD Y ENVEJECIMIENTO DEL PAN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del pan

El pan forma parte del grupo de alimentos que compone la base de la alimentación. Constituye una fuente económica de energía por contener carbohidratos, lípidos y proteínas, y es también una fuente de vitaminas esenciales del grupo B, vitamina E, minerales y elementos traza (Collado-Fernández, 2003). Concretamente, es rico en hidratos de carbono complejos (50-60 %) y por tanto, de absorción lenta, siendo el componente mayoritario el almidón. Entre los minerales que contiene destacan el P, K y Mg (Dewettinck et al., 2008).

El consumo per cápita de pan en España durante 2015 fue de 35,15 kg/persona y año, un 2,1 % menos que el año anterior. Del total de pan que se consume en los hogares españoles, el 76,4 % corresponde a pan blanco y solo el 7 % a pan integral (MAPAMA, 2015).

El pan es uno de los productos básicos de mayor consumo, no obstante, se calcula que el pan y los cereales suponen el 20 % del desperdicio alimentario que se genera en España (HISPACOOOP, 2012) y el 22 % del total generado por la industria agroalimentaria (MAPAMA, 2014). Este hecho es debido a la corta vida útil de este producto, consecuencia del fenómeno denominado “*envejecimiento del pan*”.

1.2 Envejecimiento del pan

Bechtel et al. (1953) definieron el envejecimiento del pan como “*el término que indica la disminución de la aceptación sensorial de los productos de panadería causada por los cambios en la miga distintos al deterioro debido a la acción de los microorganismos*”. El envejecimiento del pan es un proceso que tiene lugar durante el almacenamiento del producto y consta de una serie de procesos que dan lugar a un endurecimiento de la corteza, reblandecimiento de la miga y pérdida del característico sabor fresco del producto (Gray & Bemiller, 2003). Estas alteraciones están causadas por un conjunto de fenómenos complejos que ocurren simultáneamente y que se

relacionan entre sí, como son la retrogradación del almidón, la migración del agua o las interacciones gluten-almidón.

Por tanto, los principales parámetros que definen el envejecimiento son el incremento en la firmeza y la pérdida de la frescura del pan. Ambos varían como consecuencia de la recristalización del almidón (es uno de los factores que más contribuyen al endurecimiento de la corteza), por la deshidratación y la subsecuente pérdida de plasticidad, así como por la modificación de las interacciones gluten-almidón.

El almidón en estado nativo está compuesto por capas cristalinas y amorfas, encontrándose en forma de gránulos ovoides. Está constituido por dos tipos de cadenas poliméricas (Figura 1), unas largas y lineales que forman la amilosa y constituyen el 18-30 % del peso del almidón, y otras ramificadas en forma arborescente que forman la amilopectina y suponen el 70-80 % del peso del mismo (Chargelegue, Guinet, Neyreneuf, Onno, & Pointrenaud, 1994).

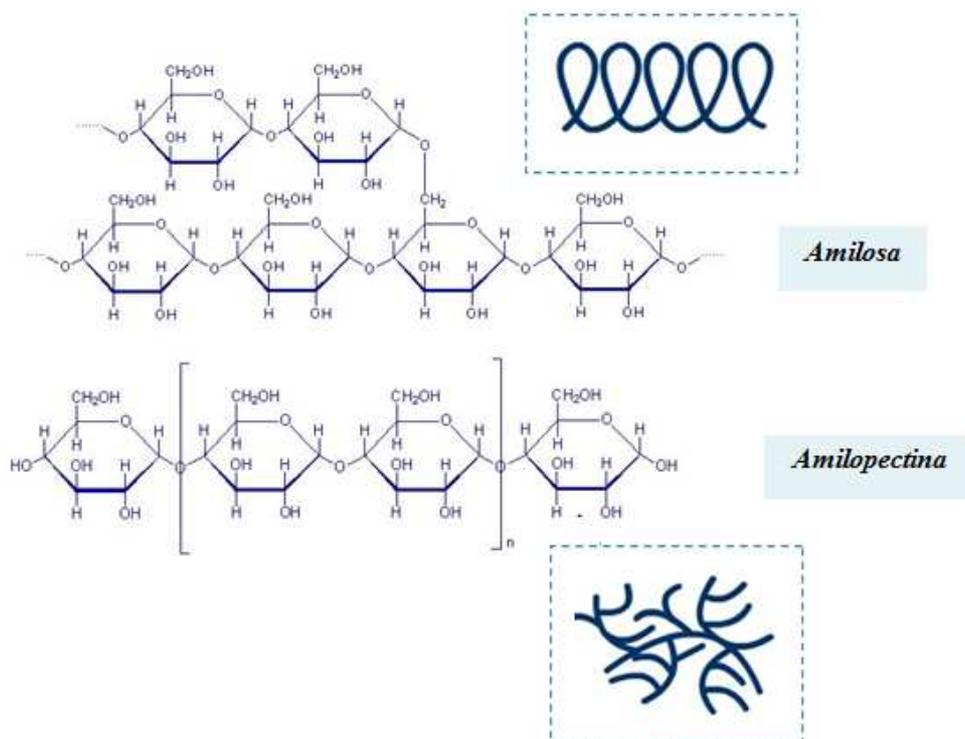


Figura 1. Estructura de los componentes del almidón; amilosa y amilopectina.

Cuando el almidón se calienta, los gránulos absorben agua y se hinchan perdiendo su estructura, de forma que la amilosa lixivia al medio. Este proceso se denomina *gelatinización*. Cuando la temperatura del almidón gelatinizado disminuye, se forma un gel que va retrayéndose y se endurece a la vez que se elimina el agua. Durante este proceso, las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan de una forma cristalina diferente a su estado nativo, que es lo que se conoce como *retrogradación*. Se considera que la retrogradación del almidón contribuye significativamente al envejecimiento o al endurecimiento no deseable del pan y de otros productos de panadería (D'Appolonia & Morad, 1981; Kulp, Ponte, & D'Appolonia, 1981). La *retrogradación*, desde el punto de vista del pan, es la insolubilización y precipitación de la amilosa, que durante el horneado difunde fuera del gránulo y durante el enfriamiento se reorienta formando puentes de hidrógeno entre sus cadenas lineales. La amilosa que lixivia de los gránulos de almidón durante la gelatinización puede retrogradar rápidamente causando un aumento de la firmeza en las primeras horas tras el horneado del pan. Sin embargo, durante el almacenamiento del pan se produce la retrogradación de la amilopectina, que es la principal responsable del envejecimiento (Goesaert et al., 2005).

El agua tiene un papel fundamental en el envejecimiento del pan. El agua migra del interior (miga) hacia el exterior (corteza) y se redistribuye a nivel molecular, incorporándose parcialmente en los cristales de almidón y redistribuyéndose entre las diferentes partes del pan (Baik & Chinachoti, 2001; Curti, Carini, Tribuzio, & Vittadini, 2014; Schiraldi & Fessas, 2012; Slade, Levine, & Reid, 1991; Vittadini & Vodovotz, 2003).

Durante el horneado, el almidón gelatiniza y este fenómeno participa en la creación de la estructura de la miga (Miyazaki, Van Hung, Maeda, & Morita, 2006). El elevado contenido final de agua en la miga (35-45 %) es responsable de las características de textura y del carácter blando, y además explica la sensibilidad del almidón a la retrogradación durante el almacenamiento (Cuq, Abecassis, & Guilbert, 2003).

Existen una serie de técnicas que han sido utilizadas para medir o investigar los efectos del envejecimiento del pan y los cambios que acompañan este proceso. Estas técnicas son: la medida de la firmeza, la determinación de las propiedades de empastamiento o la evaluación sensorial. Todas ellas están basadas en la determinación del alcance de la retrogradación del almidón.

A pesar de que el fenómeno del envejecimiento del pan ha sido estudiado durante más de 150 años, no se ha logrado eliminar y este efecto continúa generando pérdidas económicas a productores y consumidores (Gray & Bemiller, 2003). Algunos estudios han analizado la incorporación de diferentes ingredientes para retrasar el envejecimiento del pan: β -glucano de avena (Hager et al., 2011), avena (Huettnner, Bello, & Arendt, 2010), hidrocoloides para mejorar la retención de agua (Purhagen, Sjöo, & Eliasson, 2012), pentosanos (Kim & D'Appolonia, 1977), enzimas o agentes surfactantes (Gray

& Bermiller, 2003). Recientemente, Curti, Carini, Tribuzio & Vittadini (2015) investigaron la mejora de las propiedades fisicoquímicas del pan durante el almacenamiento mediante la incorporación de fibra de patata. Con anterioridad, analizaron el efecto del salvado sobre las propiedades del pan, observando que el salvado modificaba el estado en el que se presenta el agua a nivel estructural, a nivel molecular y macroscópico, lo que reducía el volumen del pan e incrementaba la dureza de la corteza (en distintos grados, en función de la composición del salvado). No obstante, son pocos los estudios en los que se analiza la incorporación de fibra para alargar la vida útil del pan.

1.3 Pan con fibra

En la actualidad existe un creciente interés por la incorporación de fibra dietética en alimentos de consumo humano debido a sus reconocidos efectos sobre la salud (Ktenioudaki & Gallagher, 2012; Verardo et al., 2011).

Como se ha comentado en los capítulos anteriores, los efectos de la fibra sobre la salud están perfectamente documentados tanto en relación con la frecuencia del tránsito intestinal (Feldheim & Wisker, 2002) como en la prevención del estreñimiento, la reducción del riesgo de cáncer colorrectal (Faivre & Bonithon-Kopp, 1999), la disminución en la demanda de insulina y la regulación del peso corporal (Chawla & Patil, 2010). Por otra parte, también se conoce el papel de la fibra en la producción de ácidos grasos de cadena corta (Karppinen, Liukkonen, Aura, Forssell, & Poutanen, 2000) y su efecto prebiótico sobre la microbiota del intestino. De hecho, una dieta baja en fibra está asociada con enfermedades degenerativas, como por ejemplo, el estreñimiento, diverticulitis, apendicitis, venas varicosas, hernia de hiato, entre otras (Charalampopoulos, Wang, Pandiella, & Webb, 2002; Topping & Clifton, 2001). Igualmente, se ha fundamentado que el consumo de cantidades adecuadas de fibra dietética reduce el riesgo de padecer enfermedades coronarias (Bazzano, He, Ogden, Loria, & Whelton, 2003).

Los productos de panadería son considerados como un buen vehículo para incrementar el contenido en fibra y son numerosos los estudios llevados a cabo para el desarrollo de pan enriquecido con fibra (Gómez, Ronda, Blanco, Caballero, & Apesteguía, 2003; Katina, Salmenkallio-Marttila, Partanen, 2006; Rosell, Santos, & Collar, 2006; Wang, Rossell, & de Barber, 2002) con el fin de elevar su consumo en la población a través del desarrollo de productos más apetecibles sensorialmente.

El pan integral se elabora con harina de cereal completo. El contenido de fibra dietética de la harina de trigo integral es del 10,2 %, comparado con el 2,5 % de la harina blanca refinada (Sidhu, Al-Hooti, & Al-Saquer, 1999). En el mercado se puede encontrar una gran variedad de pan con fibra, desde productos con un bajo volumen específico y miga

con textura densa hasta barras con textura fina, en los que se han utilizado mejorantes, emulsionantes y gluten de trigo añadido (Mohamed, Rayas-Duarte, Shogren, & Sessa, 2006). Sin embargo, son muchos los consumidores que prefieren productos elaborados con harina refinada frente a los elaborados con grano completo. Esto es debido a que los últimos presentan propiedades menos atractivas de textura (Noort, van Haaster, Hemery, Schols, & Hamer, 2010) y una apariencia menos brillante de la miga. También porque el grano completo puede dar un sabor más amargo como resultado de que los componentes con propiedades amargas se concentran en las capas externas del grano (Heiniö et al., 2008; Jensen, Oestdal, Skibsted, Larsen, & Thybo, 2011). Por esta razón y a fin de obtener panes con alto contenido en fibra, se ha estudiado la incorporación de fibras procedentes de distintos cereales tales como el salvado de trigo, salvado de avena, salvado de maíz, salvado de cebada, salvado de arroz desgrasado y cascarilla de psyllium (*Plantago ovata*) (Abdul-Hamid & Siew Luan, 2000; Choi, 2005; Pomeranz, Shogren, Finney, & Bechtel, 1977; Gan, Galliard, Ellis, Angold, & Vaughan, 1992; Lai, Hosney, & Davis, 1989; Laurikainen, Härkönen, Autio, & Poutan, 1998; Sidhu, Al-Hooti, & Al-Saqer, 1999; Singh, Liu, & Vaughn, 2012; Seyer & Gelinas, 2009; Sidhu et al., 1999; Wang et al., 2002; Zhang & Moore, 1999). A pesar del beneficio nutricional que supone la incorporación de fibra en el pan, su aplicación está limitada debido a que causa un detrimento considerable de la calidad de este producto (Katina et al., 2006).

1.3.1 Efectos de la incorporación de fibra en las masas panarias

La incorporación de fibra ocasiona alteraciones en las propiedades reológicas de las masas, como es una baja extensibilidad, debido a que la fibra interfiere en el adecuado desarrollo de la masa (Seguchi, Uozu, Oneda, Murayama, & Okusu, 2010) y, finalmente, en la calidad y propiedades sensoriales del pan. Entre los efectos más destacables están la reducción del volumen del pan y la obtención de una miga con textura más densa (Pomeranz et al., 1977). Wang et al. (2003) establecieron que las fibras actúan mediante una combinación de mecanismos físicos y químicos. Los mecanismos físicos están relacionados con la capacidad de ligar agua, mientras que los mecanismos químicos están relacionados con la presencia del ácido ferúlico.

La estructura final del pan es el resultado de un proceso en el que se forman distintos tipos de enlaces entre cadenas vecinas de biopolímeros (gluten y almidón) presentes en la masa y donde el agua actúa como plastificante (Biliaderis, Page, & Maurice, 1986). El gluten es un componente esencial en el proceso de elaboración del pan y el trigo es el cereal que aporta las proteínas necesarias para la formación de esta red de gluten. La sustitución de harina por fibra interrumpe la correcta formación de la red de gluten-almidón (Rojas, Rosell, & de Barber, 1999; Rosell & Foegeding, 2007; Wang et al., 2002) restringiendo la formación de burbujas y forzándolas a expandirse en una dirección determinada afectando, por tanto, a la estabilidad, el comportamiento

viscoelástico y maquinabilidad de la masa (Santos, Rosell, & Collar, 2008) dificultando su manejo e incrementando el tiempo de desarrollo, la resistencia al amasado y disminuyendo la capacidad de generación y retención de gas (Sanz-Penella, Collar, & Haros, 2008).

Estos efectos se atribuyen a la alta capacidad de la fibra dietética de ligar y redistribuir el agua (Gray & Bemiller, 2003), lo que modifica significativamente además de las propiedades de procesado ya descritas, las propiedades de empastamiento de las mezclas harina-fibra hidratadas (Collar, Santos, & Rosell, 2006; Collar, Santos, & Rosell, 2007; Rosell et al., 2006) y afecta incluso al fenómeno de envejecimiento a través de la recristalización amorfa del almidón y a la distribución del agua molecular entre los componentes del pan (Collar et al., 2007; Fadda, Sanguinetti, del Caro, Collar, & Piga, 2014).

Todos estos inconvenientes se traducen en defectos sobre la calidad final del pan en parámetros como el volumen, la firmeza, el color y el sabor (Chen, Rubenthaler, Leung, & Baranowski, 1988; Collar et al., 2007; Fadda et al., 2014; Gray & Bemiller, 2003; Katina et al., 2006; Pomeranz et al., 1977).

Por lo tanto, elaborar un buen pan rico en fibra requiere la adecuada selección del tipo fibra y de las propiedades fisicoquímicas de esta. Las propiedades fisicoquímicas están relacionadas con la composición y origen de la fibra. Así, la utilización de una fibra u otra para la inclusión en productos de panadería está determinada por su funcionalidad, condiciones de procesado, color y flavor (Tosh & Yada, 2010). Para obtener una buena aceptación sensorial del pan es necesario tener en cuenta que los atributos de textura del pan son muy importantes para los consumidores (Hersleth, Berggren, Westad, & Martens, 2005) y que el olor y el flavor son los atributos que dirigen la percepción de la frescura del pan (Heenan, Dufour, Hamid, Harvey, & Delahunty, 2008). En el estudio realizado por Bakke & Vickers (2007) comparando panes equivalentes entre harinas refinadas e integrales, concluyeron que las características sensoriales podrían suponer una barrera para el consumo de los productos elaborados a partir de trigo integral, pero que la modificación de los ingredientes o de los procesos podían incrementar la aceptabilidad de estos productos.

1.4 Salvado de trigo

Durante las sucesivas etapas del proceso de molturación y cernido del trigo en la industria molinera para la obtención de la harina, se obtienen distintas fracciones que se consideran subproductos y que representan aproximadamente un 25 % en peso del grano. Estos subproductos están constituidos por proporciones variables de tegumentos, germen, aleurona y endospermo (Figura 2).

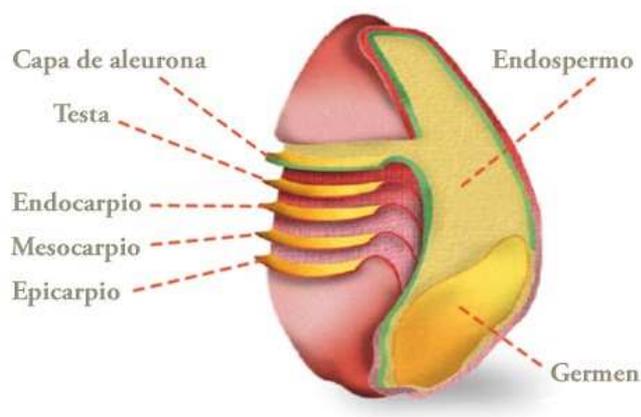


Figura 2. Estructura del grano de trigo.
(Fuente: <http://www.asociacioncereales.es/>)

En general, el salvado de trigo está compuesto por las diferentes capas externas del trigo y es un material complejo con una estructura y composición características (Hemery et al., 2010). La composición química de estas fracciones es variable y depende del sistema de molienda, es decir, del grado de extracción de la harina, de manera que esto condiciona la proporción de almidón que permanece en el salvado; también depende del tipo y variedad de trigo, condiciones de cultivo (clima, fertilización, etc.) y grado de madurez del grano.

En función de las proporciones de cada una de las fracciones, el contenido en almidón varía desde el 20 al 60 %. Sin embargo, el contenido proteico de estas fracciones permanece estable (14-15 %) (de Blas et al., 2010). Las proteínas del salvado no tienen la misma funcionalidad que las proteínas presentes en el endospermo (Cauvain et al., 2001). El contenido total en fibra dietética (FDT) varía entre 40-44 %, convirtiéndolo en el suplemento ideal para producir productos de panificación con alto contenido en fibra (Ranhortra, Gelroth, Astroth, & Posner, 1990). La mayoría de esta fibra es insoluble.

El salvado de trigo es beneficioso para disminuir los riesgos asociados con padecer cáncer de colon, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Prückler et al., 2014). Entre los micronutrientes y compuestos fitoquímicos que pueden contribuir a producir una mejora nutricional en los alimentos en los que se incorpora, destacan: Na, Zn, Cu, Ca, Mg, Fe, ácido fólico y ácido ferúlico (Hemery, Rouau, Lullien-Pellerin, Barron, & Abecassis, 2007; Seguchi et al., 2010). Algunos trabajos sugieren la posible liberación de compuestos antioxidantes del salvado de trigo (Kroon, Faulds, Ryden, Robertson, & Williamson, 1997) y es probable que en un futuro cercano, el perfil antioxidante de cada fibra dietética sea objeto de declaración nutricional junto al resto de características nutricionales de la fibra utilizada (Gani, Wani, Masoodi, & Hameed, 2012).

No obstante, el salvado de trigo contiene una elevada cantidad de fibra dietética insoluble (FDI) (35 g/100 g) y una pequeña proporción de fibra dietética soluble (FDS) (1,5 g/100 g) (Esposito et al., 2005). Este hecho afecta a la digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes y fitoquímicos (Katina et al., 2012).

El salvado de trigo o sus componentes se han venido utilizado incorporados en distintas matrices alimentarias tales como pan (Noort et al., 2010), galletas (Gujral, Mehta, Samra, & Goyal, 2003), snacks (Ferreira, Chang, & Steel, 2011) o preparados cárnicos (Talukder & Sharma, 2010; Yilmaz, 2005) con el fin de mejorar sus propiedades funcionales y nutricionales. Cabe destacar que los alimentos en los que se incorpora fibra de salvado de trigo pueden ser susceptibles de realizar *declaraciones nutricionales* en el etiquetado. Si el alimento tiene alto contenido en fibra (CE, 2006) se puede indicar que *contribuye a la aceleración del tránsito intestinal y al aumento del volumen de las heces*, según determina el Reglamento 432/2012 de la Comisión por el que se establece la lista de declaraciones autorizadas de propiedades saludables de los alimentos distintas a las relativas a la reducción del riesgo de enfermedad y al desarrollo de la salud de los niños.

El salvado de trigo es una fuente de fibra de origen natural, abundante y económica para incrementar el nivel de fibra dietética en productos de panadería, pero también se ha observado que los productos en los que se ha incorporado el salvado de trigo tienen una baja aceptación por parte de los consumidores, en especial, en lo que se refiere a la sensación en boca y a la textura (Long, Ye, & Zhao, 2014).

1.4.1 Efecto de la incorporación de salvado en panificación

La incorporación de salvado de trigo en diferentes tipos de panes ha sido estudiada por varios investigadores tanto para enriquecer el pan desde el punto de vista nutricional (Curti, Carini, Bonacini, Gibuzio, & Vittadini, 2013; Gómez, Jiménez, Ruiz, & Oliete, 2011; Karaoglu, 2006) como para retrasar su envejecimiento (Fessas & Schiraldi, 1998). Sin embargo, continúa siendo un reto tecnológico, pues se ha observado que se producen diferentes efectos adversos como la alteración de la red de gluten y los consiguientes defectos sobre los atributos de textura del pan (Noort et al., 2010), la reducción del volumen de las piezas por la disminución de la retención de gas (Katina et al., 2006), una textura arenosa desagradable en boca (Hung, Maeda, & Morita, 2007), el incremento en la dureza de la miga, un color más oscuro en la corteza y la reducción de la tolerancia a la fermentación (Gan et al., 1992; Lai et al., 1989).

Algunos de estos defectos están relacionados con la composición del salvado (procedencia, métodos de extracción o tratamientos) y con sus propiedades físicas (tamaño de partícula y proceso de panificación que se lleve a cabo o los ajustes que se hagan para llevar a cabo el proceso). Existen distintas teorías sobre cómo el salvado

afecta al proceso de panificación. Entre ellas, que las partículas de salvado actúan obstaculizando la formación de la red de gluten y también ejerciendo un efecto negativo sobre las enzimas (Lai et al., 1989). Al igual que con otros tipos de fibras, algunos de estos defectos sobre las propiedades mecánicas y químicas de la estructura de la masa se han atribuido a la dilución del gluten (Gómez et al., 2003; Wang et al., 2002).

El salvado compite con el almidón por el agua, por lo que la red de gluten se forma sin la suficiente cantidad de agua reduciendo el volumen final del pan (Lai et al., 1989). Este incremento de la necesidad de agua en la masa cuando se añade salvado es debido a la presencia de un mayor número de grupos hidroxilo que existen en la estructura de la fibra y permite la interacción de más agua a través de puentes de hidrógeno (Sudha, Vetrmani, & Leelavathi., 2007). Por tanto, las partículas de salvado causan una disgregación de la estructura esponjosa de la masa afectando a la textura. Curti et al. (2013) investigaron el efecto de la incorporación de salvado en las propiedades del pan, constatando que el salvado alteraba el estado del agua a nivel molecular y macroscópico, reduciendo el volumen del pan e incrementando la dureza (en menor o mayor medida en función de la composición del salvado). También concluyeron que los panes enriquecidos con salvado se endurecían más durante el almacenamiento, lo que indica que la red de gluten no se había desarrollado de forma adecuada, probablemente debido a las interacciones gluten-arabinosilanos. Por otra parte, se ha visto que afecta al color del pan oscureciéndolo y reduciendo su luminosidad (Elleuch et al., 2011).

Con el fin de evitar los inconvenientes relacionados con la incorporación del salvado y de otras fuentes de fibra, se han realizado diversos estudios que han demostrado que la funcionalidad de las fibras de diferentes procedencias puede ser modificada mediante diversos tratamientos con el fin de incrementar su aplicabilidad.

1.4.2 Pretratamiento del salvado de trigo

El interés en las propiedades nutricionales del salvado de trigo y la necesidad de reducir los efectos negativos que produce su incorporación en panadería han llevado a diversos investigadores a realizar estudios para reducir los efectos de la incorporación directa del salvado mediante distintos tipos de modificaciones. Por ejemplo, a través de la incorporación de gluten vital o de agentes surfactantes en la formulación (Shogren, Pomeraz, & Finney, 1980) o mediante el empleo de enzimas exógenas, como hemicelulosas o pentosanos, para degradar las paredes celulares de la fibra (Wang et al., 2002).

También se han analizado procesos como la fermentación de salvado (Katina et al., 2006) o la obtención de salvado a partir de trigo germinado (Seguchi et al., 2010), así como el empleo de diversos tratamientos fisicoquímicos (Rasco et al., 1991) como la

influencia del tamaño de partícula, observando que un molido fino del salvado puede ser beneficioso para mejorar la retención de gas (Lai et al., 1989).

Los tratamientos térmicos han demostrado ser efectivos en el salvado para inactivar enzimas con el objetivo de mejorar su sabor (Liu, 2007) o incrementar su aplicación tecnológica en panificación mediante la mejora su funcionalidad (Caprez, Arrigoni, Amadò, & Neukom, 1986; Laurikainen et al., 1998; Nelles, Randall, & Taylor, 1998; Wang et al., 2002) e incluso, retardar el envejecimiento del pan (Laurikainen et al., 1998; Sangnark & Noomhorm, 2004; Sangnark & Noomhorm, 2003; Wang et al., 2002).

En cuanto a la composición química, son numerosos los estudios que han mostrado que los procesos físicos y térmicos mejoran ciertas propiedades, especialmente en el contenido de FDS de productos ricos en fibra, entre ellos el salvado de trigo (Zhang, Bai, & Zhang, 2011).

Entre los tratamientos térmicos aplicados para mejorar la funcionalidad del salvado destacan el secado mediante tambor (Lima, Guraya, & Champagne, 2002), inyección de vapor (Lee et al., 2006), autoclavado, tostado, micronizado (Caprez et al., 1986). También se utilizan tratamientos mecánicos como la pulverización (Galliard & Gallagher, 1998) y tratamientos termomecánicos como la extrusión (Caprez et al., 1986; Camire, Violette, Dougherty, & McLaughlin, 1997) con los que se han obtenido mejoras significativas.

Mosharraf, Kadivar & Shahedi (2009) incorporaron en panes un 12 % de salvado tratado hidrotérmicamente, observando que las masas mostraban mejores propiedades reológicas y que, finalmente, se obtenía una mejora del volumen del pan y de la calidad debido a la mejora en la hidratación de los componentes de la harina, a la activación de la lipoxigenasa y a la dilución del glutation reducido.

En los últimos años se ha investigado sobre la aplicación de la extrusión para preparar fuentes de fibras a partir de cebada, avena y soja (Zhang, Bai & Zhang, 2011; Vasanthan, Gaosong, Yeung, & Li, 2002).

1.4.3 Aplicación de la extrusión como pretratamiento del salvado

La extrusión es una tecnología con la que se pueden lograr cambios en las propiedades macromoleculares (tamaño molecular, solubilidad) de los componentes de harinas y otras materias primas que se traducen en procesos como la *gelatinización* y *despolimerización* de almidones y la *desnaturalización* de proteínas. La naturaleza termomecánica de la extrusión tiene la ventaja añadida de mejorar las características

nutricionales de la fibra a la vez que mejoran las características sensoriales de la materia tratada.

Los procesos de extrusión han sido ampliamente investigados con la expectativa de que la ruptura mecánica de los enlaces glucosídicos favorezca un incremento en el contenido de fibra soluble (Lue, Hsieh, & HuV, 1991) como se ha comprobado en varios estudios (Varo, Laine, & Koivistoinen, 1983; Bjorck, Nyman, & Asp, 1984). Concretamente, para el salvado de trigo se ha constatado una redistribución de la fibra dietética insoluble a fibra dietética soluble después de la extrusión (Camire M.E., Camire A, & Krumhar, 1990) e incrementos en el contenido de fibra dietética total de salvado de trigo después de la extrusión (Kahlon, Berrios, Smith, & Pan, 2006; Reyes-Pérez, Salazar-García, Romero-Baranzini, Islas-Rubio, & Ramírez-Wong, 2013).

El proceso de extrusión afecta al almidón y por tanto, a las moléculas de amilopectina, principales responsables de la retrogradación en productos de panadería. Mariotti, Alamprese, Pagani & Lucisano (2006) concluyeron en su investigación que los cambios que se inducen en la estructura del almidón durante la expansión de cereales y en sus propiedades fisicoquímicas, modifican la capacidad de absorción de agua, lo que sugiere la aplicación de cereales expansionados en productos de panadería para controlar la migración de agua. De hecho, la harina de trigo extrusionada tiene una baja tendencia a la retrogradación y alta capacidad de absorción de agua (Camire et al., 1990). La incorporación de un 5 % de harina de trigo extrusionada no afecta a las características de las masas y se obtiene una buena calidad final del pan (Martínez, Oliete, & Gómez, 2013). También se ha analizado la incorporación de harina de arroz extrusionada en pan sin gluten para determinar su influencia sobre la textura (Martínez, Marcos, & Gómez, 2013; Martínez, Oliete, Román, & Gómez, 2014) y se ha comprobado que retrasa el envejecimiento del pan.

El efecto del proceso de extrusión sobre materias ricas en fibra depende del tipo de fibra, procedencia, tipo de extrusor y condiciones del proceso. De hecho, de acuerdo con Ying & Chi (2013) la fibra dietética soluble de un subproducto de soja (okara) después un proceso de extrusión utilizando un extrusor de doble husillo es seis veces mayor que antes. Estos investigadores observaron que la extrusión con doble husillo es más eficiente que la de monohusillo debido a que se consigue un aumento de la velocidad, por lo que se reduce ampliamente el tiempo de tratamiento.

A través del estudio llevado a cabo por Arcila, Weier & Rose (2015) se ha podido constatar que la extrusión aporta además una mejora desde el punto de vista de la salud, ya que se han observado diferencias en la fermentación en el intestino entre salvado de trigo y salvado de trigo extrusionado, pudiendo ser la de este último más efectiva al proveer de carbohidratos fermentables las zonas más distales del colon.

1.5 Objetivos

El objetivo principal de este estudio es determinar el efecto de un proceso de extrusión sobre las características nutricionales y fisicoquímicas del salvado de trigo y la influencia de su incorporación en las características de calidad de las masas panarias, las propiedades del pan obtenido y en su envejecimiento posterior.

Se ha elegido el salvado de trigo por ser un subproducto abundante y fuente de fibra dietética, además de proteínas, minerales y vitaminas, especialmente del grupo B, lo que contribuirá a la mejora nutricional del pan.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para la elaboración de los panes se utilizó harina de trigo refinada comercial (HT) (14 % de humedad y 11 % proteína), salvado de trigo molido (ST) y salvado de trigo extrusionado molido (STE). Todos estos productos fueron suministrados por la empresa Harinas Los Pisones, S.A. (Zamora). El resto de ingredientes utilizados fueron; levadura deshidratada (Royal), mejorante panario (Puratos), sal y agua.

2.1.1 Extrusión del salvado

El salvado de trigo comercial se extrusionó en un equipo semiindustrial Buhler (Buhler S.A., Uzwil, Suiza) monohusillo con una longitud de tornillo 1.43D incorporando agua con un caudal de 4,8 L/h y una alimentación de 243 kg/h. La temperatura media a la salida del equipo fue de 180 °C.

Después del proceso de extrusión, el salvado se secó en un secadero de aire caliente por convección y se molió utilizando un molino de martillos hasta un tamaño de partícula aproximado de 250 µm. El salvado obtenido fue envasado en bolsas de polietileno y se mantuvo a temperatura ambiente (22 ± 1 °C).

2.1.2 Mezclas

El salvado de trigo (ST) y el salvado de trigo extrusionado (STE) se mezclaron con harina de trigo comercial en porcentajes de 5, 10 y 15 %.

Las formulaciones se plantearon de acuerdo con el Reglamento Europeo relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos (EC 1924/2006) en el que se indica que el pan puede hacer uso de la declaración *fuerza de fibra* cuando contenga un mínimo de 3 g/100 g de producto y *alto contenido en fibra* cuando contenga al menos 6 g/100 g de producto. El hecho de que tenga alto contenido en fibra de salvado de trigo permite además que el producto pueda realizar declaraciones de propiedades saludables como “*la fibra de salvado de trigo contribuye a la aceleración del tránsito intestinal*” o “*la fibra de salvado de trigo contribuye al aumento del volumen de las heces*”.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterización química del salvado

La determinación de humedad del salvado se realizó mediante secado en estufa a 103 °C durante 16 h según el método 44-15A (AACC, 2012). Las cenizas se determinaron de acuerdo con el método 08-01 (AACC, 2012), colocando 2 g de muestra en una mufla durante 3 h a 600 °C.

Para el análisis de la grasa se empleó la extracción Soxhlet de acuerdo con el método 30-10.01 (AACC, 2012). La determinación de proteínas se realizó por el método Kjeldahl (46-08, AACC, 2012). Se calculó la proteína a partir del contenido de nitrógeno obtenido multiplicando por el factor de conversión 5,7.

La fibra dietética total (FDT) y fibra dietética insoluble (FDI) se determinaron mediante método enzimático gravimétrico según AOAC 985.29, AOAC 993.19 y AOAC 991.42 (AOAC, 1995). La fibra dietética soluble (FDS) se determinó por diferencia.

El contenido total de almidón se determinó mediante el método 76.13.01 (AACC, 2012) utilizando los kits para determinación total de almidón de Megazyme (Megazyme International, Wicklow, Ireland) siguiendo el método descrito en las instrucciones.

La determinación de la sacarosa se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) según el método descrito por Rodríguez, Villanueva & Redondo (1999) con una extracción de azúcares solubles y análisis posterior del extracto en un cromatógrafo HPLC (Agilent 1100). Este consta de una bomba cuaternaria de Agilent 1311A G, desgasificador G 1322A, G1329 A automuestreador, un termostato G1330B, horno termostatado G1316A y un detector de índice de refracción. Los datos se analizaron con el software del equipo G2170AA ChemStation (Chemstation Agilent para sistemas LC).

2.2.2 Determinación de la microestructura del salvado

Se evaluó la microestructura de ST y STE mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, *Scanning Electron Microscopy*) con un microscopio (FEI QUANTA 200). Las muestras fueron preparadas y colocadas en un adhesivo de doble cara y cubierto por una capa en un evaporador EMITECH K550X. Las imágenes se recogieron con los siguientes aumentos: 150x, 1.000x y 5.000x.

2.2.3 Propiedades de las mezclas

Empastamiento

Las propiedades de empastamiento de las harinas se determinaron mediante un analizador de viscosidad RVA (RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, NSW, Australia). Se dispersaron 3,5 g de harina de trigo y de las mezclas de harina y salvado en una cápsula de aluminio con 25 g de agua destilada. La suspensión se mantuvo en agitación constante y se utilizó una rampa de temperatura de acuerdo con el método 61.02.01 (AACC, 2012). De este ensayo se obtienen los valores de temperatura de empastamiento (PT), viscosidad máxima (PV), viscosidad de caída (TR), estabilidad (BD), viscosidad final (FV) y retrogradación (SB), tal como se ha descrito en el Capítulo 1.

Las determinaciones se hicieron por duplicado.

Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua

El índice de absorción de agua (WAI) y el índice de solubilidad en agua (WSI) de las mezclas realizadas para la elaboración de los panes se determinaron siguiendo el método de Anderson, Conway & Peplinski (1970). Para ello, se añaden 5 ml de agua destilada sobre la mezcla de harina y salvado en un tubo de centrifuga previamente pesado. El tubo se agita en un agitador vibrador (Heidolph, Reax Top, Schwabach, Alemania) durante 2 minutos y luego se centrifuga (centrífuga Thermo Electron, modelo Jouan B4i) 15 min a 3000 g. El líquido sobrenadante se vierte en una placa de desecación tarada. El gel restante se pesa y se calcula WAI como la relación entre la masa de gel y la masa de muestra. El valor de WSI se determina a partir de la cantidad de sólidos recuperados tras la evaporación del sobrenadante.

2.2.4 Características de las masas

El efecto de la incorporación de ST y STE en la reología de las masas se determinó mediante un equipo DoughLAB (Newport Scientific Pty. Limited, Warriewood, Australia) de acuerdo con el método 54-70.01 (AACC, 2014).

El equipo mezcla la harina con el agua para formar una masa y se mide cuánta agua necesita absorber la harina para lograr una consistencia adecuada. Después de la hidratación, la masa se desarrolla mediante la acción de los brazos amasadores. A medida que la masa se desarrolla hasta que finalmente se rompe, la resistencia al amasado va cambiando y se monitoriza mediante el valor del torque. El análisis de la relación del torque-tiempo puede ser utilizado para predecir el potencial de la harina o mezcla de ingredientes para elaborar pan.

Los parámetros obtenidos se describen a continuación:

- **Absorción de agua (AA, %):** Cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia de 500 unidades farinográficas (UF).
- **Tiempo de desarrollo de la masa (DDT, min):** Tiempo que tarda la masa en alcanzar la consistencia óptima que favorezca la retención de gas durante el proceso de panificación.
- **Estabilidad de la masa (DS, min):** Tiempo en que permanece la consistencia a 500 UF. Indica la tolerancia al amasado.
- **Índice de tolerancia al amasado (MTI):** Diferencia entre la altura en el pico y 5 min después.
- **Elasticidad (UF):** Banda debajo de la curva de máxima consistencia.

Los análisis se realizaron por triplicado para cada una de las mezclas.

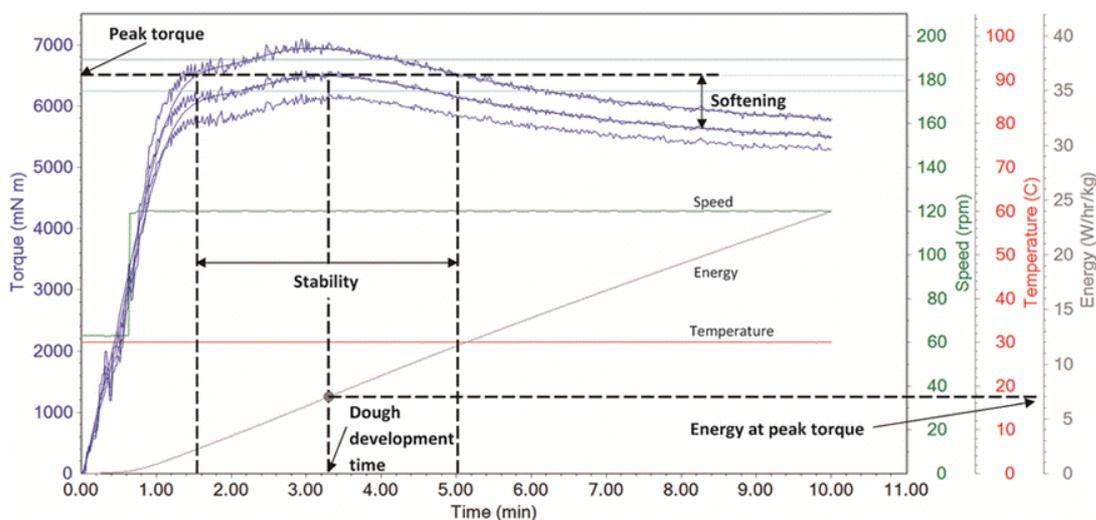


Figura 3. Gráfica tipo obtenida en el equipo doughLAB mediante el método 54-70 AACC en la que se muestra el torque, la temperatura y la relación tiempo-temperatura.

(Fuente: <http://www.perten.com/Publications/Articles/AACCI-Approved-doughLAB-Method>)

2.2.5 Panificación

Para la panificación se utilizaron equipos domésticos de elaboración de pan (FUNAI) utilizando un programa propio denominado “*programa básico de funcionamiento*” en el que se produce un mezclado de los ingredientes durante 15 min, una fermentación de 60 min, un segundo batido de 24 min, una segunda fermentación de 20 min y un tiempo de cocción de 60 min.

La fórmula básica de referencia consiste en 500 g de harina de trigo, 315 g de agua, 7,5 g de levadura deshidratada, 8,5 g de sal y 2,4 g de mejorante panario. En las mezclas que contienen salvado, la cantidad de agua tuvo que ser ajustada.

La cantidad de agua para 100 g de masa es la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de 500 UF en el equipo Dough Lab (Newport Scientific).

Los panes obtenidos se enfriaron por espacio de 2 h, fueron envasados en bolsas de polietileno y mantenidos a temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$) durante el tiempo que duró el estudio.

2.2.6 Evaluación de la calidad del pan

Textura

La firmeza de la miga se midió en los días 0, 1, 3 y 6 después de la elaboración del pan. Para ello se utilizó un analizador de textura TA-XT2i (Stable Micro Systems, Godalming, UK) equipado con una sonda cilíndrica de 30 mm. Las rebanadas fueron comprimidas al 25 % con una velocidad de 1,0 mm/s. El análisis se realizó tomando dos rebanadas de 2,5 cm de espesor para cada formulación y cada día de almacenamiento, determinando el valor promedio de dos medidas.

La textura de la miga se describe en términos de firmeza (fuerza de compresión). Dado que el envejecimiento provoca un aumento de la firmeza, se considera que este valor en los productos de panificación es un buen indicador del envejecimiento.

Color

El color de la miga y de la corteza se midió utilizando un colorímetro Konica Minolta CM-3500d, Minolta Corporation (Osaka, Japón) con iluminante D65.

Se recogieron los valores de luminosidad (L^*), coordenada cromática a^* ($+a^*$ rojo, $-a^*$ verde) y coordenada cromática b^* ($+b^*$ amarillo, $-b^*$ azul) por triplicado para cada uno de los panes, realizando las medidas en distintos puntos para corteza y miga.

Valoración sensorial

El análisis sensorial del pan control y los panes elaborados con ST y STE se llevó a cabo con 20 panelistas (personal del Centro Tecnológico CARTIF) a través de la evaluación de los atributos de calidad: apariencia, color, aroma, textura, sabor y aceptación general. La valoración de cada uno de los atributos se realizó mediante una escala de 9 puntos, donde 9 es la máxima puntuación y 1 la mínima. La calidad de los panes se consideró aceptable si la puntuación superaba el valor 5.

2.3 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de las sustituciones crecientes de harina de trigo por salvado de trigo y por salvado de trigo extrusionado, una vez comprobado mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov si las poblaciones estaban distribuidas normalmente, se analizaron los resultados obtenidos de los diferentes parámetros aplicando pruebas de significancia estadística.

Para aquellos parámetros que seguían una distribución normal se aplicó la prueba paramétrica de t-Student para medidas de muestras emparejadas, con el objetivo de estudiar si aparecían diferencias significativas entre formulaciones.

La prueba U de Mann-Withney o prueba de suma de rangos de Wilcoxon es no paramétrica alternativa a la prueba t-Student para comparar dos medias cuando las muestras son independientes pero no puede suponerse la normalidad de las poblaciones de origen.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Composición química del salvado de trigo y del salvado de trigo extrusionado

En la Tabla 1 se recogen los resultados del análisis de la composición de los dos tipos de salvado.

Tabla 1. Composición del salvado de trigo (ST) y salvado de trigo extrusionado (STE). Valores expresados como porcentaje sobre extracto seco.

<i>Parámetros (% masa)</i>	ST	STE
Humedad	12,30 ± 0,04 ^b	11,42 ± 0,05 ^a
Proteína	18,97 ± 0,12 ^a	18,30 ± 0,10 ^a
Cenizas	6,19 ± 0,02 ^b	6,18 ± 0,01 ^a
Grasa	4,24 ± 0,05 ^b	2,81 ± 0,06 ^a
Fibra dietética total	45,78 ± 0,15 ^b	45,25 ± 0,12 ^a
Fibra dietética insoluble	42,01 ± 0,09 ^b	40,57 ± 0,09 ^a
Fibra dietética soluble	3,77 ± 0,06 ^a	4,67 ± 0,06 ^b
Almidón	20,41 ± 0,10 ^b	20,21 ± 0,10 ^a
Sacarosa	0,11 ± 0,00 ^a	2,28 ± 0,01 ^b

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-b} Letras diferentes en la misma fila indica diferencia significativa entre procesos, ($p < 0,05$)

El salvado de trigo es rico en proteínas, fibra dietética y cenizas. Noort et al. (2010) determinaron valores similares a los obtenidos para cenizas, grasa y fibra, sin embargo el valor determinado para proteínas fue inferior (15,9 %). En el estudio de Sobota, Sykut-Domanska & Rzedzicki (2010) el contenido en FDT del salvado de trigo fue 29,3 %. Los valores de proteínas y cenizas obtenidos coinciden también con los de Katina et al. (2012) pero difieren los del contenido de FDT y de almidón (41,5 y 17,5 g/100 g ms).

Estas diferencias están relacionadas con el origen del salvado, el grado de extracción del salvado y si en la extracción se incluye, por ejemplo, parte de la capa de la aleurona, que es rica en proteínas. En el caso de la FDT estas diferencias también pueden atribuirse a las variaciones del método de determinación de FDT.

Después del proceso de extrusión, no se aprecian diferencias notables en el valor de la proteína, cenizas y FDT entre salvado y salvado extrusionado. Este hallazgo concuerda con lo descrito por Gualberto, Bergman, Kazemzadeh & Weber (1997). Sin embargo, la FDI es inferior en el STE, concordando con lo observado por Sobota et al. (2010) en su estudio, y se ha producido un incremento de la FDS de un 23 %. Esta modificación en la fibra soluble e insoluble en el salvado de trigo extrusionado también ha sido observada por Aoe et al. (1989); Caprez et al. (1986); Gualberto et al. (1997); Ralet, Thibault & Della Valle (1990) y Wang & Klopfenstein (1993). También se ha encontrado un incremento de FDS en otros tipos de salvado de cereales como salvado de arroz y salvado de avena (Gualberto et al., 1997; Zhang et al., 2011) y en otras fuentes de fibra como okara (Jianya & Xiaoling, 1996) o peladuras de patata (Camire & Flint, 1991; Camire et al., 1997).

Este incremento en el contenido de FDS y el descenso en la FDI en salvado de trigo tratado mediante extrusión se ha atribuido a la acción termomecánica del proceso durante el cual se produce una transformación de parte de la FDI a FDS (Camire et al., 1990; Gajula, Alavi, Adhikari, & Herald, 2008; Theander & Wasterlund, 1987) y puede ser debida a la fragmentación o a alguna forma de degradación de la celulosa y lignina, componentes mayoritarios de la FDI. Sin embargo, la disminución de la FDI es mayor que el incremento en la FDS, lo que implica que una proporción de la FDI se ha fragmentado en partículas de bajo peso molecular que han podido transformarse en azúcares durante la extrusión de acuerdo con la afirmación de Gajula et al. (2008). El contenido de sacarosa obtenido en el STE en este estudio concuerda con esta hipótesis.

Existen diferentes teorías relacionadas con los mecanismos que durante el proceso de extrusión tienen efecto sobre esa disminución de la FDI y estos mecanismos pueden ocurrir simultáneamente. Cabe citar los siguientes mecanismos:

- Exposición al estrés sobre las fibras. Esto hace que se rompan los enlaces, reduciendo su tamaño y haciendo más solubles las partículas que son insolubles (Jones, 1992).

- Relación con las condiciones utilizadas en el proceso de extrusión. Por ejemplo, a baja velocidad de tornillo, la presión generada en el extrusor es mayor debido a que el tornillo se encuentra lleno y la presión en el interior aumenta, lo que provoca un fuerte efecto sobre la solubilización de la fibra (mayor incluso que la fuerza de cizalla que se genera por la velocidad).
- Formación de *almidón resistente* (almidón no digerible). Esto supone un descenso en el contenido de FDT debido a la temperatura utilizada en el proceso (Björck & Nyman, 1984; Asp, 1984). La parte de almidón que ha retrogradado en el STE se suma a la fracción de almidón resistente.
- Formación de complejos entre polisacáridos y lípidos que no pueden ser degradados por la alfa-amilasa o amiloglucosidasas utilizadas en la determinación de la fibra, y por tanto, no son extraídos con hexano y son contabilizados como FDI.

Hay un contenido ligeramente inferior en el almidón cuantificado en STE. Arcila et al. (2015) también observaron un ligero descenso (menor del 0,5 %) en el contenido de almidón del salvado después de la extrusión que puede atribuirse a la ruptura de parte de estas moléculas o a la formación de complejos lípido-amilosa durante el proceso de extrusión. Wang, Casulli & Bouvier (1993) sugirieron que el grado en que la grasa se compleja durante la extrusión depende del contenido de almidón del material de partida, pues este facilita la formación de complejos lípido-almidón. La presencia de almidón y proteínas en el material favorece la formación de complejos lípido-almidón y lípido-proteínas (Guzman, Lee, & Chichester, 1992). La diferencia en el contenido de lípidos de ST y STE se corresponde con estas hipótesis, aunque es habitual que durante los procesos de extrusión se pueda perder parte de la grasa del producto como lípidos libres y por tanto, no son cuantificados.

3.2 Índice de absorción de agua e índice de solubilidad

Los parámetros WAI y WSI son importantes para describir y medir las interacciones entre los productos y el agua. WAI indica la cantidad de agua absorbida principalmente por el almidón (Gutkoski & El-Dash, 1999). WSI, además, indica la extensión de los cambios sufridos durante el proceso de extrusión, principalmente debido a la lixiviación de componentes del gránulo de almidón.

Se considera que la fibra tiene alta capacidad de absorción de agua. La cantidad de agua o forma de absorción depende del tipo y origen de la fibra, del tamaño de partícula y de los procesos a los que ha sido sometida. La absorción de agua aporta información

detallada sobre la fibra, concretamente sobre el volumen de poros del sustrato (Guillon & Champ, 2000).

En la Tabla 2 se muestran los valores de WAI y WSI para ST y STE.

Tabla 2. Valores para el índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI) del salvado de trigo (ST) y salvado extrusionado (STE).

<i>Índices</i>	ST	STE
WAI (g/g)	5,78 ± 0,65 ^a	6,04 ± 0,77 ^a
WSI (%)	15,7 ± 1,25 ^a	14,42 ± 3,89 ^a

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-b} *Letras diferentes en la misma fila indica diferencias significativas entre procesos (p<0,05)*

Durante el proceso de extrusión puede ocurrir que el almidón se degrade, pregelatinice y/o cambie su conformación, y las proteínas se pueden desnaturalizar formándose uniones entre proteína y fibra que pueden influir las variaciones de la capacidad de absorción y de solubilización. El valor de WAI del salvado de trigo ha experimentado un ligero incremento después de la extrusión, pero no fue significativo. Este hallazgo es contrario al encontrado por Ralet et al. (1990) quienes determinaron que la absorción de agua por parte del salvado aumenta después de la extrusión. Tampoco se observaron diferencias en el valor de WSI de STE. En otros tipos de salvado extrusionado, como el de avena, se observó que mejoraban sus propiedades funcionales después del proceso de extrusión (Zhang et al., 2011). Como se ha comentado en el apartado anterior, parte de la FDI del salvado se ha podido solubilizar, aunque es posible que se encuentre en el entramado formado entre las interacciones almidón-proteína (Moisio et al., 2015).

3.3 Características morfológicas del salvado de trigo y del salvado de trigo extrusionado

Las imágenes seleccionadas permiten visualizar las diferencias que se presentan en la microestructura del salvado de trigo original y el salvado de trigo extrusionado como consecuencia del efecto de la extrusión (Figura 4).

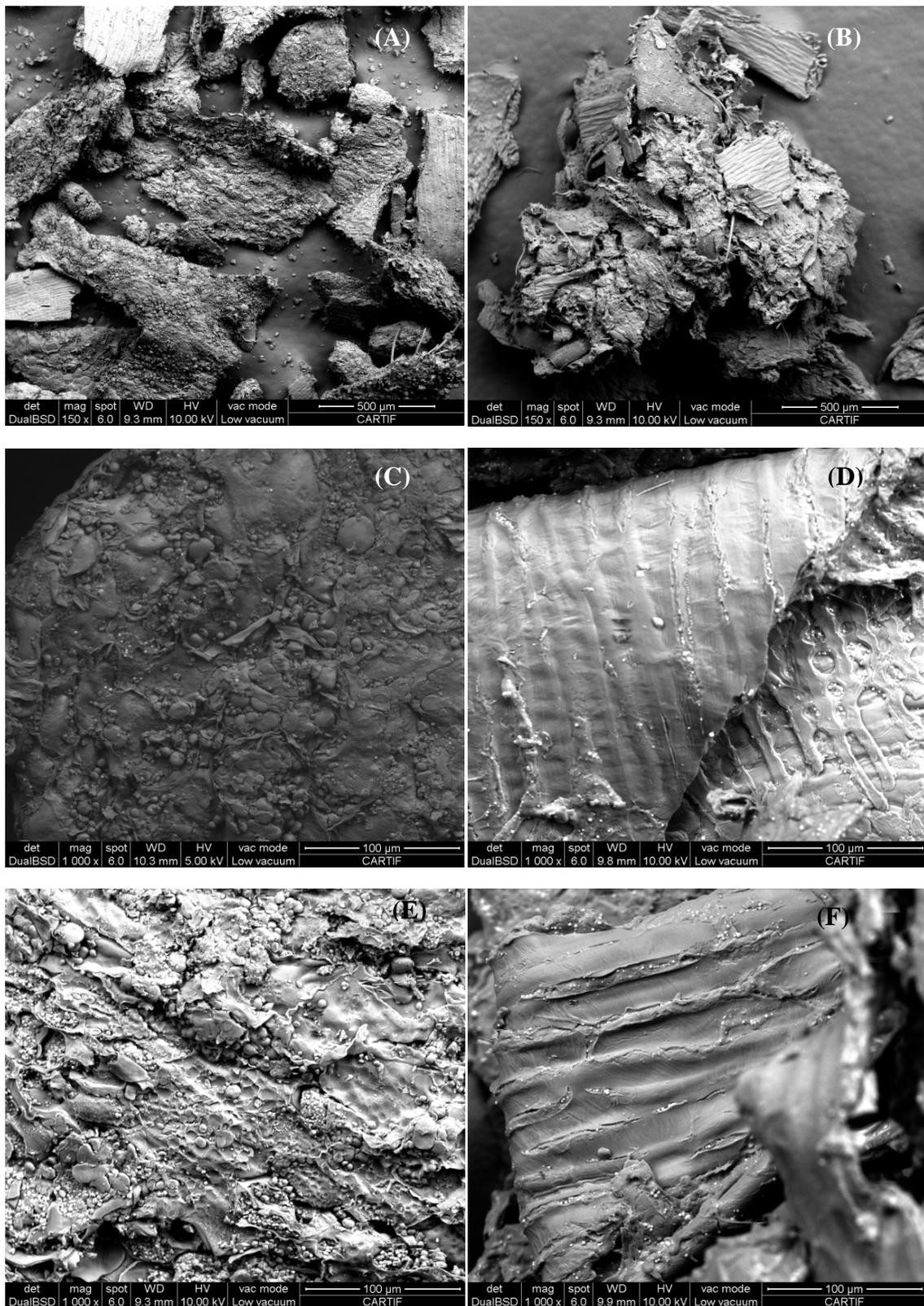


Figura 4. Micrografías de salvado de trigo (ST) y salvado de trigo extrusionado (STE). A (ST) y B (STE) obtenidas a 150x. C, E (ST) y D, F (STE) obtenidas a 1000x.

En el salvado de trigo (Figura 4 A) se puede apreciar la estructura de las fibras y cómo se modificaron después de la extrusión (Figura 4 B) formando estructuras más aglomeradas y con una superficie más lisa.

En las imágenes C y E de la Figura 4 se pueden observar claramente los gránulos esféricos y ovoides típicos del almidón de trigo pero también se observan formas de disco, asociadas a la fibra. La morfología de los gránulos de almidón, está de acuerdo con la encontrada por Van de Velde, Van Riel & Tromp (2002). También se pueden observar las proteínas, con forma esférica, alrededor de los gránulos de almidón. Sin embargo, en el salvado extrusionado se puede ver una estructura interna muy diferente a la del salvado sin extrusionar (Figura 4, D y F) que corresponde a la fusión entre almidones, fibra y proteínas, indicando la pregelatinización del almidón que contiene el salvado. Estas observaciones explican las diferencias en los valores de WAI y WSI entre el ST y el STE, ya que el almidón pregelatinizado es capaz de absorber más agua y la desnaturalización de parte de las proteínas provoca una mayor exposición a los grupos hidrofílicos.

3.4 Influencia del salvado de trigo y salvado de trigo extrusionado en las propiedades de empastamiento

Bajo la hipótesis de que la retrogradación del almidón juega un importante papel en el envejecimiento del pan, la medida de viscosidad permite cuantificar la extensión de la gelatinización del almidón.

Las curvas de empastamiento resultantes del análisis de las mezclas de ST (Figura 5) y de STE (Figura 6) en las proporciones propuestas para la elaboración del pan permiten visualizar cómo la sustitución de parte de la harina de trigo por ST y STE afecta a dichas propiedades disminuyendo el pico de viscosidad y la viscosidad máxima de forma progresiva a medida que se incrementa la sustitución de la harina.

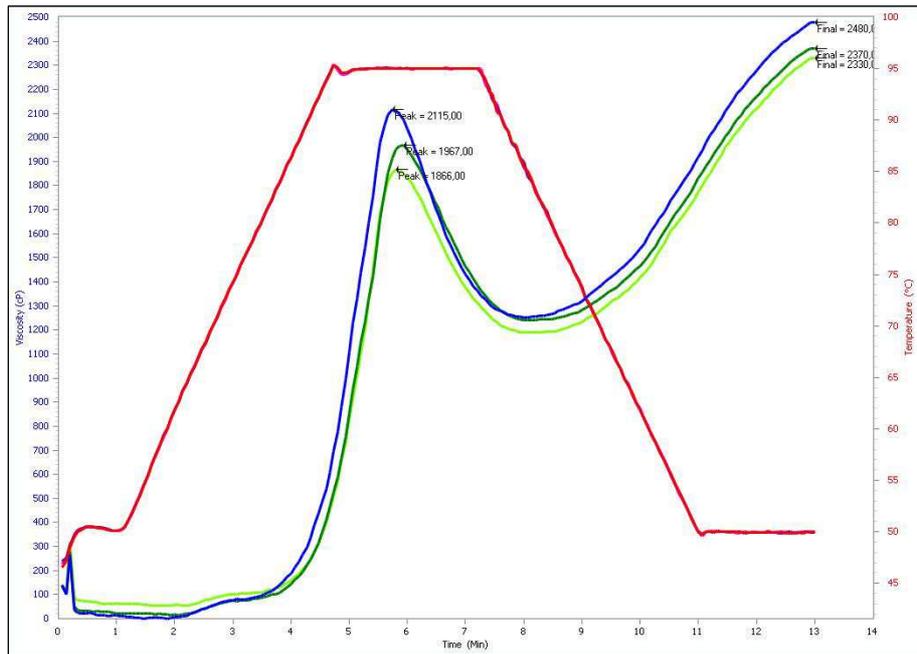


Figura 5. Curvas de empastamiento de las mezclas de harina de trigo con salvado (ST) al 5 % (azul), 10 % (verde oscuro) y 15 % (verde claro).

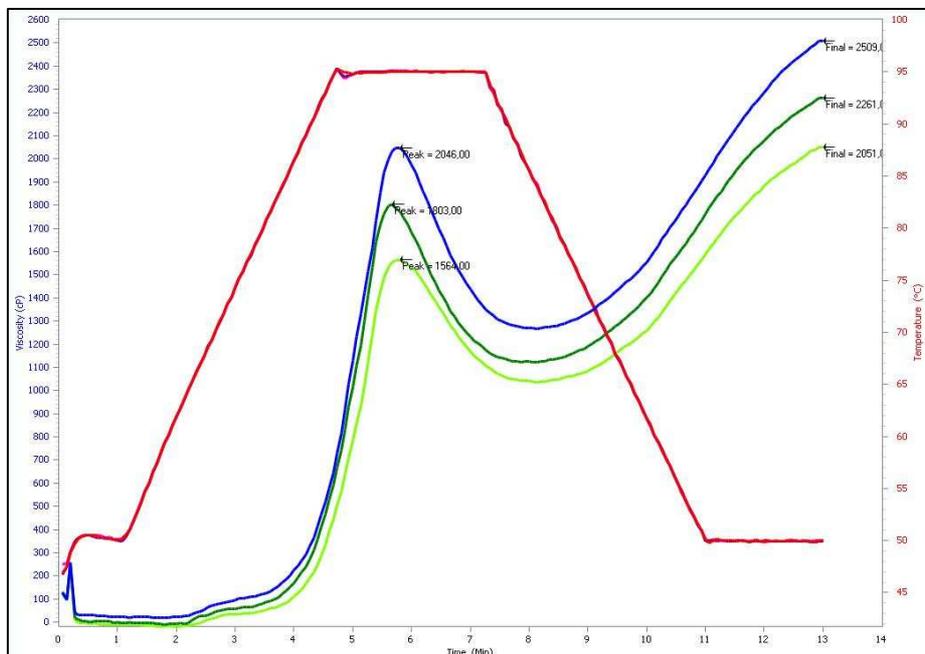


Figura 6. Curvas de empastamiento de las mezclas de harina de trigo con salvado extrusionado (STE) al 5 % (azul), 10 % (verde oscuro) y 15 % (verde claro).

Los parámetros más relevantes de las curvas de empastamiento se muestran en la Tabla 3.

Se han llevado a cabo pruebas de significación entre las diferentes formulaciones estudiadas. Debido a la complejidad de los resultados, no se indican en la tabla de los valores de los parámetros analizados sino en el anexo adjunto al final del Capítulo.

Tabla 3. Valores (en cp) para los valores de empastamiento de la harina control y las mezclas con salvado (ST) y con salvado extrusionado (STE).

<i>Mezclas</i>	Salida de pico (min)	Temperatura de empastamiento (°C)	Viscosidad Máxima (cp)	Viscosidad de caída (cp)	Estabilidad (cp)	Viscosidad final (cp)	Retrogradación (cp)
Control	6,00 ± 0,00	85,65 ± 0,00	2303,50 ± 13,44	1437,50 ± 9,19	866,00 ± 4,24	2661,50 ± 20,51	1224,00 ± 11,31
5 % ST	5,77 ± 0,05	84,85 ± 1,20	2133,50 ± 26,16	1273,50 ± 28,99	860,00 ± 2,83	2499,00 ± 26,87	1225,50 ± 2,12
10 % ST	5,93 ± 0,00	87,28 ± 1,24	1970,00 ± 4,24	1245,50 ± 7,78	724,50 ± 4,24	2389,50 ± 27,58	1144,00 ± 19,80
15 % ST	5,80 ± 0,00	87,65 ± 0,57	1854,00 ± 16,97	1174,00 ± 21,21	680,00 ± 3,54	2317,50 ± 17,68	1143,50 ± 3,54
5 % STE	5,77 ± 0,05	84,48 ± 0,53	2039,00 ± 9,90	1264,00 ± 5,66	775,00 ± 4,24	2498,50 ± 14,85	1234,50 ± 9,19
10 % STE	5,67 ± 0,00	85,25 ± 0,64	1794,50 ± 12,02	1136,00 ± 19,80	658,50 ± 3,54	2276,00 ± 21,21	1140,00 ± 1,41
15 % STE	5,70 ± 0,14	86,13 ± 1,73	1565,50 ± 2,12	1033,00 ± 5,66	532,50 ± 7,78	2056,00 ± 7,07	1023,00 ± 12,73

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Las curvas de empastamiento de las mezclas con salvado muestran un valor de la viscosidad máxima y viscosidad final que se va reduciendo a medida que se incrementa el porcentaje de salvado y que es más pronunciado en el caso de la incorporación de STE a la fórmula. Moisiso et al. (2015) observaron esta misma tendencia.

El descenso de las viscosidades durante el ciclo de calentamiento-enfriamiento al incluir ST y STE se puede atribuir a un mayor contenido en fibra y a la reducción del contenido en almidón de las mezclas. Resultados similares fueron obtenidos por Hung, Yamamori & Morita (2005) y Hung et al. (2007) para una harina de trigo suplementada con harinas ricas en fibra dietética.

En el caso de las mezclas con STE, hay una mayor concentración de FDS y la parte del almidón que corresponde al salvado, es posible que se encuentre dañado o pregelatinizado. El contenido en almidón de ST y STE difiere en una proporción inferior al 1 %. Sin embargo, se observa en las gráficas obtenidas para ambos salvados (Figura 7) que la funcionalidad del almidón que contiene el STE se ha modificado como consecuencia del proceso de extrusión.

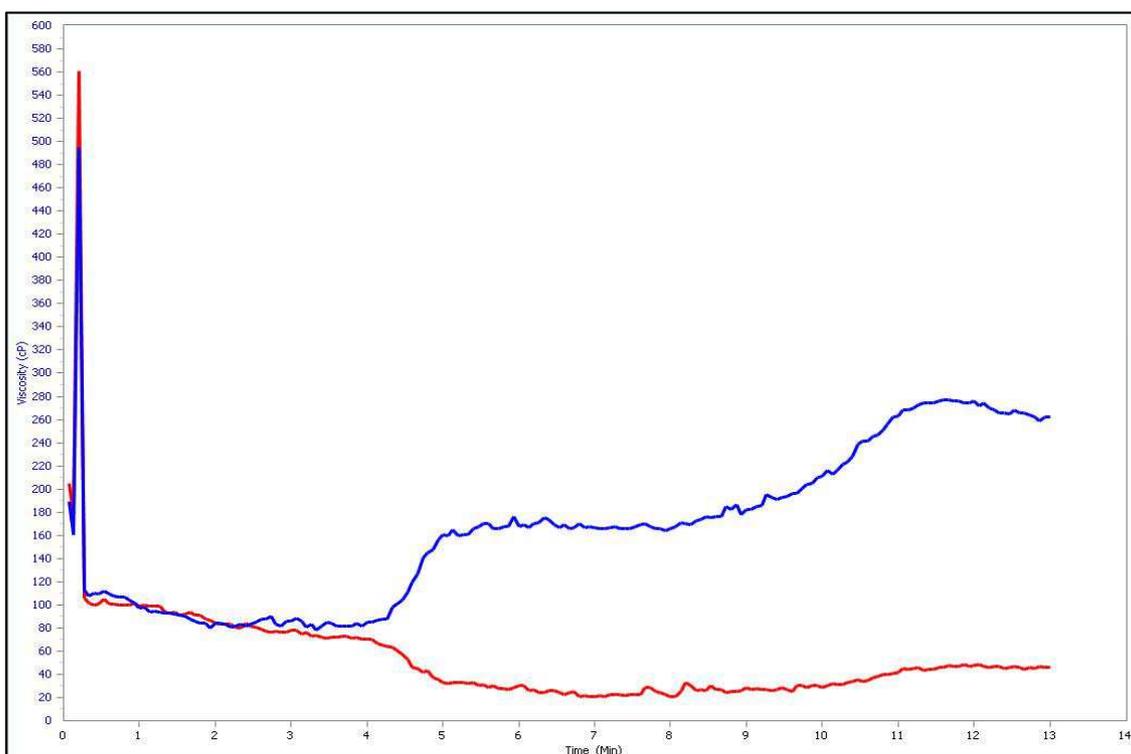


Figura 7. Determinación de la viscosidad mediante analizador RVA para salvado de trigo (ST; en azul) y salvado de trigo extrusionado (STE; en rojo).

De acuerdo con Mosharraf et al. (2009), el tratamiento de extrusión afecta a la capacidad de hinchamiento y a la gelatinización del almidón que forma parte del salvado. El almidón que contiene el salvado puede que no solo haya gelatinizado parcialmente sino que además puede haber sufrido una distribución en la proporción amilosa-amilopectina modificando el ciclo de calentamiento-enfriamiento (Colonna, Doublier, Melcion, De Monredon, & Mercier, 1984). Estas afirmaciones concuerdan con las observaciones del presente estudio para los valores de viscosidad obtenidos, los valores de WAI y WSI, y las micrografías realizadas. También se ha comprobado que la presencia de fibra incrementa la temperatura de empastamiento salvo en las fórmulas que contienen 5 % de ST o STE donde este valor es inferior. La presencia de fibra, en general, dificulta la hidratación del almidón.

El valor para el parámetro retrogradación se reduce respecto a la harina control a partir de la incorporación de 10 % de ST o STE y se obtiene su valor más bajo con la inclusión de un 15 % de STE.

3.5 Influencia del ST y STE en las características reológicas de las masas

Los resultados del efecto de la incorporación de ST y STE en distintas proporciones sobre el comportamiento de las masas durante el mezclado están recogidos en la Tabla 4.

Se han llevado a cabo pruebas de significación entre las diferentes formulaciones estudiadas. Debido a la complejidad de los resultados, no se indican en la tabla de los valores de los parámetros analizados sino en el anexo adjunto al final del capítulo.

Tabla 4. Análisis farinográfico de la harina de trigo y las mezclas con salvado (ST) y salvado extrusionado (STE) al 5, 10 y 15 %.

Mezclas	AA (%)	DDT (min)	Estabilidad (min)	MTI (UF)	Elasticidad (UF)
Control	53,45 ± 0,64	2,07 ± 0,06	10,38 ± 0,17	39,50 ± 6,36	34,50 ± 2,83
5 % ST	54,70 ± 0,57	2,03 ± 0,02	12,72 ± 3,53	18,50 ± 13,44	30,50 ± 3,54
10 % ST	55,60 ± 0,28	6,76 ± 0,70	12,31 ± 0,08	21,50 ± 3,54	57,50 ± 2,12
15 % ST	58,60 ± 0,57	4,93 ± 0,55	9,31 ± 0,36	28,00 ± 2,83	76,00 ± 2,83
5 % STE	55,15 ± 0,49	1,83 ± 0,37	10,16 ± 2,96	29,00 ± 15,56	76,50 ± 2,12
10 % STE	56,55 ± 0,21	2,10 ± 0,04	8,11 ± 1,44	27,00 ± 11,31	73,00 ± 2,83
15 % STE	58,40 ± 0,28	6,14 ± 0,13	8,24 ± 0,04	50,00 ± 2,83	76,00 ± 2,83

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

AA: absorción de agua a 500 UF, 14% de humedad base. DDT: tiempo de desarrollo de la masa. MTI: índice de tolerancia al amasado.

La incorporación de salvado de trigo provoca diferencias en el comportamiento durante el amasado de acuerdo con las medidas obtenidas con el equipo DoughLAB.

El valor de la *absorción de agua* (AA) se incrementa cuando se incorpora ST como ya observaron Sudha et al. (2007). El incremento de AA ocurre de manera progresiva con la proporción de salvado añadida y ocurre lo mismo con STE pero el efecto es más acusado en este caso. El incremento en la AA cuando se añade fibra coincide con el que otros autores han observado para distintos tipos de fibras (Ajila, Leelavathi, & Rao, 2008; Anil, 2007; Noort et al., 2010; Rosell, Rojas, & De Barber, 2001; Sanz Penella, 2008, Gómez et al., 2011; Wang et al., 2002). El contenido en fibra del salvado es muy elevado y ejerce el mismo efecto de incremento en la capacidad de absorción de agua que cualquier fibra frente a la capacidad de absorción de los componentes principales de la harina, almidón y proteína (Lineback & Rasper, 1988).

Sin embargo, otros investigadores han determinado una disminución del valor de AA (El-Din & Yassen, 1997) o ninguna variación con la incorporación de fibras (Vernaza, Gulate, & Chang, 2011). Estas diferencias encontradas en el valor de AA cuando se incorpora fibra en las formulaciones obedecen a las diferencias en la estructura química

de las fibras incorporadas, la forma de asociarse entre las partículas, el tamaño de dichas partículas, y la porosidad de las fibras (Thebaudin, Lefebvre, Harrington, & Bourgeois, 1997). Estas afirmaciones concuerdan con el hecho de que la AA en STE sea mayor. El STE absorbe más agua que el ST y este mismo efecto es el que se observa durante el desarrollo de las masas y fue previamente observado por Mosharraf et al. (2009) con la incorporación de salvado de trigo hidrotérmicamente tratado.

STE tiene una mayor proporción de FDS y también almidón y proteínas dañadas que favorecen la absorción de agua (Gajula et al., 2008) a través del alto número de grupos hidroxilo que contiene la fibra y que interactúan con el agua a través de enlaces de hidrógeno (Rosell et al., 2001). Por ello, resulta lógico pensar en el efecto que puede ejercer la fibra en la reología de las masas. Sin embargo, la absorción de agua en el reómetro DoughLAB está gobernada por las propiedades de la formación de la red de gluten más que por las propiedades de la fibra. Es decir, no se puede explicar la absorción de agua por la capacidad de absorción de agua de la fibra aislada porque el valor de la AA está determinado por el conjunto de la mezcla.

Rouillé , Della Valle, Lefebvre, Sliwinski & van Vliet (2005) establecieron que la influencia en la absorción de agua cuando se utiliza como fuente de fibra inulina de cadena corta es mayor que cuando se incorpora inulina de cadena larga, debido al efecto lubricante de los azúcares y oligosacáridos de la primera. En el caso de STE las cadenas de polisacáridos se han modificado durante el proceso de extrusión y tiene mayor contenido en sacarosa que el ST.

Incrementar el nivel de absorción de agua es importante desde el punto de vista económico y para evitar el envejecimiento del pan (Mosharraf et al., 2009) por lo que a priori, la inclusión de fibra permite esta mejora. Sin embargo, la incorporación de salvado supone un impedimento estérico o barrera física y un ingrediente que compete por el agua de la formulación. Esta problemática puede ser reducida con el ajuste del agua (Noort et al., 2010).

La incorporación del salvado incrementa el *tiempo de desarrollo (DDT)* para alcanzar la consistencia máxima de la masa. El mismo resultado obtuvieron Gómez et al. (2011) y Sanz Penella et al. (2008). Este incremento en DDT cuando se incluye salvado, puede ser el resultado de la dilución del gluten y de la dificultad de mezclar la fibra con la harina, como previamente comprobaron Chen et al. (1988).

El tiempo requerido para el desarrollo de la masa se incrementó en todos los casos salvo con la incorporación de 5 % de ST. El valor más alto se obtuvo para 10 % de ST. En el caso del STE a medida que se sustituye la harina por STE el tiempo de desarrollo aumenta notablemente. Martínez-Anaya & Devesa (2000) definieron en su estudio que la incorporación de salvado en la harina reduce el valor de DDT a niveles bajos de incorporación, pero produce un ligero incremento cuando se incorporan niveles del 20 %. Las diferencias en este valor se pueden atribuir a la procedencia del salvado y, en el

caso de nuestro estudio, a los diferentes contenidos en fibra soluble e insoluble de cada uno de los salvados.

Sin embargo, para las masas con 15 % de ST, el DDT disminuye a la vez que aumenta la *elasticidad*, lo que indica que la masa tiene una red de gluten más débil. De esta manera, para ST se puede establecer 10 % como la cantidad máxima de salvado a añadir.

Similares aumentos en el DDT y la AA han sido observados en masas fortificadas con fibra de guisante (Shogren, Pomeranz, & Finney, 1981).

El índice de tolerancia al amasado, disminuye cuando se añade salvado y la disminución es mayor cuanto mayor es la proporción de ST o STE añadido. Sin embargo, cuando se incorpora un 15 % de STE, se produce un gran incremento en este valor que se puede asociar con la cantidad de agua absorbida que puede diluir algunos de los componentes de la fibra que causan detrimento en las propiedades de la masa (Chen et al., 1988).

El valor del parámetro *estabilidad* aumentó para el 5 y 10 % de ST, sin embargo descendió para el porcentaje más elevado de incorporación debido probablemente a que a partir de ese valor las fibras interfieren de manera significativa en la formación de la red de gluten.

El valor de la *estabilidad* y *DDT* son indicadores de la fuerza de la harina. Valores altos de estabilidad y bajos de DDT indican masas fuertes. Para la masa con 10 % de ST se obtiene un valor de DDT que triplica el de la masa control con una estabilidad superior. DDT también se triplica para 15 % de STE, sin embargo la estabilidad respecto a la masa control se reduce. Estos resultados están de acuerdo con Laurikainen et al. (1998) que encontraron un aumento de DDT y un descenso en la estabilidad cuando se añade salvado de centeno. Mosharraf et al. (2009) obtuvieron un valor de DDT mayor y mayor estabilidad en las masas cuando incluyeron salvado de trigo hidrotérmicamente tratado en un tipo de pan iraní (Sangak).

El incremento en el DDT con la incorporación de ST y STE está relacionado con el descenso en el valor de la *tolerancia al amasado* (MTI) debido al incremento en el contenido en fibra. El índice MTI y la elasticidad se redujeron considerablemente en el estudio de Wang et al. (2002) utilizando diversas fuentes de fibra.

Caprez et al. (1986) obtuvieron una disminución de la tolerancia máxima al amasado y un tiempo de mezclado más prolongado en la masa en la que se había incorporado salvado extrusionado.

Se observa un incremento en la *estabilidad* de las masas especialmente con la incorporación de ST o STE en el porcentaje más bajo de incorporación. Sin embargo, para las mezclas 10 y 15 % de STE el valor de la estabilidad disminuye. Hung et al.

(2007) observaron que con la incorporación de harina integral de trigo, que es rica en fibra, se incrementaba la absorción de agua y se reducía la elasticidad de la masa.

Los efectos negativos del salvado de trigo están relacionados con la competencia del salvado con los componentes esenciales de la harina (proteínas y almidón) por el agua, y a los efectos físicos y mecánicos negativos de la fibra en la formación de la red de gluten (Gómez et al., 2011).

3.6 Influencia de la incorporación de ST y STE en las características físicas del pan

3.6.1 Propiedades de color de la corteza y la miga

Los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) para la miga y corteza del pan control y los panes en los que se ha incorporado ST y STE se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de color para corteza y miga de pan con distintas concentraciones de salvado de trigo (ST) y salvado de trigo extrusionado (STE).

	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	Miga			Corteza		
Control	74,10 ± 0,10	-1,01 ± 0,01	16,03 ± 0,06	66,25 ± 0,02	-0,97 ± 0,02	9,78 ± 0,02
5 % ST	71,23 ± 0,03	1,74 ± 0,02	22,09 ± 0,01	65,16 ± 0,04	3,10 ± 0,02	10,09 ± 0,03
10 % ST	69,36 ± 0,01	2,67 ± 0,02	22,12 ± 0,03	66,20 ± 0,02	4,23 ± 0,03	11,50 ± 0,03
15 % ST	65,21 ± 0,01	3,86 ± 0,02	23,68 ± 0,02	63,31 ± 0,02	6,02 ± 0,01	22,72 ± 0,03
5 % STE	69,25 ± 0,01	2,54 ± 0,01	24,96 ± 0,02	66,24 ± 0,02	4,58 ± 0,01	11,08 ± 0,02
10 % STE	66,35 ± 0,02	3,96 ± 0,02	26,88 ± 0,02	61,19 ± 0,02	5,62 ± 0,02	11,94 ± 0,02
15 % STE	62,37 ± 0,02	4,92 ± 0,02	16,12 ± 0,03	58,24 ± 0,02	6,80 ± 0,02	12,22 ± 0,01

Media ± desviación estándar (n=3)

Se observa que la incorporación de ST y STE afecta al color de la miga de manera significativa. A medida que se sustituye la harina por salvado, extrusionado o no, el valor de L^* disminuye respecto al control y los tonos rojizos (a^*) y amarillos (b^*) aumentan de manera significativa.

Tuncel, Yılmaz, Kocabıyık & Uygur (2014) también observaron que el valor de L^* era significativamente menor en panes suplementados con 10 % de salvado de arroz tratado mediante infrarrojo respecto al pan control. Abdul-Hamid & Luan (2000) observaron una miga más oscura tras la adición de un 10 % de fibra dietética preparada a partir de salvado de arroz.

El color de la miga está determinado por el color de los ingredientes empleados (Gómez et al., 2011). El salvado de trigo tiene un color marrón rojizo, por lo que era de esperar que a medida que se vaya incorporando en concentraciones crecientes se produzcan coloraciones más oscuras y más rojizas. STE tiene una coloración más oscura que el ST debido a la reacción de Maillard que se ha producido durante el tratamiento de extrusión.

El valor de L^* de la miga descendió significativamente en los panes con 10 y 15 % de STE de acuerdo con Abdul-Hamid & Luan (2000) que observaron un color más oscuro en la miga de pan en la que habían añadido un 10 % de salvado de arroz desgrasado. El valor de la luminosidad (L^*) juega un papel fundamental en el desarrollo de productos de panadería debido a la preferencia de los consumidores por los productos de aspecto más brillante (Feili, Abdullah, & Yang, 2013).

El color rojizo (a^*) y amarillo (b^*) aumentaron significativamente con la incorporación de STE. Los mismos resultados obtuvieron Tuncel et al. (2014) con la incorporación de salvado de arroz pretratado mediante infrarrojos.

El color de la corteza de los panes con STE es más oscuro que en los elaborados con ST. El mismo resultado fue observado por Gill, Vasanthan, Oraikul & Rosnagel, (2002) para panes elaborados con harinas extrusionadas. El color de la corteza del pan está típicamente asociado a la reacción de Maillard y a las reacciones de caramelización debido a que durante su elaboración se alcanzan temperaturas superiores a 100 °C. La incorporación de fibra, el tipo de fibra así como el porcentaje de fibra incorporada también tienen influencia en el color de la corteza.

La tonalidad rojo-marrón del salvado implica que, cuanto mayor es el porcentaje de sustitución, la corteza del pan tendrá una coloración más oscura. En el caso de STE, el efecto es más marcado por la reacción de Maillard que ha tenido lugar durante el proceso de extrusión y por la mayor presencia de azúcares reductores en este salvado.

En el estudio de Gajula et al. (2008) a medida que la harina se sustituía con salvado de trigo para la elaboración de galletas en porcentajes de 0 a 20 % se producía un

incremento la tonalidad rojiza, un descenso en la tonalidad amarilla y un descenso en el valor de L*. Curti et al. (2013) determinaron que la incorporación de fracciones de salvado en la formulación del pan alteraban significativamente el color de la corteza, disminuyendo la luminosidad (L*) y aumentando los tonos rojizos (a*). Irakli, Katsantonis & Kleisariis (2015) encontraron que en los panes en los que se sustituía harina de trigo por salvado de arroz térmicamente estabilizado en porcentajes del 10 y 15 % se producía un descenso en la luminosidad y los valores de a y b eran mayores.

En el presente estudio, la influencia de la incorporación de salvado, con independencia de si es extrusionado o no, es más marcada en la miga puesto que el color de la corteza está más influenciado por la reacción de Maillard.

3.6.2 Firmeza

La textura es una de las características principales de los productos de panificación que pueden verse afectadas por la incorporación de fibra dietética. La textura puede ser determinada mediante medida sensorial o instrumental. La medición instrumental presenta ventajas sobre la sensorial por ser más rápida y objetiva. Por otra parte, se considera que la firmeza del pan es un buen indicador del grado de envejecimiento (Dalgetty & Baik, 2006).

Los datos de firmeza a lo largo del almacenamiento de pan control y los panes elaborados con ST y STE están representados en la Figura 8.

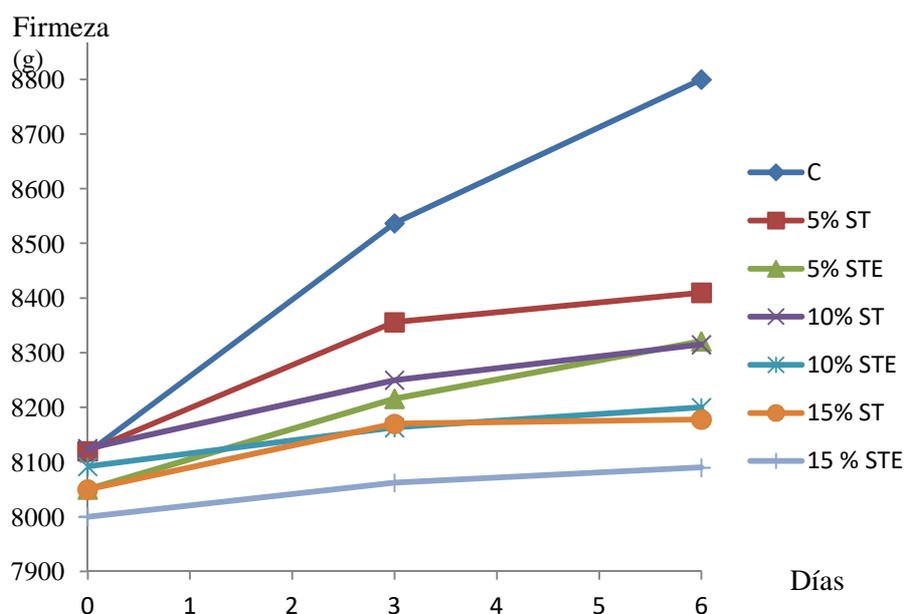


Figura 8. Firmeza de los panes elaborados con distintas proporciones de salvado de trigo (ST) y salvado de trigo extrusionado (STE) durante el almacenamiento.

Las medidas correspondientes al mismo día de la elaboración del pan, ponen de manifiesto que cuando se incorpora ST al 5 y 10 % no hay diferencias en el valor de la firmeza con el pan control. Al incorporar 15 % de ST, la firmeza es inferior al pan control, como ocurre en todos los casos con STE. Estas observaciones coinciden con las descritas por Gómez et al. (2011). Por el contrario, en el estudio de Abdul-Hamid & Luan (2000) en el que se incorporó un preparado de salvado de arroz como fuente de fibra, los panes con 5 y 10 % obtuvieron un valor para la firmeza superior al control, lo que indica que la fuente de fibra y el pretratamiento de la misma tienen influencia sobre la firmeza.

En las medidas tomadas en el tercer día después de la elaboración de los panes, las diferencias en el valor de la firmeza se hacen más notables entre los distintos porcentajes de incorporación de ST, siendo menores para los mayores porcentajes de inclusión. Este hallazgo es contrario a lo descrito por Curti, Carini, Diantom & Vittadini (2016), quienes observaron que los panes fortificados con salvado de trigo duro mostraban valores más altos de firmeza durante el almacenamiento probablemente debido a la falta de desarrollo de la red de gluten. Para los panes con STE, ocurre lo mismo pero el valor de firmeza es inferior al de los panes con ST, salvo para los que contienen 10 % de ST y STE.

Se observa una notable diferencia entre los valores de firmeza del pan que contiene ST y STE y el pan control en el último día de estudio. El pan con el valor de firmeza más bajo al final del estudio es el correspondiente a 15 % de STE.

Los resultados de la firmeza del pan dependen de varios factores como; la retención de agua por parte de los ingredientes, la presencia de solutos tales como la sacarosa y de la presencia de lípidos. Lima et al. (2002) determinaron un descenso en la firmeza en panes con salvado de arroz y se lo atribuyeron a los lípidos del salvado. En nuestro estudio, STE aporta una pequeña cantidad de lípidos (2,81 %) que podrían colaborar en una reducción de la firmeza. En cuanto al contenido en sacarosa, STE tiene un contenido en sacarosa del 2,28 % frente al 0,11 % del ST (Tabla 1). Rouillé et al. (2005) observaron que los azúcares de peso molecular bajo conllevan un descenso en la firmeza de la corteza.

Los panes con ST y STE presentaron una miga más blanda a lo largo del estudio, probablemente consecuencia de una retención más alta de agua respecto al pan control. Esta retención está causada por el salvado de trigo añadido y así lo demuestran estudios anteriores en los que la incorporación de fibra disminuye la dureza de la miga durante el almacenamiento (Dalgetty & Baik, 2006; Korus, Grzelak, Achremowicz, & Sabat, 2006).

Hung et al. (2007) observaron que el endurecimiento de la miga está influenciado por el contenido en agua, que afecta directamente al proceso de retrogradación de la amilopectina, una de las principales causas del envejecimiento del pan.

Messia et al. (2016) determinaron que en panes elaborados con 20 % de salvado, la capacidad de retener la humedad era mejor que en los panes control durante el periodo de almacenamiento. Contrariamente, Curti et al. (2015) obtuvieron un pan con salvado con textura más dura y establecieron que este efecto podía atribuirse a la redistribución del agua en la estructura del pan (incluso una posible deshidratación parcial de la red de gluten), así como las interacciones entre los componentes del gluten y el salvado podría contribuir a obtener un pan más duro. Sin embargo, los mismos autores comprobaron que la incorporación de un porcentaje pequeño de fibra de patata (0,4 %) mejoraba la textura (el pan era más blando) en particular cuando se ajustaba el agua en la formulación.

En nuestro estudio, al añadir el salvado, se ha tenido que modificar el contenido de agua de la formulación y este agua retrasa el envejecimiento del pan durante los 6 días siguientes a la elaboración.

Por otra parte, las diferencias encontradas entre los panes con ST y STE pueden atribuirse a las modificaciones sufridas durante el proceso de extrusión en la fibra y en el almidón del STE. Es decir, la gelatinización del almidón del salvado de trigo permite una interacción entre el almidón y la fibra que influye en la formación de una estructura de celdas más pequeñas, esto es, una miga más suave. Este efecto fue observado también por Peressini & Sensidoni (2009) y explica por qué los panes en los que se ha incorporado STE presentan una firmeza menor y por tanto un efecto positivo en el envejecimiento del pan.

Los valores obtenidos para la absorción de agua (AA) de las masas con ST y STE (Tabla 2) son superiores a la masa control y los de STE fueron mayores que los de ST, lo que corrobora que las modificaciones sufridas por el salvado durante la extrusión han contribuido positivamente a los efectos descritos.

3.6.3 Valoración sensorial

Los atributos sensoriales del pan control y de los panes elaborados con diferentes porcentajes de ST y STE se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Valoración de los atributos de calidad sensorial de cada uno de los panes.

<i>Panes</i>	<i>Apariencia</i>	<i>Color</i>	<i>Aroma</i>	<i>Textura</i>	<i>Sabor</i>	<i>Aceptación Global</i>
Control	7,20	7,90	4,20	7,20	6,76	7,90
5 % ST	6,60	7,20	5,20	6,60	6,50	6,30
10 % ST	5,90	6,70	5,70	6,20	6,10	5,65
15 % ST	5,20	5,30	6,30	5,80	5,63	5,20
5 % STE	6,20	7,80	5,70	6,80	6,60	6,42
10 % STE	5,70	7,10	6,40	6,20	6,20	6,10
15 % STE	5,20	5,50	6,80	5,60	6,10	5,80

Escala: 1 (muy inadecuado) a 9 (muy adecuado).

Los panelistas valoraron mejor la calidad del pan control, aunque tanto el pan con salvado de trigo como con salvado extrusionado son considerados aceptables (puntuación por encima de 5).

La valoración de la apariencia se reduce a medida que se incorpora ST y STE, siendo más baja la puntuación para los panes con STE debido a que la estructura de la miga es más cerrada, como se refleja también en la valoración de la textura y la coloración de corteza y miga que resultaron más oscuras. La textura de la miga es uno de los parámetros más relevantes de calidad en productos de panadería debido a que se relaciona con la frescura del pan. La puntuación más alta para el valor de textura la obtuvieron el pan control seguido del pan con un 5 % de STE. Las diferencias encontradas en textura y apariencia entre el pan control y el pan con ST o STE se deben a la coloración más oscura y al menor número de alveolos formados en el proceso de elaboración.

La inclusión del ST y STE reduce las puntuaciones en la valoración del sabor respecto al pan control. Este resultado era esperado considerando que los panelistas están acostumbrados a las propiedades sensoriales del pan blanco. La incorporación de STE probablemente confirió un sabor a tostado que no tienen los panes con ST, lo que influyó en una valoración más positiva de estos panes frente a los que contienen ST. El sabor a tostado puede atribuirse a la reacción de Maillard y a la caramelización durante el proceso de extrusión (Kroh, 1994). A medida que se incrementó el porcentaje de ST y

STE, la aceptación global de los panes disminuyó respecto al control, siendo mejor valorados los panes con STE frente a los ST. Coda, Rizzello, Curiel, Poutanen & Katina (2014) indicaron que la incorporación de un 15 % de salvado en el pan incrementa la intensidad del flavor, la pungencia, el retrogusto y la sensación terrosa en boca.

Los panes en los que se incorporó ST y STE en proporciones del 5, 10 y 15 % superaron la aceptación global mínima de 5, siendo el pan con 5 % de STE el mejor valorado.

Las propiedades de textura de los productos con fibra añadida pueden ser compensadas mediante la incorporación de coadyuvantes de panadería tales como gluten, emulsificantes o enzimas, a la vez que optimizan el proceso de panificación (Katina et al., 2012). Un modo bastante extendido de reducir los efectos negativos de la incorporación de salvado es a través de la compensación realizada en la fórmula consistente en la adición de gluten vital, o el uso de surfactantes.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de la extrusión sobre el salvado de trigo modificó de manera significativa la composición química, disminuyendo el contenido de fibra dietética insoluble y aumentando el de la fracción soluble, reduciendo el contenido de lípidos e incrementando la presencia de sacarosa.

Desde el punto de vista funcional, la extrusión modificó la morfología interna de los componentes del salvado evidenciando la gelatinización del almidón y la modificación de la estructura de la fibra lo que supuso un incremento en la capacidad de absorción de agua por parte del salvado extrusionado y las consecuentes modificaciones en el desarrollo de las masas.

La incorporación de salvado de trigo y salvado de trigo extrusionado en formulaciones de pan a partir de harina de trigo modificó el comportamiento reológico de las masas. Cuando se incluyó salvado y salvado extrusionado en las formulaciones, se incrementó la absorción de agua y el tiempo de desarrollo de las masas, lo que influyó en una mayor tenacidad de las mismas. Este efecto se atribuyó a la interferencia de la fibra en la formación de la red de gluten y a la presencia de almidón gelatinizado.

También se observó un detrimento en el aspecto visual de los panes, causado por una reducción de la luminosidad de la corteza y la miga, y por la aparición de tonos más rojizos a medida que se incrementaba la sustitución de harina con salvado.

El salvado de trigo extrusionado ejerció un papel positivo en las propiedades del pan durante el almacenamiento, dado que se retrasó su envejecimiento cuando se incorporó al 15 %. Este resultado se logró por efecto de la retención de agua que produjo el salvado y que contribuyó a un mejor mantenimiento de la textura de la miga durante el almacenamiento.

El pan enriquecido con salvado de trigo extrusionado tuvo mejor aceptación sensorial que el pan con salvado y mejores propiedades de firmeza (el pan resultó más blando).

La incorporación de salvado de trigo extrusionado en un porcentaje del 10 % representa el equilibrio entre las cualidades tecnológicas y las sensoriales, y puede ser utilizado con éxito en la elaboración de pan para incrementar el contenido de fibra total y retrasar el envejecimiento del pan en términos de firmeza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC International (2012). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 11th edition. Methods 44-15.01 (Moisture-Air-Oven Method), 08-01.01 (ash), 30-10.01 (fat), 46-11.02 (crude protein), 61-02.01 (RVA), 76.13.01 (total starch) The Association: St. Paul, MN, USA.

AACC International (2014). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 12th edition. Method 54-70.01 (Rheology using the doughLAB). The Association: St. Paul, MN, USA.

Abdul-Hamid, A., & Luan, Y. S. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*, 68(1), 15-19.

Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Rao, U. P. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319-326.

Anderson, R. A., Conway, H. F., & Peplinski, A. J. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch-Stärke*, 22(4), 130-135.

Anil, M. (2007). Using of hazelnut testa as a source of dietary fibre in breadmaking. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 61-67.

AOAC (1995). Methods 923.03, 985.29, 993.19 & 991.42, *Official Methods of Analysis*, 16th Edition. Washington, DC. Association of official Analytical Chemist.

Aoe, S., Ohta, F., & Ayano, Y. (1989). Effect of rice bran hemi-cellulose on the cholesterol metabolism in rats. *Nippon Eiyo Shokuryo Gakkaishi*. 42, 55-61.

Arcila, J., Weier, S., & Rose, D. J. (2015). Changes in dietary fiber fractions and gut microbial fermentation properties of wheat bran after extrusion and bread making. *Food Research International*, 74, 217-223.

Asp NG. (1994). Nutritional classification of food carbohydrates. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(3), 679-681.

Baik, M. Y., & Chinachoti, P. (2001). Effects of glycerol and moisture gradient on thermomechanical properties of white bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 4031-4038.

Bakke, A., & Vickers, Z. (2007). Consumer liking of refined and whole wheat breads. *Journal of Food Science*, 72(7), 473-480.

Bazzano, L. A., He, J., Ogden, L. G., Loria, C. M., & Whelton, P. K. (2003). Dietary fiber intake and reduced risk of coronary heart disease in US men and women: the

- national health and nutrition examination survey I epidemiologic follow-up study. *Archives of Internal Medicine*, 163(16), 1897-1904.
- Bechtel, W. G., Meisner, D. F., and Bradley, W. B. (1953). The effect of the crust on the staling of bread. *Cereal Chemistry*, 30(2), 160-168.
- Biliaderis, C. G., Page, C. M., & Maurice, T. J. (1986). On the multiple melting transitions of starch/monoglyceride systems. *Food Chemistry*, 22(4), 279-29.
- Bjorck, I., Nyman, M., & Asp, N. G. (1984). Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chemistry*, 61, 174-179.
- Camire, M. E., Camire, A., & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 29(1), 35-57.
- Camire, M. E., & Flint, S. I., (1991). Hydration capacity in corn meal, oat meal and potato peels 2. *Cereal Chemistry*, 68(6), 645-647.
- Camire, M. E., Violette, D., Dougherty, M. P., & McLaughlin, M. A. (1997). Potato peel dietary fiber composition: effects of peeling and extrusion cooking processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1404-1408.
- Cao, G., Sofie, E., & Prior, R. L. (1996). Antioxidant activity of tea and common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 3426-3431.
- Caprez, A., Arrigoni, E., Amadò, R., & Neukom, H. (1986). Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 4(3), 233-239.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2001). *Baking problems solved*. Elsevier.Woodhead F. Cambridge, UK.
- Charalampopoulos, D., Wang, R., Pandiella S.S., & Webb C. (2002). Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 79(1), 131-141.
- Chawla, R., & Patil, G.R. (2010). Soluble dietary fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 178-196.
- Chargelegue, A., Guinet, R., Neyreneuf, O., Onno, B., & Pointreud, B. (1994). La fermentation. *La panification française*. R. Guinet e B. Godon, ed. Lavoisier, Paris, 281-325.
- Chen, H., Rubenthaler, G. L., Leung, H. K., & Baranowski, J. D. (1988). Chemical, physical, and baking properties of apple fibre compared with wheat and oat bran. *Cereal Chemistry*, 65(3), 244-247.

- Choi, U. K. (2005). Effect of barley bran flour addition on the quality of bread. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 37(5), 746-750.
- Coda, R., Rizzello, C. G., Curiel, J. A., Poutanen, K., & Katina, K. (2014). Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 25, 19-27.
- Collado-Fernández M. Breadmaking processes. In: Caballero B., editor. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. San Diego: Academic; 2003. pp. 627–634.
- Collar, C., Santos, E., & Rosell, C. M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 820-826.
- Collar, C., Santos, E., & Rosell, C. M. (2006). Significance of Dietary Fiber on the Viscometric Pattern of Pasted and Gelled Flour-Fiber Blends. *Cereal Chemistry*, 83(4), 370-376.
- Colonna, P., Doublier, I. L., Melcion, J. P., De Monredon, F., & Mercier, C. (1984). Extrusion cooking and drum drying of wheat starch, physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry*, 61(6), 538-543.
- Curti, E., Carini, E., Diantom, A., & Vittadini, E. (2016). The use of potato fibre to improve bread physico-chemical properties during storage. *Food Chemistry*, 195, 64-70.
- Curti, E., Carini, E., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2014). Bread staling: effect of gluten on physico-chemical properties and molecular mobility. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 418-425.
- Curti, E., Carini, E., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2015). Effect of bran on bread staling: physico-chemical characterization and molecular mobility. *Journal of Cereal Science*, 65, 25-30.
- Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 325-332.
- Cuq, B., Abecassis, J., & Guilbert, S. (2003). State diagrams to help describe wheat bread processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(7), 759-766.
- Dalgetty, D., & Baik, B. (2006). Fortification of bread with hulls and cotyledon fibers isolated from peas, lentils, and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 83 (3), 269-274.
- D'Appolonia, B. L., & Morad, M. M. (1981). Bread staling. *Cereal Chemistry*, 58(3), 186-190.

De Blas, C., Mateos, G.G., García-Rebollar, P. (2010). Composition of fat in distillers Grains. Tablas FEDNA de la composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Tercera edición. Madrid. Díaz-Royón, F.; Rosentrater K. A. 2012.

Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243-257.

El Din, M. H. A., & Yassen, A. A. E. (1997). Evaluation and utilization of guava seed meal (*Psidium Guajava* L.) in cookies preparation as wheat flour substitute. *Molecular Nutrition & Food Research*, 41(6), 344-348.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421.

Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A. M., Napolitano, A., Vitale, D., & Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, 38(10), 1167-1173.

Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Collar, C., & Piga, A. (2014). Breadstaling: Updating the view. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 473-492.

Faivre, J., & Bonithon-Kopp, C. (1999). Diet, fibers, and colon cancer. *Advances in Nutrition and Cancer*, 2. Springer US, 199-206

Feldheim, W., & Wisker, E. (2002). Dietary fibre and type 2 diabetes mellitus. *Forum of Nutrition*, 56, 174-176.

Feili, R., Abdullah, W. N. W., & Yang, T. A. (2013). Physical and sensory analysis of high fiber bread incorporated with jackfruit rind flour. *Food Science and Technology*, 1(2), 30-36.

Ferreira, R. E., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2011). Influence of wheat bran addition and of thermoplastic extrusion process parameters on physical properties of corn-based expanded extruded snacks/Influencia da adicao do farelo de trigo e de parametros do processo de extrusao termoplastica nas propriedades fisicas de snacks extrudados expandidos de milho. *Alimentos e Nutricao (Brazilian Journal of Food and Nutrition)*, 22(4), 507-521.

Fessas, D., Schiraldi, A., (1998). Texture and staling of wheat bread crumbs: effect of water extractable protein and pentosans. *Thermochimica Acta* 323, 17-26.

- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., & Herald, T. (2008). Precooked bran enriched wheat flour using extrusion: dietary fiber profile and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4), 173-179.
- Galliard, T., & Gallagher, D. M. (1988). The effects of wheat bran particle size and storage period on bran flavour and baking quality of bran/flour blends. *Journal of Cereal Science*, 8(2), 147-154.
- Gan, Z., Galliard, T., Ellis, P. R., Angold, R. E., & Vaughan, J. G. (1992). Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 15(2), 151-163.
- Gani, A., Wani, S. M., Masoodi, F. A., & Hameed, G. (2012). Whole-grain cereal bioactive compounds and their health benefits: A review. *Journal of Food Processing & Technology*, 3(3), 146-55.
- Gill, S., Vasanthan, T., Oraikul, 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(2), 219-237.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1), 12-30.
- Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E., & Oliete, B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2231-2237.
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216(1), 51-56.
- Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1-21.
- Gualberto, D. G., Bergman, C. J., Kazemzadeh, M., & Weber, C. W. (1997). Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(3), 187-198.
- Guillon, F., & Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33(3), 233-245.
- Gutkoski, L. C., & El-Dash, A. A. (1999). Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54(4), 315-325.

Guzman, L. B., Lee, T. C., and Chichester, C. O. (1992). Lipid binding during extrusion cooking. Pages 427-436 in: *Food Extrusion Science and Technology*. J. L. Kokini, C. T. Ho, & M. V. Karwe, eds. Marcel Dekker: New York, 427-436.

Gujral, H. S., Mehta, S., Samra, I. S., & Goyal, P. (2003). Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies. *International Journal of Food Properties*, 6(2), 329-340.

Hager, A. S., Ryan, L. A., Schwab, C., Gänzle, M. G., O'Doherty, J. V., & Arendt, E. K. (2011). Influence of the soluble fibres inulin and oat β -glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology*, 232(3), 405-413.

Heenan, S. P., Dufour, J. P., Hamid, N., Harvey, W., & Delahunty, C. M. (2008). The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Research International*, 41(10), 989-997.

Heiniö, R. L., Liukkonen, K. H., Myllymäki, O., Pihlava, J. M., Adlercreutz, H., Heinonen, S. M., & Poutanen, K. (2008). Quantities of phenolic compounds and their impacts on the perceived flavour attributes of rye grain. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 566-575.

Hemery, Y. M., Anson, N. M., Havenaar, R., Haenen, G. R., Noort, M. W., & Rouau, X. (2010). Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions. *Food Research International*, 43(5), 1429-1438.

Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C., & Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 327-347.

Hersleth, M., Berggren, R., Westad, F., & Martens, M. (2005). Perception of bread: a comparison of consumers and trained assessors. *Journal of Food Science*, 70(2), 95-101.

HISPACOOOP, 2012. Estudio sobre el desperdicio de alimentos en los hogares. Recuperado de: http://www.hispacoop.es/home/index.php?option=com_content&task=view&id=675&Itemid=92.

Huettner, E.K., Bello, F.D., Arendt, E.K. (2010). Identification of lactic acid bacteria isolated from oat sourdoughs and investigation of their potential for the improvement of oat bread quality, 230(6), 849-857.

Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2007). Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. *Food Research International*, 40(2), 273-279.

Hung, P., Yamamori, M., & Morita, N. (2005). Formation of enzyme-resistant starch in bread as affected by high-amylose wheat flour substitutions. *Cereal Chemistry*, 82(6), 690-694.

Irakli, M., Katsantonis, D., & Kleisiaris, F. (2015). Evaluation of quality attributes, nutraceutical components and antioxidant potential of wheat bread substituted with rice bran. *Journal of Cereal Science*, 65, 74-80.

Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L. H., Larsen, E., & Thybo, A. K. (2011). Chemical changes in wheat bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. *Journal of Cereal Science*, 53(2), 259-268.

Jianya, Q., & Xiaoling, D. (1996). Effect of soy fibre on the rheological properties of dough [J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry*, 3.

Kahlon, T. S., Berrios, J. D. J., Smith, G. E., & Pan, J. L. (2006). Extrusion conditions modify hypocholesterolemic properties of wheat bran fed to hamsters. *Cereal Chemistry*, 83(2), 152-156.

Katina, K., Juvonen, R., Laitila, A., Flander, L., Nordlund, E., Kariluoto, S., Piironen, V. & Poutanen, K. (2012). Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking. *Cereal Chemistry*, 89(2), 126-134

Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., & Partanen, R. (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 39 (5), 479-491.

Karaoğlu, M. M. (2006). Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked wheat bran bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(2), 77-82.

Karppinen, S., Liukkonen, K., Aura, A. M., Forssell, P., & Poutanen, K. (2000). In vitro fermentation of polysaccharides of rye, wheat and oat brans and inulin by human faecal bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(10), 1469-1476.

Kim, S. K., & B. L. D'Appolonia (1977). Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chemistry*, 54(2), 207-215.

Korus, J., Grzelak, K., Achremowicz, K., & Sabat, R. (2006). Influence of prebiotic additions on the quality of gluten-free bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides. *Food Science and Technology International*, 12 (6), 489-495.

Kroh, L. W. (1994). Caramelisation in food and beverages. *Food Chemistry*, 51(4), 373-379.

- Kroon, P. A., Faulds, C. B., Ryden, P., Robertson, J. A., & Williamson, G. (1997). Release of covalently bound ferulic acid from fiber in the human colon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(3), 661-667.
- Ktenioudaki, A., & Gallagher, E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 4-14.
- Kulp, K., Ponte Jr, J. G., & D'Appolonia, B. L. (1981). Staling of white pan bread: Fundamental causes. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 1-48.
- Lai, C. S., Hosney, R. C., & Davis, A. B. (1989). Effects of wheat bran in breadmaking. *Cereal Chemistry*, 66(3), 217-219.
- Laurikainen, T., Härkönen, H., Autio, K., & Poutan, K. (1998). Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76 (2), 239-249.
- Lima, I., Guraya, H., & Champagne, E. (2002). The functional effectiveness of reprocessed rice bran as an ingredient in bakery products. *Nahrung/Food*, 46 (2), 112-117.
- Lineback, D. R., & Rasper, V. F. (1988). Wheat carbohydrates. *Wheat: Chemistry and Technology*. Ed. Y. Pomeranz, AACC, St. Paul, MN, USA, 277-372.
- Liu, R. H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 207-219.
- Long, D., Ye, F., & Zhao, G. (2014). Optimization and characterization of wheat bran modified by in situ enhanced CO₂ blasting extrusion. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 605-611.
- Lue, S., Hsieh, & Huff, H. E. (1991) Extrusion cooking of cornmeal and sugar beet fiber: Effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. *Cereal Chemistry*, 68, 227-234
- Mariotti, M., Alamprese, C., Pagani, M. A., & Lucisano, M. (2006). Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 47-56.
- Martinez-Anaya, M. A., & Devesa, A. (2000). Influence of enzymes in sourdough wheat breadmaking. Changes in pentosans/Influencia de las enzimas y los iniciadores microbianos en panificación. Cambios en las pentosanas. *Food Science and Technology International*, 6(2), 109-116.
- Martínez, M. M., Marcos, P., & Gómez, M. (2013). Texture Development in Gluten-Free Breads: Effect of Different Enzymes and Extruded Flour. *Journal of Texture Studies*, 44(6), 480-489.

Martínez, M., Oliete, B., & Gómez, M. (2013). Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 424-429.

Martínez, M. M., Oliete, B., Román, L., & Gómez, M. (2014). Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality. *Journal of Food Quality*, 37(2), 83-94.

MAPAMA (2014). Recuperado de :http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/estrategia-mas-alimento-menos-desperdicio/Definiciones_cifras.aspx

MAPAMA (2015). Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informeconsumoalimentacion2015_tcm7-422694.pdf

Messia, M. C., Reale, A., Maiuro, L., Candigliota, T., Sorrentino, E., & Marconi, E. (2016). Effects of pre-fermented wheat bran on dough and bread characteristics. *Journal of Cereal Science*, 69, 138-144.

Miyazaki, M., Van Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2006). Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends in Food Science & Technology*, 17(11), 591-599.

Mohamed, A. A., Rayas-Duarte, P., Shogren, R. L., & Sessa, D. J. (2006). Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality. *Food Chemistry*, 99(4), 686-692.

Moisio, T., Damerau, A., Lampi, A. M., Partanen, R., Forssell, P., & Piironen, V. (2015). Effect of extrusion processing on lipid stability of rye bran. *European Food Research and Technology*, 241(1), 49-60.

Mosharraf, L., Kadivar, M., & Shahedi, M. (2009). Effect of hydrothermally treated bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. *Journal of Cereal Science*, 49(3), 398-404.

Nelles E.M., Randall P.G. and Taylor J.R.N. (1998). Improvement of brown bread quality by prehydration treatment and cultivar selection of bran. *Cereal Chemistry*, 75, 536-540.

Noort, M. W., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality. Evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52(1), 59-64.

Peressini, D., & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 190-201.

- Pomeranz, Y., Shogren, M., Finney, K. F., & Bechtel, D. (1977). Fiber in breadmaking-effects on functional properties. *Cereal Chemistry*, 54(1), 25-41.
- Prückler, M., Siebenhandl-Ehn, S., Apprich, S., Höltinger, S., Haas, C., Schmid, E., & Kneifel, W. (2014). Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 211-221.
- Purhagen, J. K., Sjöö, M. E., & Eliasson, A. C. (2012). The anti-staling effect of pregelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread. *European Food Research and Technology*, 235(2), 265-276.
- Ralet, M. C., Thibault, J. F., & Della Valle, G. (1990). Influence of extrusion-cooking on the physico-chemical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 11(3), 249-259.
- Ranhotra, G. S., Gelroth, J. A., Astroth, K., & Posner, E. S. (1990). Distribution of total and soluble fiber in various millstreams of wheat. *Journal of Food Science*, 55(5), 1349-1351.
- Rasco, B. A., Borhan, M., Yegge, J. M., Lee, M. H., Siffring, K., & Bruinsma, B. (1991). Evaluation of enzyme and chemically treated wheat bran ingredients in yeast-raised breads. *Cereal chemistry*, 68(3), 295-299.
- Reglamento (CE) 432/2012 de la Comisión de 16 de mayo de 2016, por el que se establece una lista de declaraciones autorizadas de propiedades saludables de los alimentos distintas de las relativas a la reducción del riesgo de enfermedad y al desarrollo y la salud de los niños.
- Reglamento (CE) 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 2006, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos.
- Reyes-Pérez, F., Salazar-García, M. G., Romero-Baranzini, A. L., Islas-Rubio, A. R., & Ramírez-Wong, B. (2013). Estimated glycemic index and dietary fiber content of cookies elaborated with extruded wheat bran. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(1), 52-56.
- Rodríguez, M.D., Villanueva, M.J., & Redondo, A. (1999). Effect of processing conditions on soluble sugars content of carrot, beetroot and turnip. *Food Chemistry*, 66(1), 81-85.
- Rojas, J. A., Rosell, C. M., & De Barber, C. B. (1999). Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13(1), 27-33.

Rosell, C. M., & Foegeding, A. (2007). Interaction of hydroxypropylmethylcellulose with gluten proteins: Small deformation properties during thermal treatment. *Food Hydrocolloids*, 21(7), 1092-1100.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., & De Barber, C. B. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75-81.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2006). Mixing properties of fibre-enriched wheat bread doughs: A response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, 223(3), 333-340.

Rouillé, J., Della Valle, G., Lefebvre, J., Sliwinski, E. & van Vliet, T., (2005). Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components. *Journal of Cereal Science*, 42(1), 45-57.

Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2004). Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*, 37 (1), 66-74.

Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 80 (2), 221-229.

Santos, E., Rosell, C.M., & Collar, C. (2008). Gelatinization and retrogradation kinetics of high fibre- wheat flour blends: a calorimetric approach. *Cereal Chemistry*, 85(4), 455-463.

Sanz-Penella, J. S., Collar, C., & Haros, M. (2008). Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 715-721.

Schiraldi, A., & Fessas, D. (2012). The role of water in dough formation and bread quality. *Breadmaking: Improving quality*, Second edition. Ed. Cauvain SP, 352-369.

Seguchi, M., Uozu, M., Oneda, H., Murayama, R., & Okusu, H. (2010). Effect of outer bran layers from germinated wheat grains on breadmaking properties. *Cereal Chemistry*, 87(3), 231-236.

Seyer, M. È., & Gélinas, P. (2009). Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(4), 688-693.

Shogren, M., Pomeranz, Y., & Finney, K. (1981). Counteracting the deleterious effects of fiber in breadmaking. *Cereal Chemistry*, 58, 142-144.

Sidhu, J., Al-Hooti, S., & Al-Saqer, J. (1999). Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. *Food Chemistry*, 67 (4), 365-371.

Singh, M., Liu, S. X., & Vaughn, S. F. (2012). Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1(4), 348-352.

Slade, L., Levine, H., & Reid, D. S. (1991). Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 30(2-3), 115-360.

Sobota, A., Sykut-Domanska, E., & Rzedzicki, Z. (2010). Effect of extrusion-cooking process on the chemical composition of corn-wheat extrudates, with particular emphasis on dietary fibre fractions. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 60(3), 251-259.

Sudha, M., Vetrmani, R., & Leelavathi., K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365-1370.

Talukder, S., & Sharma, D. P. (2010). Development of dietary fiber rich chicken meat patties using wheat and oat bran. *Journal of Food Science and Technology*, 47(2), 224-229.

Theander, O., & Westerlund, E. (1987). Studies on chemical modifications in heat-processed starch and wheat flour. *Starch-Stärke*, 39(3), 88-93.

Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Harrington, M., & Bourgeois, C. M. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8(2), 41-48.

Tosh, S. M., & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43(2), 450-460.

Tuncel, N. B., Yılmaz, N., Kocabıyık, H., & Uygur, A. (2014). The effect of infrared stabilized rice bran substitution on physicochemical and sensory properties of pan breads: part I. *Journal of Cereal Science*, 59(2), 155-161.

Van De Velde, F., Van Riel, J., & Tromp, R. H. (2002). Visualisation of starch granule morphologies using confocal scanning laser microscopy (CSLM). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(13), 1528-1536.

Varo, P., Laine, R., & Koivistoinen, P. (1983). Effect of heat treatment of dietary fiber: interlaboratory study. *Journal-Association of Official Analytical Chemists*, 66(4), 933-938.

Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J., & Li, J. (2002). Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77(1), 35-40.

- Vernaza, M. G., Gularte, M. A., & Chang, Y. K. (2011). Addition of green banana flour to instant noodles: rheological and technological properties. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1157-1165.
- Verardo, V., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., Marconi, E., Fernández-Gutiérrez, A., & Caboni, M. F. (2011). Determination of free and bound phenolic compounds in buckwheat spaghetti by RP-HPLC-ESI-TOF-MS: effect of thermal processing from farm to fork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(14), 7700-7707.
- Vittadini, E., & Vodovotz, Y. (2003). Changes in the physicochemical properties of wheat-and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. *Journal of Food Science*, 68(6), 2022-2027.
- Wang, S., Casulli, J., & Bouvier, J. M. (1993). Effect of dough ingredients on apparent viscosity and properties of extrudates in twin-screw extrusion-cooking. *International Journal of Food Science & Technology*, 28(5), 465-479.
- Wang, W. M., Klopfenstein, C. F., & Ponte Jr, J. G. (1993). Baking Quality of the Wheat Bran. *Cereal Chemistry*, 70(6), 707-711.
- Wang, J., Rosell, C., & de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79 (2), 221-226.
- Wang, M. Hamer, R. J., Van Vliet, T., Gruppen, H., Marseille, H., & Weegels, P. L. (2003). Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. *Journal of Cereal Science*, 37(1), 55-64.
- Yilmaz, I. (2005). Physicochemical and sensory characteristics of low fat meatballs with added wheat bran. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 369-373.
- Yilmaz, Y., & Toledo, R. T. (2004). Major flavonoids in grape seeds and skins: antioxidant capacity of catechin, epicatechin, and gallic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(2), 255-260.
- Zhang, D., & Moore, W. R. (1999). Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(6), 805-809.
- Zhang, M., Bai, X., & Zhang, Z. (2011). Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fibre in oat bran. *Journal of Cereal Science*, 54(1), 98-103.

ANEXO

- **Composición del salvado de trigo (ST) y del salvado de trigo extrusionado (STE).**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	p
Humedad	0,085
Proteína	>0,150
Cenizas	>0,150
Grasa	0,088
Fibra dietética total (FDT)	>0,150
Fibra dietética insoluble (FDI)	0,149
Fibra dietética soluble (FDS)	>0,150
Almidón	>0,150
Sacarosa	>0,150
Índice de absorción de agua (WAI)	>0,150
Índice de solubilidad en agua (WSI)	>0,150

**Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal*

▪ **Valor sensorial de pan formulado con ST y STE.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones		
	ST	STE	ST + STE
Apariencia	<0,010*	<0,010*	<0,010*
Color	<0,010*	<0,010*	<0,010*
Aroma	<0,010*	<0,010*	<0,010*
Textura	<0,010*	<0,010*	<0,010*
Sabor	<0,010*	<0,010*	<0,010*
Aceptación global	<0,010*	<0,010*	<0,010*

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

Resumen de las diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, valores p dos colas

Apariencia	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,018*				0,032*		
10 % ST	0,000*	0,002*				0,065	
15 % ST	0,000*	0,001*	0,000*				0,090
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,018*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,007*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

CAPÍTULO 3: Efecto de la incorporación de salvado de trigo extrusionado en los atributos de calidad y envejecimiento del pan

Color	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,026*				0,001*		
10 % ST	0,000*	0,018*				0,057	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,075
5 % STE	0,968						
10 % STE	0,001*				0,000*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,000*	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

Aroma	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,010*		
10 % ST	0,000*	0,032*				0,003*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,008*				0,021*
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,003*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,068*	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

Textura	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,019*				0,441		
10 % ST	0,000*	0,041*				0,968	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,060				0,285
5 % STE	0,086						
10 % STE	0,000*				0,003*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,005*	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

CAPÍTULO 3: Efecto de la incorporación de salvado de trigo extrusionado en los atributos de calidad y envejecimiento del pan

Sabor	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,229				0,598		
10 % ST	0,002*	0,044*				0,636	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,018*				0,018*
5 % STE	0,490						
10 % STE	0,006*				0,032*		
15 % STE	0,002*				0,011*	0,636	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

Aceptación global	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,425		
10 % ST	0,000*	0,003*				0,033*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,016*				0,001*
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,079		
15 % STE	0,000*				0,003*	0,148	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

▪ **Propiedades de empastamiento de mezclas.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones		
	ST	STE	ST + STE
Viscosidad máxima (PV)	>0,150	>0,150	>0,150
Viscosidad de caída (HS)	>0,150	>0,150	>0,150
Estabilidad (HS)	>0,150	>0,150	>0,150
Viscosidad final (FV)	>0,150	>0,150	>0,150
Retrogradación (SB)	0,128	>0,150	>0,100
Salida de pico (Pt)	0,054	>0,150	>0,050
Temperatura de empastamiento (PT)	>0,150	>0,090	>0,100

**Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal*

Resumen de las diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, valores p dos colas

PV	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,034*				0,168		
10 % ST	0,012*	0,060				0,042*	
15 % ST	0,030*	0,069	0,080				0,030*
5 % STE	0,040*						
10 % STE	0,023*				0,004*		
15 % STE	0,007*				0,011*	0,028*	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

HS	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,054				0,765		
10 % ST	0,003*	0,313				0,049*	
15 % ST	0,052	0,218	0,178				0,050
5 % STE	0,038*						
10 % STE	0,016*				0,089		
15 % STE	0,017*				1,000	0,110	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

BD	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,442				0,007*		
10 % ST	0,025*	0,002*				0,005*	
15 % ST	0,001*	0,018*	0,078				0,011*
5 % STE	0,042*						
10 % STE	0,017*				0,003*		
15 % STE	0,005*				0,022*	0,040*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

FV	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,018*				0,989		
10 % ST	0,012*	0,003*				0,025*	
15 % ST	0,049*	0,015*	0,089				0,043*
5 % STE	0,097						
10 % STE	0,001*				0,007*		
15 % STE	0,010*				0,022*	0,029*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

SB	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,900				0,323		
10 % ST	0,048	0,120				0,810	
15 % ST	0,043*	0,031*	0,972				0,034*
5 % STE	0,601						
10 % STE	0,053				0,050		
15 % STE	0,003*				0,047*	0,043*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

Pt	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,094				1,000		
10 % ST	1,000	0,133				1,000	
15 % ST	1,000	0,500	1,000				0,500
5 % STE	0,094						
10 % STE	1,000				0,225		
15 % STE	0,205				0,500	0,814	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

PT	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,519				0,575		
10 % ST	0,314	0,007				0,369	
15 % ST	0,126	0,267	0,818				0,316
5 % STE	0,197						
10 % STE	0,537				0,520		
15 % STE	0,765				0,490	0,471	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

▪ **Propiedades de panificación (Dough Lab) de las mezclas.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones		
	ST	STE	ST + STE
Absorción (AA)	>0,150	>0,150	>0,150
Tiempo de desarrollo (DDT)	>0,150	<0,010*	<0,010*
Estabilidad	>0,150	>0,150	>0,150
Índice de tolerancia al amasado (MTI)	>0,150	>0,150	>0,150
Elasticidad	>0,150	>0,150	>0,050

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

Resumen de las diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, valores p dos colas

AA	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,380				0,070		
10 % ST	0,074	0,374				0,225	
15 % ST	0,013*	0,008*	0,138				0,856
5 % STE	0,280						
10 % STE	0,122				0,090		
15 % STE	0,032*				0,107	0,119	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

DDT	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,699				1,000		
10 % ST	0,245	0,245				0,245	
15 % ST	0,245	0,245	0,245				0,245
5 % STE	0,699						
10 % STE	0,699				0,699		
15 % STE	0,245				0,245	0,245	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

Estabilidad	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,166				0,193		
10 % ST	0,059	0,530				0,072	
15 % ST	0,080	0,140	0,066				0,166
5 % STE	0,420						
10 % STE	0,084				0,039*		
15 % STE	0,045*				0,107	0,821	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

MTI	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,374				0,090		
10 % ST	0,236	0,742				0,500	
15 % ST	0,328	0,425	0,049*				0,086
5 % STE	0,621						
10 % STE	0,500				0,626		
15 % STE	0,205				0,330	0,237	

**Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones*

Elasticidad	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,537				0,004*		
10 % ST	0,096	0,011*				0,026*	
15 % ST	0,015*	0,005*	0,018*				0,987
5 % STE	0,008*						
10 % STE	0,000*				0,307		
15 % STE	0,004*				0,871	0,400	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

▪ **Color de los panes.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones			
	ST	STE	ST + STE	
MIGA	Color L*	>0,150	>0,150	>0,050
	Color a*	0,075	>0,150	>0,050
	Color b*	0,037*	0,044*	>0,050
CORTEZA	Color L*	0,143	0,050	>0,050
	Color a*	0,053	0,050	>0,050
	Color b*	0,037*	0,030*	>0,050

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

Resumen de las diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, valores p dos colas

MIGA Color L*	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,001*				0,000*		
10 % ST	0,000*	0,000*				0,000*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,000
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,000*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

MIGA Color a*	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,000*		
10 % ST	0,000*	0,000*				0,000*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,000*
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,000*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

MIGA Color b*	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,000*		
10 % ST	0,000*	0,127				0,000*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,000*
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,000*		
15 % STE	0,127				0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

CORTEZA Color L*	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,000*		
10 % ST	0,005*	0,000*				0,000*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,000*
5 % STE	0,057						
10 % STE	0,000*				0,000*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

CORTEZA Color a*	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,000*		
10 % ST	0,000*	0,000*				0,000*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,001*
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,000*		
15 % STE	0,000*				0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

CORTEZA Color b*	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,000*				0,000*		
10 % ST	0,000*	0,127				0,002*	
15 % ST	0,000*	0,000*	0,000*				0,000*
5 % STE	0,000*						
10 % STE	0,000*				0,001*		
15 % STE	0,127				0,000*	0,000*	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

▪ **Firmeza de los panes.**

Prueba de Normalidad, valores p

Parámetro	Formulaciones			
	ST	STE	ST + STE	
FIRMEZA	Día 0	>0,150	>0,150	>0,100
	Día 3	>0,150	0,055	>0,050
	Día 6	>0,150	0,098	<0,010*

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

Resumen de las diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, valores p dos colas

FIRMEZA día 0	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,865				0,030*		
10 % ST	0,804	0,497				0,050	
15 % ST	0,602	0,028*	0,051				0,016*
5 % STE	0,572						
10 % STE	0,669				0,590		
15 % STE	0,330				0,030*	0,266	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

FIRMEZA día 3	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,175				0,327		
10 % ST	0,016*	0,298				0,218	
15 % ST	0,001*	0,226	0,233				0,017*
5 % STE	0,002*						
10 % STE	0,018*				0,590		
15 % STE	0,000*				0,030*	0,266	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

FIRMEZA día 6	Control	5 % ST	10 % ST	15 % ST	5 % STE	10 % STE	15 % STE
Control							
5 % ST	0,057				0,029*		
10 % ST	0,034*	0,003*				0,081	
15 % ST	0,013*	0,012*	0,022*				0,010*
5 % STE	0,034*						
10 % STE	0,011*				0,114		
15 % STE	0,011*				0,003*	0,075	

*Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre formulaciones

CAPÍTULO 4



TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN APLICADA AL ORUJO DE UVA BLANCA

1. INTRODUCCIÓN

Vegetales y frutas han sido identificados en estudios epidemiológicos como componentes clave en dietas patrón para reducir el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas y/o degenerativas tales como la arterosclerosis, enfermedades cardiovasculares, resistencia a la insulina y diabetes tipo II así como varios tipos de cáncer (Hu, Rimm, Stampfer, Ascherio, Spiegelman, & Willett, 2000; Kant, Graubard, & Schatzkin, 2004; Mokdad, Marks, Stroup, & Gerberding, 2004). Estos beneficios se atribuyen principalmente, a los efectos de la fibra dietética y de los compuestos fitoquímicos de este grupo de alimentos (Mildner-Szkudlarz, Bajerska, Zawirska-Wojtasiak, & Górecka, 2013).

En los procesos de preparación y procesado de frutas y vegetales puede descartarse más de un 30 % de producto en forma de piel, pepitas u hollejos, generándose así un residuo a la vez que se disminuye el potencial nutricional de los productos finales (O'Shea, Arendt, & Gallagher, 2012). La valorización de estos subproductos ha suscitado un creciente interés debido a su contenido en fibra y compuestos bioactivos, lo que favorece su potencial utilización como ingredientes funcionales (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006). Así, Schieber, Stintzing & Carle (2001) realizaron un estudio sobre la presencia de compuestos bioactivos como carotenoides, polifenoles y tocoferoles en este tipo de subproductos agroalimentarios destacando que algunos de ellos son fuentes naturales de micronutrientes que pueden, además, ser transformados sin mucho esfuerzo en productos de valor añadido.

Algunos de los usos que se han planteado para valorizarlos son la aplicación como preparados de fibra para mejorar la textura, características sensoriales y la vida útil de productos de alimentación o la incorporación como ingredientes para productos de panadería, bebidas, dulces, lácteos, carne, pasta y sopas (Elleuch et al., 2011).

Entre las frutas destaca de manera especial la uva, la de mayor producción mundial, con más de 75 millones de toneladas (Mt) anuales según los datos de 2014 del *Observatorio Internacional del Vino* (OIV). La Unión Europea destaca por su tradición en este cultivo y acapara el porcentaje más alto de la producción

mundial con un 37,7 % (FAOSTAT, 2014). Sólo en España, se han producido más de 7 Mt de uva en el periodo 2013-2014 (FAOSTAT, 2014).

El 80 % de la producción mundial de uvas se utiliza para la elaboración de vino (Fontana, Antonioli, & Bottini, 2013). De acuerdo con los datos del Informe MERCASA de 2016 sobre *Producción, Industria, Distribución y Consumo de la Alimentación* en España, en el año 2015 el sector del vino y del mosto representó un 3,5 % del valor de la producción vegetal final y el 2,1 % de la producción de la rama agraria. Sólo en España existen más de 4.000 bodegas que suponen el 14 % de toda la industria agroalimentaria española. Castilla y León es la tercera comunidad española con mayor número de bodegas de acuerdo con el citado informe MERCASA.

1.1 Orujo de uva como subproducto agroalimentario

Como resultado del proceso de elaboración del vino, se generan a nivel mundial unos 60 Mt de residuos de orujo, de los cuales más de 1 Mt se producen en nuestro país. El orujo supone aproximadamente el 20-30 % del peso original de la uva (Chand et al., 2009; Llobera & Cañellas, 2007; Prozil, Evtuguin, & Lopes, 2012; Yu & Ahmedna, 2013) y consiste en *semillas o pepitas* (13,77 %), *hollejos* (82,12 %) y *raspón* (4,11 %) (Jiang et al., 2010) (Figura 1).

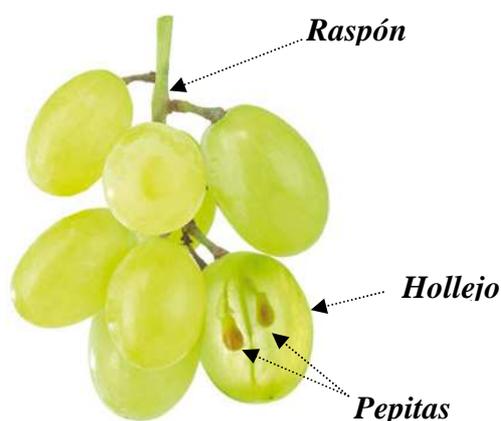


Figura 1. Partes de la uva.

Como dato general, puede decirse que por cada 100 l de vino que se elaboran, se generan 25 kg de orujo si se trata de vino tinto y 31,2 kg si es vino blanco, de los

cuales, en este último caso, 17 kg corresponden a hollejos y 4 kg a raspón (Prozil, Evtuguin, & Cruz, 2013).

Estos subproductos se utilizan en alimentación animal y en otras aplicaciones como pueden ser la extracción de aceite de semillas, la producción de ácido cítrico, metanol y etanol o procesos fermentativos de bajo rendimiento que dan lugar a goma xantana (Deng, Penner, & Zhao, 2011). Sin embargo, el uso más habitual de los subproductos de uva es como fertilizante. Cuando la superficie de suelo no es lo suficientemente grande, pueden generarse problemas medioambientales como contaminación del suelo, contaminación de aguas subterráneas por liberación de nitratos, procesos de erosión/compactación o atracción de insectos que transmiten enfermedades (Botella, De Ory, Webb, Cantero, & Blandino, 2005; CE 2006). Por todas estas razones, la gestión de los residuos de orujo es un problema desde el punto de vista ecológico y económico (Fontana, Antonioli, & Bottini, 2013).

El Reglamento CE 1234/2007, que establece las condiciones y requisitos de la producción vitivinícola, indica que este sector podrá fomentar iniciativas para la gestión de los subproductos con el fin de proteger la calidad del agua, el suelo y los entornos naturales así como preservar y fomentar la biodiversidad.

1.2 Composición del orujo de uva

La composición, características nutricionales y cantidad de orujo que se produce en el proceso de vinificación depende de la variedad de uva, condiciones de cultivo y proceso de vinificación (Deng et al., 2011). Por ejemplo, durante la elaboración de vino blanco, el raspón se separa y las uvas se prensan antes de la fermentación, al contrario que en la elaboración de tinto donde el prensado se hace después de la fermentación. Jiang, Simonsen & Zhao (2010) establecieron una diferencia considerable en el contenido de sólidos solubles entre orujo de uva blanca y tinta (78,15 % y 26,03 % respectivamente). Este parámetro es una medida del contenido en azúcares solubles, y es inferior en el orujo de uva tinta debido a que el orujo se mantiene durante la fermentación y los azúcares son utilizados como sustrato por las levaduras. También la forma en que el orujo se seca y se almacena influye en su composición (Pirmohammadi, Golgasemgarebagh, & Azari, 2007).

El contenido en determinados componentes como proteínas, fibra dietética, azúcares, lípidos y compuestos bioactivos del orujo de uva, justifica su valorización en alimentación humana y animal (Aslanian, Dizaji, Fahoomand, Shahrari, Maheri, & Rouhnavaz, 2011; Yu & Ahmedna, 2013). Por otro lado, este subproducto puede ser considerado como una fuente de antioxidantes de

origen natural de bajo coste (Shojaee-Aliabadi et al., 2013) y contiene componentes con actividad biológica como polifenoles (Alonso et al., 2012; Bonilla, Mayen, Merida, & Medina, 1999; Deng, Penner, & Zhao, 2011; Sehm, Treutter, Linder Mayer, Meyer, & Pfaffl, 2011; Torres et al., 2002;) en particular antocianos y flavonoles (Downet, Mazza, & Krstic, 2007) y resveratrol (Shrikhande, 2000; Yang, Martinson, & Liu, 2009; Yilmaz & Toledo, 2004). La lignina, polímero natural complejo perteneciente a la fibra, constituye el 38-40 % de la masa total del orujo de uva (Saura-Calixto et al., 1991; Valiente et al., 1995). La lignina en el orujo se presenta unida mediante enlaces covalentes a los polisacáridos a través de residuos de azúcar o vía ácidos fenólicos esterificada con polisacáridos (Macheix & Fleuriet, 1990; McDougall, Morrison, Stewart, & Hillman, 1996).

Otros estudios han analizado la composición específica de alguna de las 3 partes constituyentes del orujo de uva (Figura 1). Por ejemplo, de acuerdo con Deng et al. (2011), los *hollejos* tienen un contenido medio de fibra dietética total de 22,64 % para orujo blanco y de 53,53 % para orujo de uva tinta. En estudios realizados sobre *pepitas* y *hollejo* se ha puesto de manifiesto que ambos componentes son fuente de flavonoides con gran capacidad para actuar como potentes antioxidantes secuestradores de radicales libres (Yu & Ahmedna, 2013) y presentan un alto contenido en compuestos polifenólicos y en fibra dietética (Bravo & Saura-Calixto, 1998; Valiente, Arrigoni, Esteban, & Amado, 1995). En líneas generales, se puede decir que las *pepitas* de uva son una de las partes del orujo a las que se ha dado más valor.

Las *pepitas* suponen entre el 40 y el 60 % del peso del orujo en uva blanca (Nair & Pullammanappallil, 2003) y están compuestas por un 13-19 % de aceite, rico en ácidos grasos esenciales, 11 % de proteínas, 60-70 % de carbohidratos no digeribles, entre los que se encuentra un 40 % de fibra y antioxidantes no fenólicos como tocoferoles y β -caroteno, ambos potentes antioxidantes y esenciales para la salud humana (Baydar & Akkurt, 2001; Kim et al., 2006; Llobera & Cañellas, 2007; Rao, 1994). También tienen un contenido importante en fitoesteroles, que son bien conocidos por su actividad frente a la arteriosclerosis (Yu & Ahmedna, 2013). La composición en ácidos grasos del aceite que se extrae de las *pepitas* de uva y su capacidad antioxidante también dependen de la variedad de uva, condiciones de cultivo, método de extracción y grado de refinamiento, lo que determinará sus aplicaciones nutricionales y/o cosméticas (Yu & Ahmedna, 2013).

Finalmente, el *raspón* está formado principalmente, por celulosa y hemicelulosa (Prozil et al., 2012) y también es una fuente de polifenoles (González-Centeno et al., 2012). A pesar del interés que puede tener el raspón, no existe mucha información sobre esta parte del orujo como tampoco sobre el orujo de uva

completo (semillas, hollejos y raspón) en cuanto a cantidad de fibra dietética y propiedades antioxidantes (Llobera & Cañellas, 2007).

Por tanto, con los datos aportados, se observa que la fibra dietética y los compuestos bioactivos destacan como los componentes de mayor interés en este subproducto y merecen especial atención con el fin de analizar sus posibilidades de valorización. Por ejemplo, los compuestos bioactivos pueden tener interés para la industria farmacéutica, cosmética y/o de alimentación (Fontana et al., 2013). De hecho, hay un amplio abanico de usos potenciales para este subproducto entre los que se puede destacar la elaboración de alimentos funcionales (fibra dietética y polifenoles), como coadyuvante en elaboración de alimentos (biosurfactante), cosmético (aceite de semillas y polifenoles), farmacéutico y biomédico (pululano) o como suplemento nutricional (orujo en polvo) (Dwyer, Hosseinia, & Rod, 2014).

1.3 Compuestos bioactivos del orujo: efectos beneficiosos

Los *compuestos bioactivos* como los polifenoles están presentes de manera natural en frutas y vegetales. Su contenido varía de un alimento a otro e incluso dentro de un mismo grupo de alimentos (Cao, Sofie, & Prior, 1996).

Algunos polifenoles están ligados a carbohidratos o proteínas, componentes de la pared celular (Hartley, Morrisson, Hilmelsbach, & Borneman, 1990), e influyen en los mecanismos fisiológicos ejerciendo diversos beneficios sobre la salud (Biesalski, et al., 2009; Schieber, Stintzing, & Carle, 2001). Igualmente, retardan el proceso de envejecimiento celular (Garewall, 1997; Rupasinghe & Clegg, 2007) como consecuencia del incremento de la capacidad antioxidante plasmática que a su vez inhibe la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL).

En el caso concreto del vino, su composición fenólica depende de la variedad de uva (Cravero & Di Stefano, 1990; González-SanJosé, & Diez, 1992 y 1993; González-SanJosé, Santa-María, & Diez, 1990; Pérez-Magariño & González-SanJosé, 2006) y, dentro de cada variedad, del clima de la zona, condiciones de cultivo (por ejemplo, prácticas de fertilización) y método de vinificación (Mildner-Szkudlarz, Bajerska, Zawirska-Wojtasiak, & Górecka, 2013). En términos generales se establece que la fracción fenólica extraíble en la uva se distribuye aproximadamente de la siguiente manera: 10 % en pulpa, 60-70 % en semillas y 28-35 % en hollejos (Shi, Yu, Phorly, & Kakuda, 2003).

Aproximadamente el 70 % de los compuestos fenólicos permanecen en el orujo después del procesado (Ratnasooriya & Rupasinghe, 2012) y se concentran principalmente en hollejo y pepitas (González-SanJosé et al., 1991; Pérez-

Magariño & González-SanJosé, 2004) junto con el pedúnculo (González-SanJosé et al., 1990; Pérez-Magariño & González-SanJosé, 2006; Poudel, Tamura, Kataoka, & Mochioka, 2008; Rodríguez et al., 2006). Generalmente, las semillas son ricas en flavonoides mientras que los hollejos son ricos en ácidos fenólicos (Yu & Ahmedna, 2013).

En contraste con el orujo de uva tinta, el de uva blanca ha sufrido un tiempo de maceración más corto por lo que los polifenoles extraíbles han tenido menos tiempo para solubilizarse (Larrauri, Ruperez, Bravo, & Saura-Calixto, 1996) permaneciendo por tanto en este subproducto.

Los compuestos bioactivos en el orujo de uva son sensibles al calor por lo que resulta crítico controlar las temperaturas en los procesos de tratamiento térmico de manera que se pueda maximizar la presencia de estos compuestos. Sin embargo, algunos estudios indican que el procesado térmico no tiene influencia en las propiedades antioxidantes e, incluso, apuntan a que durante estos procesos se pueden desarrollar nuevos antioxidantes e incrementar el contenido total de los mismos (Fellers & Bean, 1977). Así, Kim et al. (2006) incrementaron la capacidad antioxidante de pepitas de uva mediante tratamientos térmicos, observando que dicho aumento en la actividad antioxidante se veía afectado por las condiciones de calentamiento (tiempo y temperatura).

1.3.1 Aplicaciones del orujo de uva como antioxidante

La aplicación de antioxidantes naturales en alimentos está siendo promovida, no sólo por su impacto positivo sobre la salud sino también por evitar los efectos secundarios no deseables asociados a algunos antioxidantes sintéticos (Di Majo, La Guardia, Giammanco, La Neve, & Giammanco, 2008; Okonogi, Duangrat, Anuchpreeda, Tachakittirungrod, & Chowwanapoonpohn, 2007). Así, en los últimos años ha aumentado el interés en la búsqueda de alternativas naturales que tengan una actividad antioxidante similar o superior a los antioxidantes sintéticos. En este sentido, los subproductos de vinificación pueden ser valorizados como sustitutos de aditivos antioxidantes en alimentos o como nuevos ingredientes en la industria farmacéutica (Denny et al., 2014; Makris, Boskou, & Andrikopoulos, 2007).

El orujo de uva ya se ha introducido como ingrediente antioxidante en la tecnología de alimentos con diversas aplicaciones como son, el aporte nutricional, la prevención del enranciamiento en alimentos grasos, la inhibición de la formación de compuestos tóxicos procedentes de la oxidación, o la mejora de la vida útil de alimentos. Recientemente, se han desarrollado una serie de saborizantes a partir de orujo de uva tinta (González-SanJosé, García-Lomillo,

Del Pino-García, Rivero, & Muñiz-Rodríguez, 2015) con propiedades antioxidantes y antimicrobianas, con un contenido destacable en fibra, compuestos fenólicos y determinados minerales como el potasio (Del Pino-García, García-Lomillo, Rivero-Pérez, González-SanJosé, & Muñiz, 2015; García-Lomillo, González-SanJosé, Del Pino, García, Rivero-Pérez, & Muñiz-Rodríguez, 2014).

Tseng & Zhao (2013) incorporaron orujo de uva tinta para fortificar yogur y aliño para ensaladas. En este estudio concluyeron que no sólo se incrementaba el contenido en fibra dietética total y el contenido fenólico, sino que además se retrasaba la oxidación lipídica de los productos durante el almacenamiento.

La oxidación lipídica es una de las principales causas por las que la vida útil de los productos de alimentación es corta por lo que la aplicación del orujo de uva podría desempeñar una doble función; como inhibidor o retardador de la oxidación y como ingrediente funcional para el organismo. Así, se han publicado estudios de inclusión de orujo de uva en un preparado a base de músculo picado de pescado en los que se observa este retardo en la oxidación lipídica que prolonga la vida útil y mejora el *flavor* (Sánchez-Alonso, Jiménez-Esgrig, Saura-Calixto, & Borderias, 2008). También se ha obtenido el mismo efecto aplicándolo en un preparado cocido a base de músculo de pollo picado y en pechuga de pollo (Sáyago-Ayerdi, Brenes, Viveros, & Goñi, 2009). Recientemente se ha comprobado que la incorporación de un sazónador preparado a base de orujo de uva tinta, con o sin semillas, en preparados cárnicos de ternera con bajo contenido en sal y envasados en atmósfera modificada retrasa el crecimiento microbiano y puede retrasar la formación de olores extraños durante el almacenamiento de productos cárnicos (García-Lomillo, Del Pino-García, & Muñiz-Rodríguez, 2017; García-Lomillo, González-SanJosé, Del Pino-García, Ortega-Heras, & Muñiz-Rodríguez, 2017).

La incorporación de polifenoles no altera el pH, ni la actividad de agua, ni la capacidad de ligazón de los productos finales (Yu & Ahmedna, 2013). Sin embargo, sí altera el color tanto de productos crudos como cocidos. Por ello, los polifenoles que contienen menos antocianos pueden ser una opción más viable para utilizar como antioxidantes en productos cárnicos (Yu & Ahmedna, 2013).

También se han realizado aplicaciones en productos a base de cereales, incluyendo orujo de uva en la elaboración de pan (Peng et al., 2009; Sáyago-Ayerdi et al., 2009) o en chips de maíz en los que se observó un menor valor de peróxidos durante el tiempo de almacenamiento (Rababah et al., 2011). Mildner-Szkudlarz et al. (2013) incorporaron orujo de uva blanca en galletas obteniendo productos finales con alto un contenido en compuestos antioxidantes, además de en fibra. En este caso, el porcentaje de orujo que se pudo incorporar

en la formulación, se vio limitado por los efectos que genera la fibra sobre las masas.

1.4 Fibra dietética del orujo de uva

En el orujo de uva, más del 75 % de la fibra dietética y más del 60 % de la materia seca es no digerible in vitro (Bravo & Saura-Calixto, 1998) e incluye pectina, celulosa, lignina Klason y polifenoles (Deng et al., 2011; Gonzalez-Centeno et al., 2010; Llobera & Cañellas, 2007). La lignina Klason corresponde a la parte insoluble en ácido de la lignina y recibe el nombre del método que se utiliza para su determinación. En el estudio de Llobera & Cañellas (2007) sobre orujo de uva tinta *Manto negro* se obtuvo un contenido en fibra del 77,2 % (ms) del cual, el 73,5 % corresponde a fibra dietética insoluble (FDI) y el 3,7 % a fibra dietética soluble (FDS). En este mismo estudio, se determinó un alto contenido en lignina Klason en el raspón (31,6 %). Llobera & Cañellas (2008) determinaron que el contenido de FDI en el orujo de uva blanca (61,3 % ms) triplica a la fracción de FDS (10,3 % ms).

La fracción de lignina Klason contiene importantes cantidades de taninos condensados y proteínas resistentes (Yu & Ahmedna, 2013). Gonzalez-Centeno et al. (2010) concluyeron que en orujo de uva (tinta o blanca) este contenido supone un 20-25 % del total de la fibra dietética. Deng et al. (2011) analizaron el orujo de uva (hollejos y pepitas) de dos variedades blancas y tres tintas y determinaron que la fracción de FDI se compone de lignina Klason (7,9-36,1 % ms), azúcares neutros (4,9-14,6 % ms) y ácidos urónicos (3,6-8,5 % ms).

Los efectos fisiológicos y fisicoquímicos de la fibra dietética dependen de la cantidad relativa de cada uno de los componentes, especialmente en lo que se refiere a la fracción soluble e insoluble (Jimenez-Escrig & Sánchez-Muniz, 2000). Además del interés nutricional de cada una de las fracciones de la fibra, la distribución de ambas, determinará las posibilidades de aplicación en la formulación de alimentos en relación a las propiedades tecnológicas. La cantidad de FDI (hemicelulosa y lignina) está relacionada con propiedades como la capacidad de absorción de agua mientras que, la FDS (pectinas, gomas, mucílagos y algunas hemicelulosas), interviene en los procesos de hinchamiento.

La FDS puede retener hasta cinco veces su peso en aceite. Esta propiedad es utilizada en la industria alimentaria para mejorar la retención de grasa que normalmente se pierde, por ejemplo, en los procesos de cocción de productos cárnicos elaborados. Del mismo modo, la FDS también puede actuar reteniendo agua y aumentar el rendimiento del producto. La aplicación de la FDS como sustituto de grasa tiene interés en galletas, productos cocidos, productos de

confitería, bebidas, salsas, postres o yogures y supone una reducción en el contenido calórico final (Thebaudin et al., 1997).

La FDS presenta mejores propiedades que la FDI en cuanto a la viscosidad, facilidad para formar geles y/o actuar como emulsificantes y a la capacidad de expansión en productos de cereales sin aportar sabor ni textura extraña por lo que resulta más fácil de incorporar en alimentos procesados y bebidas.

La ratio FDS/FDI es importante para maximizar los efectos saludables y las aplicaciones tecnológicas. En 1998, Saura-Calixto propuso el concepto de *fibra dietética antioxidante* (FDA) a partir de su estudio con orujo de uva, estableciendo que 1 g de FDA puede tener un valor de la capacidad antioxidante medida como DPPH equivalente al menos a 50 mg de vitamina E y un contenido de fibra dietética superior al 50 % en base seca.

El complejo fibra-antioxidante puede ser considerado como una forma natural de proveer de compuestos antioxidantes a la flora intestinal sin degradación a nivel gástrico (Esposito et al., 2005) y que ayuda a mejorar la salud gastrointestinal a través de la creación de un mejor perfil de la microbiota (Pozuelo et al., 2012). La FDA ha demostrado la capacidad para reducir los niveles de colesterol y mejorar la presión sanguínea (Jiménez et al., 2008).

1.4.1 Aplicaciones del orujo como fuente de fibra

Actualmente, la industria alimentaria tiende hacia la obtención de nuevas fuentes de fibra de origen natural e ingredientes de alto valor añadido. Por otra parte, este sector está fuertemente vinculado a la economía circular, lo que implica el desarrollo de procesos de producción que minimicen la aparición de residuos y la recuperación, reciclado y valorización de los subproductos.

Siguiendo este concepto de economía circular los orujos de uva, ricos en fibra dietética, pueden ser incorporados como sustitutos parciales de harina, grasa y azúcar. Se trata de un ingrediente económico y agente de relleno no calórico que mejora la emulsión y la estabilidad oxidativa de productos alimenticios. Sin embargo, deben tenerse en cuenta los efectos de esta inclusión sobre el color, textura y otras propiedades del producto final (Figura 2).



Figura 2. Orujo de uva fresco (a), seco (b) y seco molido (c).
(Imagen propia)

La incorporación de fibra en productos de alimentación permite a los productores realizar declaraciones nutricionales en el producto final. De acuerdo con el Reglamento de las declaraciones nutricionales (CE, 2006), para que un producto pueda declarar ser “fuente de fibra”, debe contener al menos 3 g de fibra por cada 100 g de ración o 1,5 g de fibra por cada 100 kcal. Para poder declarar que el producto tiene “alto contenido de fibra”, este tiene que contener al menos 6 g de fibra por cada 100 g de producto o 3 g de fibra por cada 100 kcal.

Las características deseables de la fibra dietética para incorporarla en productos de alimentación son: su valor nutricional, sus propiedades tecnológicas y las características sensoriales. El orujo de uva puede incluirse como fuente de fibra mezclada con harina en productos de panadería. Además los polifenoles asociados a la fibra pueden ser una fuente de antioxidantes para mejorar el color, aroma y sabor de los productos de alimentación.

Entre las aplicaciones que se han llevado a cabo con orujo de uva como fuente de fibra en productos a base de cereales, se puede destacar el estudio de Mildner-Szkudlarz, Zawirska-Wojtasiak, Szwengiel & Pacynski (2011) en el que se elaboró pan a partir de orujo de uva mezclado con harina de centeno para obtener un producto con alto contenido en fibra dietética y actividad antioxidante. Los investigadores Aghamirzaei et al. (2015), incorporaron harina de pepitas de uva tinta mezclada con harina de trigo en distintas proporciones también para la elaboración de panes, obteniendo un incremento de la fibra dietética total, grasa y compuestos fenólicos totales. En este estudio, se estableció un máximo de incorporación de harina de pepitas (10 %) con el que se

obtenía buenas propiedades fisicoquímicas y farinográficas en el desarrollo de la masa. Rosales Soto, Brown & Ross (2012) también utilizaron harina de pepitas de uva para incrementar el valor nutricional de barras de cereales, tortitas y noddles. En el estudio de Mildner-Szkudlarz et al. (2013) se incorporó orujo de uva blanca sin pepitas para la elaboración de galletas sustituyendo diversos porcentajes de harina de trigo. Las galletas elaboradas con orujo mejoraron desde el punto de vista nutricional ya que el contenido en FDT fue muy superior al control, además presentaron una mayor actividad antioxidante asociada a los compuestos fenólicos del orujo.

Sin embargo, la utilización directa del orujo de uva resulta complicada por diferentes razones entre las que destacan las dificultades tecnológicas que genera. Por ejemplo, la incorporación en productos de panadería, galletería, etc. interfiere en las propiedades reológicas y en el manejo de las masas dando lugar a productos con peor apariencia y volumen.

La utilización de subproductos de uva como fuente de fibra también tiene influencia sobre las propiedades sensoriales y de textura de alimentos y bebidas en términos de sensación de terrosidad, dureza y gomosidad (Jaeger, Axten, Wohlers, & Sun-Waterhouse, 2009; Mildner-Szkudlarz et al., 2013). Concretamente, los componentes principales del orujo de uva, polifenoles y fibra, afectan de manera muy importante a las propiedades sensoriales, a la aceptabilidad de los productos y, es el amargor, uno de los mayores problemas (Axten, Wohlers, & Wegrzyn, 2008).

La incorporación de este subproducto también afecta a la calidad final del producto en parámetros como la expansión de los cereales, o la textura por lo que se considera conveniente procesar previamente el orujo para mejorar su uso como ingrediente.

1.4.2 Aplicación en productos expandidos: Características de calidad

Como se comentó en el Capítulo 2, una opción demandada por los consumidores son los productos de aperitivo ricos en fibra. Habitualmente, este tipo de productos se elabora a partir de semolina de maíz o sémola de arroz y la incorporación de fuentes de fibra, aunque incrementa los niveles de fibra, afecta a las características físicas y sensoriales de estos productos.

La extrusión ha sido ampliamente estudiada para incrementar la calidad nutricional de los productos de aperitivo, enriqueciendo el contenido de fibra e incorporando subproductos procedentes de la industria agroalimentaria (Stojceska, Ainsworth, Plunkett, Ibanoglu, & Ibanoglu, 2008a; Stojceska, Ainsworth, Plunkett, & Ibanoglu, 2008b; Stojceska et al., 2009).

En concreto, en el estudio de Altan, McCarthy & Maskan (2008) se incluyó orujo de uva sin pepitas en snacks extrusionados sustituyendo 2, 6, 10 y 12,73 % de harina de cebada utilizando distintas temperaturas en la salida de producto del extrusor y diferentes velocidades en los husillos. Se analizó el efecto de la incorporación de orujo en las propiedades finales del producto (expansión, densidad, textura, color y valoración sensorial), concluyendo que se podían incorporar distintos niveles de orujo de uva sin pepitas en función de lo crujiente que se desee el snack. En este estudio, se establecieron como parámetros óptimos la inclusión de un 2 % de orujo para unas condiciones de proceso de 160 °C temperatura de salida del extrusor y 200 rpm y un 10 % para 160 °C y 150 rpm.

Posteriormente, los mismos autores estudiaron cómo las variables de proceso, temperatura y velocidad de giro, afectaban a las mezclas de cebada con orujo (10, 2, 6 y 12,73 %) en las propiedades funcionales; índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI) y capacidad de hinchamiento (WSI), grado de gelatinización y digestibilidad in vitro. Concluyeron que el contenido en orujo de uva sin pepitas afecta al grado de gelatinización y que los valores de WSI y WAI de todas las mezclas se veían afectados por la temperatura utilizada en la salida y por la cantidad de orujo de uva sin pepitas incorporado (Altan, McCarthy, & Maskan, 2009).

Las características de calidad de los productos expansionados son críticas para la aceptación por parte de los consumidores. Entre ellas, se valora que el producto sea crujiente y que tenga una buena expansión, una estructura homogénea, una apariencia atractiva, un color y aroma adecuados (Lazou et al., 2010). Sin embargo, se ha comprobado que la incorporación de cantidades crecientes de fibra en formulaciones de productos extrusionados reduce el grado de expansión de estos productos (Pai, Blake, Hamaker, & Campanella, 2009) y da lugar una aceptación sensorial menor.

La evaluación de la calidad sensorial resulta muy útil en el desarrollo de nuevos productos o en la mejora de los ya existentes y permite evaluar cómo afectan las propiedades de las materias primas utilizadas en las características sensoriales del producto final. Este efecto ha sido estudiado por varios autores para cereales expandidos a base de trigo y maíz (Ding et al, 2005; Mayyawadee, Klaus, & Gerhard, 2012; Onwulata & Heymann, 1994).

1.5 Modificación del orujo de uva mediante la tecnología de extrusión

La extrusión es un tratamiento que mejora el potencial de utilización de algunos subproductos, por ello, la aplicación de esta tecnología sobre los orujos de uva puede servir para mejorar sus características nutricionales, de salud y funcionales y obtener un nuevo ingrediente diferenciable.

1.5.1 Efecto del procesado en las propiedades de la fibra

Como se ha descrito anteriormente, mediante extrusión es posible incrementar el nivel de fibra dietética total así como su funcionalidad. Las condiciones que se apliquen durante el proceso y las características del material de partida (de dónde proviene, tratamientos a los que se ha sometido, tamaño de partícula o composición) van a determinar el resultado final.

Se ha comprobado que la aplicación de la extrusión puede mejorar las propiedades sensoriales de los productos fibrosos (Gajula et al., 2008).

La mejora de las propiedades nutricionales y funcionales de la fibra después de la aplicación de la extrusión, se produce como consecuencia de la reorganización de los componentes de la misma. La FDI se solubiliza durante los tratamientos de extrusión incrementando el contenido final de FDS (Elleuch et al., 2011). Este efecto se relaciona con el calentamiento que se produce durante el proceso que es capaz de modificar considerablemente los tejidos de las plantas, dependiendo de la composición y estructura de los componentes de la fibra (Stojceska et al., 2010) y con la acción mecánica que tiene lugar sobre los enlaces glucosídicos de los polisacáridos liberando oligosacáridos (Elleuch et al., 2011; Esposito et al., 2005).

Como ya se ha comentado, durante el proceso de extrusión pueden darse modificaciones del color debido a las condiciones del proceso, en especial, a la temperatura. En determinados subproductos se produce el pardeamiento enzimático o la reacción de Maillard dando lugar a una tonalidad más oscura que es deseable para algunas aplicaciones posteriores.

1.5.2 Efecto del procesado en las propiedades antioxidantes

El contenido en compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del orujo pueden verse afectados por el procesado térmico. De acuerdo con Aviram & Fuhrman (2002) los antioxidantes de origen natural se pueden degradar durante los tratamientos y el almacenamiento. Las condiciones de los procesos

tales como el horneado, escaldado o extrusión, son normalmente agresivas y bajo estas condiciones, muchos de los compuestos bioactivos pueden sufrir una degradación, isomerización o polimerización y perder su actividad (Yu & Ahmedna, 2013).

Sin embargo, Dewanto et al. (2002) observaron que el procesado térmico incrementaba la actividad antioxidante y la bioaccesibilidad del licopeno en tomates y no se producían cambios significativos en el contenido total en compuestos fenólicos y flavonoides, aunque sí se observó pérdida de vitamina C. Zhang et al. (2012) aplicaron la tecnología de extrusión para mejorar las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de determinados compuestos del té, y concluyeron que este proceso era útil para mejorar la actividad antioxidante de polisacáridos conjugados de este producto.

Este fenómeno, puede estar relacionado con el hecho de que los compuestos fenólicos de bajo peso molecular que se presentan en la naturaleza, están unidos mediante enlace covalente en plantas y vegetales tienen poca actividad antioxidante. Sin embargo, se ha observado que dichos compuestos pueden ser liberados mediante calentamiento, con la aplicación de infrarrojos o mediante fermentación, mostrando fuertes actividades antioxidantes (Jeong et al., 2004; Niwa, Kanoh, Kasama, & Negishi, 1988). Es decir, el tratamiento térmico puede mejorar la extractabilidad de estos compuestos.

Por otra parte, durante los procesos de calentamiento, se pueden formar productos de la reacción de Maillard, los cuales presentan propiedades antioxidantes que podrían contribuir a la capacidad antioxidante total.

En los estudios realizados con distintas fracciones del orujo de uva, se sugiere que el procesado térmico podría incrementar la extractabilidad y biodisponibilidad de algunos polifenoles mientras destruye polifenoles sensibles al calor, en semillas y hollejo de uva (Yu & Ahmedna, 2013). De acuerdo con Larrauri et al. (1997), el secado de pepitas de uva a temperaturas de 100 y 140 °C supone una reducción del 18,6 y 32,6 %, respectivamente, de polifenoles extraíbles.

1.6 Objetivos

Con el fin de valorizar el orujo de uva blanca e incrementar las posibilidades de uso en alimentación, se plantearon dos objetivos en este capítulo:

- Evaluar el efecto de la tecnología de extrusión sobre la composición química, las propiedades funcionales y la capacidad antioxidante de orujo de uva blanca con pepitas y sin pepitas.

- Estudiar la viabilidad tecnológica y la aceptación sensorial de la incorporación de este orujo como fuente de fibra en un snack a base de cereales y/o leguminosas.

Para la realización de este estudio, se llevó a cabo en primer lugar un acondicionamiento del orujo de uva blanca mediante secado, separación de pepitas y molienda. Se procedió a la caracterización de los dos productos, orujo blanco con pepitas y orujo blanco sin pepitas en los parámetros de interés: composición química, contenido en compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y propiedades funcionales. Ambos productos se sometieron a procesos de extrusión utilizando parámetros de trabajo definidos para, finalmente, analizar de nuevo las propiedades antes indicadas, evaluar los efectos del tratamiento y definir posibles aplicaciones de los productos finales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se ha trabajado con orujo fresco de uva blanca, variedad *Verdejo* (D.O. Rueda), procedente de Bodega Matarromera que incluye hollejo, raspón y pepitas, sulfitado en dosis de 2-2,5 g/kg. Este orujo se denominó OCP. La humedad inicial del orujo es de 60 % por lo que se sometió a un secado en secadero de aire caliente por convección (prototipo, CARTIF, España) con una temperatura máxima de 60 °C hasta ajustar la humedad por debajo del 10 %. A una parte del OCP seco se le retiraron las pepitas a través de un cedazo, obteniendo de esta manera el orujo sin pepitas, que se denominó OSP.

A continuación, se realizó el molido de ambos tipos de orujos en molino de martillos (Mecamaq, Lleida, España) y tamizado con una luz de malla de 0,5 mm. El OCP y OSP se guardaron en bolsas de polietileno en cámara refrigerada (8 °C) hasta el momento de utilizarlos.

Para la formulación de los snacks se adquirieron harinas de arroz, avena, trigo (Harinas Emilio Esteban, S.A.), maíz y lenteja (Harinas Los Pisones, S.A.) y componentes minoritarios (carbonato cálcico y sal).

2.2 Procesos de extrusión sobre orujos

Los procesos de extrusión se llevaron a cabo con un extrusor de doble husillo corrotante modelo Clextral Evolum 25 (Clextral, Firminy Cedex, Francia) de doble husillo corrotante (25 mm de diámetro y 600 mm de longitud) y con una salida de 4 mm de diámetro.

La dosificación se realizó con alimentación forzada mediante dosificador volumétrico (K-Tron Corp., Pitman, NJ, EE.UU.) y se estableció en 15 kg/h de orujo blanco molido. Las temperaturas utilizadas durante el proceso fueron 60-110 °C del primer al sexto módulo.

Los parámetros de trabajo que se utilizaron en el equipo para la extrusión de los orujos se seleccionaron en función de experiencias previas realizadas y de la bibliografía consultada. Se variaron dos parámetros de proceso, agua añadida y velocidad de giro de los husillos, manteniendo constantes el resto. Estas condiciones de operación están recogidas en la Tabla 1 donde se muestra la nomenclatura utilizada para cada proceso y la presión que se generó en los mismos. Se fijaron los mismos valores de trabajo para OCP y OSP con el fin de establecer comparaciones entre ambos tipos de orujo.

Tabla 1. Parámetros de trabajo para los procesos de extrusión de los orujos.

Código	Caudal de agua (l/h)	Velocidad de tornillo (rpm)	Presión generada (bares)
OCP1/OSP1	7	600	30
OCP2/OSP2	11	600	27
OCP3/OSP3	11	1000	26
OCP4/OSP4	7	1000	24
OCP5/OSP5	4,5	1000	31

OCP: orujo de uva con pepitas. OSP: orujo de uva sin pepitas

Todos los productos extrusionados de orujo de uva blanca se secaron en un secadero con aire caliente (descrito en el apartado 2.1) a una temperatura máxima de 80 °C durante 20-30 min hasta obtener una humedad media del 6 %.

Los orujos se guardaron en sacos de plástico y se almacenaron a temperatura ambiente (22 ± 1 °C) hasta el momento de realizar los análisis.

2.3 Formulación de los snacks o aperitivos

Se realizaron dos formulaciones de snacks utilizando como harinas base maíz y arroz por sus conocidas propiedades de expansión.

En la fórmula o receta 1 (R1) la harina mayoritaria fue de maíz y se sustituyó un 15 % por OCP (R1 OCP) y por OSP (R1 OSP) respectivamente. Además, la mezcla contiene; 5 % de harina de trigo, 5 % de harina de avena, 1 % de sal y 0,5 % de carbonato cálcico.

La fórmula o receta 2 (R2) se preparó con harina de arroz como componente mayoritario, harina de lenteja en un 15 %, harina de trigo y de avena en un 5 % cada una de ellas, 1 % de sal y 1 % de carbonato cálcico. Se sustituyó harina de arroz por un 15 % de OCP (R2 OCP) y OSP (R2 OSP), respectivamente.

El nivel de sustitución de harina por orujo de uva se planteó con el fin de suministrar al menos un 10 % de la cantidad diaria recomendada de fibra dietética (25 g/día) en una ración media de cereales (35 g) y que los cereales pudieran hacer uso de la declaración nutricional “*alto contenido en fibra*” de acuerdo con el Reglamento 1924/2006 (CE, 2006).

2.4 Elaboración de los snacks expansionados

Para llevar a cabo la elaboración de los snacks de cereales y orujo, se utilizó el equipo de extrusión descrito en el apartado 2.2.

Los parámetros de trabajo en el extrusor se ajustaron en función de cada fórmula con el objetivo de obtener una expansión del producto final óptima. Para ello, se proporcionó una velocidad de giro de los husillos de 500 rpm para las formulaciones R1 y de 1000 rpm para las de R2. Se utilizó un caudal de agua de 0,8-0,9 l/h para la R1 y de 1,2-1,8 l/h para R2. En la zona de calentamiento, compuesta por 6 módulos independientes, el rango de temperaturas de trabajo osciló entre 105 °C para el primer módulo de trabajo y 160 °C para el sexto.

Los productos extrusionados se recogieron tras un periodo de 3-5 minutos después de que el equipo mostrara estabilidad en los parámetros de trabajo. Después del proceso, los snacks obtenidos se secaron durante 10 min en el secadero con aire caliente a 100 °C hasta alcanzar una humedad inferior al 5 %. Una vez fríos los snacks correspondientes a las distintas formulaciones se

almacenaron a temperatura ambiente (22 ± 1 °C) en bolsas de polietileno hasta su análisis.

2.5 Caracterización de los orujos y de los orujos extrusionados

2.5.1 Caracterización química

Se llevó a cabo la caracterización de OCP y OSP, y de todos los orujos obtenidos por los procesos de extrusión (OCP1-OCP5 y OSP1-OSP5). Para ello, se molieron en un molino de laboratorio IKA (IKA, Staufen, Germany) hasta un tamaño de partícula 0,5 mm analizando los parámetros: humedad, proteínas, grasa, cenizas, fibra dietética total (FDT), fibra dietética soluble (FDS), y fibra dietética insoluble (FDI), capacidad antioxidante (CA) y contenido en compuestos fenólicos de acuerdo con los métodos que se describen a continuación. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

Humedad

Se determinó mediante método gravimétrico tras secado de la muestra en estufa a 130 °C hasta peso constante, de acuerdo con el método AACC 44-15.02 (AACC, 2012).

Proteínas

La determinación de proteínas se realizó mediante el método de combustión Dumas, siguiendo el método AACC 46-30.01 (AACC, 2012).

Grasa

El contenido de grasa se determinó mediante método Soxhlet, método AACC 30-20 (AACC, 2012).

Hidratos de carbono

Calculados por diferencia con los datos de humedad, cenizas, grasa y proteínas.

Cenizas

Se determinaron mediante método gravimétrico por incineración a 910 °C en horno mufla hasta obtener cenizas blancas de acuerdo con el método AOAC 923.03 (AOAC, 1995).

Fibra dietética total, fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble

Se determinó mediante el método enzimático gravimétrico de acuerdo con AOAC 985.29 para fibra dietética total (FDT), y AOAC 991.42 para fibra dietética insoluble (FDI) y AOAC 993.19 para la fibra dietética soluble (FDS).

2.5.2 Propiedades antioxidantes

Las propiedades antioxidantes se determinaron mediante el análisis de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante tras moler la muestra y realizar una extracción mediante una mezcla hidroalcohólica 50:50 v/v a 45 °C durante 3 h. El extracto así obtenido se centrifugó a 3000 rpm a temperatura ambiente (22 ± 1 °C) durante 15 min. El sobrenadante se filtró y se diluyó en agua destilada.

Compuestos fenólicos

Se analizaron mediante el reactivo *Folin-Ciocalteu* en el que se determina mediante espectrofotometría a 765 nm la concentración de polifenoles totales expresados como ácido gálico por cien gramos de muestra seca de acuerdo con el método de Waterhouse (2001).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se analizó mediante el reactivo DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo). Se llevó a cabo la determinación del valor de la EC_{50} (*concentración eficiente o índice de oxidación*), de acuerdo con el método descrito por Brand-Williams (1995) en el que se mide la capacidad antioxidante a un tiempo establecido, en el que el antioxidante reduce al DPPH produciendo un cambio de color en el mismo. La longitud de onda de medida es 516 nm. El resultado se corresponde con la EC_{50} , es decir, la cantidad de antioxidante necesario para reducir la absorbancia (color) de la disolución de DPPH a la mitad para un tiempo de 30 min, expresada en g de muestra seca de OSP y

OCP/g DPPH. Se considera que cuanto más bajo es el valor de EC_{50} , más alta es la actividad antioxidante.

2.5.3 Propiedades funcionales

Índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI).

Se determinaron de acuerdo con el método desarrollado por Anderson et al. (1969). Para ello, la muestra molida fue suspendida en agua a temperatura ambiente (22 ± 1 °C), durante 30 min con agitación y después centrifugada a 3000 rpm durante 15 min. El sobrenadante fue evaporado en una cápsula de desecación de peso conocido.

El WAI se determinó como el peso del gel, después de retirar el sobrenadante, por unidad de peso de la muestra. El WSI se calculó como el peso de sólidos secos en el sobrenadante expresado por unidad de peso de la muestra.

2.5.4 Color

El color de los orujos se midió con un espectrofotómetro de reflectancia Konica Minolta CM-3500d, Minolta Corporation (Osaka, Japón) registrando los parámetros L^* (luminosidad), a^* (+rojo/-verde) y b^* (+amarillo/-azul) (CIE, 1978).

Las muestras molidas se extendieron sobre la placa (CM-A128). Las medidas se tomaron con un área de apertura de 30 mm, iluminante D65 y observador estándar 10° , en modo de reflectancia y SCE, con la máscara CM-127. Para el calibrado se utilizó cristal puro calibrado suministrado por el fabricante (CM-A129).

2.6 Caracterización de los snacks expansionados

2.6.1 Humedad

El contenido de humedad del snack expansionado se midió por triplicado de acuerdo con el método descrito en el apartado 2.5.1.

2.6.2 Propiedades físicas

Diámetro e índice de expansión

El diámetro medio (D_e) de los snacks se midió con un calibre Vernier digital o pie de rey calculando el valor medio de 10 medidas.

El índice de expansión (IE) se midió de acuerdo con la fórmula propuesta por Gujska & Khan (1991) donde D_d es el diámetro de la boquilla de salida.

$$IE = D_e \text{ (mm)} / D_d \text{ (mm)}$$

Color

El color de los productos expandidos se midió de acuerdo con el método descrito en el apartado 2.5.4.

2.6.3 Valoración sensorial

Los snacks que se desarrollaron en este estudio pueden considerarse un producto acabado o intermedio puesto que pueden consumirse solos, finalizados mediante un recubrimiento (aromas, slurry, etc.) a modo de aperitivo o formar parte de un producto más complejo (como una barrita de cereales junto con frutos secos y otros ingredientes).

Se diseñó una escala para evaluar las características sensoriales de interés de los snacks en cuanto a la calidad del producto o nivel de agrado. Para ello, se siguió la norma UNE 87-020-93 (ISO 4121:1987) para la evaluación de productos alimentarios que utilizan escalas.

Se convocó a un total de 15 jueces (8 mujeres y 7 hombres) de entre 28 y 47 años, conocedores del tipo de producto a evaluar. Se evaluaron los 6 tipos de snacks en los parámetros de calidad *apariencia*, *olor*, *sabor*, *textura* y *valoración global*.

Previamente al inicio de la sesión de evaluación de calidad sensorial, se explicaron detalladamente los descriptores relativos al análisis sensorial de este tipo de productos:

- **Apariencia:** estructura homogénea, porosidad; cantidad de poros y color.
- **Olor:** propiedad percibida al inspirar determinadas sustancias volátiles contenidas en el producto. Olores típicos a cereales y olores anómalos.
- **Sabor:** sensación gustativa generada por las propiedades del producto. En este caso si el producto tiene sabor a tostado, amargo, sabor a fibra o sabores anómalos. Si el producto deja un gusto residual, persistencia.
- **Textura:** corresponde al conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de superficie de un producto percibidas al morderlo y masticarlo. Entre ellas se encuentran la sensación crujiente, crocante, dureza, cohesividad y se deshace en la boca.

Se fijó el estándar de calidad del producto. Para considerar aceptable la calidad del producto se fijó una valoración mínima de 4.

Las muestras se presentaron codificadas convenientemente mediante un código de 3 cifras combinando letras y números aleatoriamente. La evaluación se llevó a cabo a temperatura ambiente (22 ± 1 °C) y en condiciones de luz normal sin enmascarar el color de las muestras.

Se pidió a los jueces que valoraran la calidad sensorial del producto mediante una escala verbal-numérica presentada en la hoja de cata (Figura 3) puntuando del 1 (muy inadecuado) a 7 (muy adecuado).

Sexo: M / H Fecha:
Edad:

CÓDIGO MUESTRA: _____

Observe el producto que se le presenta. Evalúe el producto rodeando con un círculo la puntuación que le merece respecto a los atributos de calidad donde 1 es muy inadecuado y 7 muy adecuado.

Apariencia	1	2	3	4	5	6	7
Olor	1	2	3	4	5	6	7
Textura	1	2	3	4	5	6	7
Sabor	1	2	3	4	5	6	7
Valoración global	1	2	3	4	5	6	7

Añade los comentarios que consideres oportunos

GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

Figura 3. Modelo de hoja de cata utilizada para la evaluación sensorial.

2.7 Análisis estadístico

Se llevaron a cabo diferentes tratamientos estadísticos mediante el programa MINITAB 16 para conocer el efecto de los distintos procesos sobre los parámetros analizados. Por un lado, se compararon las muestras orujo con pepitas y orujo sin pepitas (OCP/OSP) con los productos obtenidos de los procesos de extrusión bajo diferentes condiciones de proceso OCP1-OCP5 y OSP1-OSP5 respectivamente. Para aquellos parámetros que seguían una distribución normal (comprobado mediante la prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov*) se aplicó la prueba paramétrica de *t-Student* para medidas de muestras emparejadas. En los casos en que no pudo suponerse la normalidad de las poblaciones, se aplicó la prueba U de *Mann-Withney* que es la alternativa no paramétrica a la prueba *t-Student*.

En segundo lugar se realizaron comparaciones entre los diferentes procesos de extrusión aplicados tanto a OCP como a OSP. En este caso, para llevar un control de los datos analíticos resultantes de los procesos en estudio, se aplicó el análisis de la varianza (ANOVA) para distribuciones normales y la prueba de *Kruskal-Wallis* como alternativa no paramétrica al ANOVA de un solo factor. En este último caso, esta prueba no requiere que los datos sean normales, sino que utiliza la clasificación de los valores de los datos en lugar del valor real de los datos para el análisis.

Ambos tratamientos detectan las diferencias estudiando globalmente si los grupos tienen medias/medianas distintas, pero no indican entre qué grupos se encuentran dichas diferencias. Para ello, se recurrió al método de la diferencia significativa honesta propuesto por *Tukey* o método HSD (Honestly Significant Difference).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del orujo de uva

3.1.1 Caracterización química del orujo con pepitas y sin pepitas

Los datos correspondientes a la composición de los orujos secos de uva blanca se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición del orujo con pepitas (OCP) y orujo sin pepitas (OSP). Datos expresados en % sobre extracto seco.

<i>Parámetros</i>	OCP (% ms)	OSP (% ms)
Humedad	6,74 ± 0,11 ^a	9,56 ± 0,09 ^b
Extracto seco	93,26 ± 0,11 ^b	90,44 ± 0,09 ^a
Cenizas	7,69 ± 0,05 ^a	11,33 ± 0,33 ^b
Proteína	9,03 ± 0,53 ^a	12,20 ± 0,14 ^b
Grasa	7,74 ± 0,23 ^b	0,52 ± 0,05 ^a
Hidratos de carbono	68,80 ± 0,45 ^b	65,10 ± 0,44 ^a
Fibra dietética total	50,16 ± 1,19 ^a	54,73 ± 0,75 ^b
F.D. insoluble	42,79 ± 0,28 ^a	52,08 ± 0,09 ^b
F.D. soluble	7,37 ± 0,27 ^b	2,65 ± 0,69 ^a

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Comparando la composición química de los dos orujos (Tabla 2) se observan diferencias apreciables en el contenido de cenizas, proteína, grasa y fibra dietética, en especial en la fracción de FDS. De acuerdo con los resultados, el OSP tiene mayor contenido en proteínas y FDI mientras que el OCP es rico en lípidos y FDS. Tanto el OCP como el OSP son dos subproductos con un alto contenido en proteínas, fibra dietética y cenizas.

La humedad de los orujos de este estudio está por encima del valor 3,33 % obtenido en el estudio de Sousa et al. (2014) y de 4,94 a 6,54 % obtenidos en el estudio de Tangolar, Özoğul, Tangolar, & Torun (2009). El valor de la humedad final depende de las necesidades de conservación del producto y del método de secado aplicado. Los dos tipos de orujo tienen una humedad que no supera el valor límite del 15 % que se recomienda para productos en polvo, como harinas y derivados, con el fin de evitar el desarrollo de microorganismos.

El componente mayoritario en el OCP y OSP corresponde a los hidratos de carbono, que están formados, principalmente, por fibra dietética y los azúcares del mosto residual que han quedado adheridos a los hollejos después del prensado.

El contenido de FDT en OCP y en OSP fue superior al valor que obtuvieron Sousa et al. (2014) de 46,17 %. La mayor parte de la FDT tanto en OCP como en OSP corresponde a FDI. De acuerdo con Dhingra, Michael & Rajput (2012), la FDI está predominantemente formada por celulosa, hemicelulosa y, en menor cantidad, lignina, que son los componentes principales del raspón. Por esta razón, la FDI en el OSP es un 20 % superior que en el OCP.

En cualquier caso, los orujos de uva blanca de este estudio, con y sin pepitas, presentaron un contenido en FDT muy importante comparado con otros subproductos de frutas tales como los de manzana verde (22,1 %), piel de melón (19,3 %) o melocotón (26,3 %) (Chang, Lee, Lin, & Chen, 1998).

También resultó notable la elevada proporción de FDI respecto a la FDS en el OSP debido a la eliminación de las pepitas. El contenido de FDS en el OCP puede ser atribuido al contenido de pulpa restante después del prensado, así como a los productos de las reacciones que han tenido lugar durante el tiempo de maceración y al contenido en pectina de las pepitas.

Los valores de FDS en los dos orujos concuerdan con lo descrito por Rojas (1998) quien estableció que la FDS forma parte de tejidos blandos, pero no de tejidos duros y leñosos donde hay una escasa cantidad de pectinas. El OSP está formado por los hollejos y raspón y por tanto es más rico en lignina y celulosa, fibras típicamente insolubles.

La comparación de los datos obtenidos de FDT y sus componentes, FDI y FDS, obtenidos en el presente estudio con los datos bibliográficos resultó complicada puesto que la mayoría de los estudios sobre orujo de uva consideran hollejo y semillas (sin raspón) o solamente hollejo.

La relación FDS:FDI del OCP es de 1:6 y la del OSP 1:20 De acuerdo con Mildner-Szkudlarz et al. (2013), la relación de FDS: FDI en la dieta debería estar entre 1:4 y 1:3. La mayoría de los datos que se encuentran en la bibliografía para la ratio FDS:FDI para orujos y concentrados de fibra procedente de orujos de uva blanca, muestran valores que se encuentran entre 1:6 y 1:14 en orujo de uva blanca (Bravo & Saura-Calixto, 1998; Pérez-Jiménez & Sáyago-Ayerdi et al., 2009; Valiente et al., 1995). Si bien es cierto, que los diferentes métodos y aproximaciones utilizados para realizar el cálculo de la relación FDI:FDS probablemente pueden ser motivo de discrepancia entre los valores obtenidos por los diferentes autores.

En cuanto al contenido proteico, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambos orujos, 9,03 % para OCP frente a un valor de 12,20 % en OSP. Para orujo de uva *Vitis vinifera* variedad Benitaka se determinó un valor de 8,49 % de proteínas (Sousa et al., 2014), mientras que para orujo sin pepitas de la variedad *Mantonegro* se ha obtenido un contenido en proteínas del 12 %

(Llobera & Cañellas, 2007). Bravo & Saura-Calixto (1998) determinaron un valor de 14 % para proteínas en orujo de uva tinta. En algunos estudios se ha analizado el contenido proteico de los distintos componentes del orujo. Concretamente, se han descrito valores de proteínas de 11 % para el hollejo de uva blanca (Valiente et al., 1995) y 7,29 % para raspón de uva tinta (Llobera & Cañellas, 2007), mientras que en pepitas se obtuvo un contenido de proteína de 11-13 % (Goñi et al., 2005).

El valor de la grasa del OCP (7,74 %) es notablemente superior al de OSP (0,52 %) y corresponde a las pepitas que es donde se concentra principalmente la grasa en porcentajes entre 9 y 18 % de acuerdo con Martínez Massanet et al. (1986). Sousa et al. (2014) obtuvieron un contenido de lípidos para el conjunto de semillas y hollejos de uva tinta de 8,16 %.

En cuanto a las cenizas, el valor obtenido para OCP fue de 7,69 % y está en consonancia con el obtenido en los estudios de Pop et al. (2014) de 6,46 % para orujo de uva blanca de la variedad *Aligoté* y con el valor determinado por Bravo & Saura-Calixto (1998) para hollejo y pepitas de uva blanca de 5,7 %. Para hollejos y pepitas de uva tinta, Valiente et al. (1995) obtuvieron un contenido en cenizas de 9,2 %.

Las cenizas para OSP fueron de 11,3 %. Sin embargo, en el estudio de Llobera & Cañellas (2007), el análisis de cenizas correspondiente sólo al raspón de uva tinta dio como resultado 5,48 %, de lo que se puede deducir que, probablemente, el contenido en cenizas también se vea afectado por las características propias del cultivo. Como se ha comentado anteriormente, la composición del orujo de uva depende de una serie de factores como la variedad de uva, las condiciones de cultivo, el manejo posterior a la recogida y el método de vinificación utilizado, que determinan la variabilidad de los datos de composición.

3.1.2 Caracterización de las propiedades antioxidantes del orujo con pepitas y sin pepitas

La determinación del contenido de polifenoles es indicativa del conjunto de compuestos que contiene el orujo que contribuyen a la capacidad antioxidante. El contenido total de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante para el OCP y OSP están reflejados en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de la capacidad antioxidante del orujo con pepitas (OCP) y del orujo sin pepitas (OSP).

	OCP	OSP
Compuestos fenólicos totales (g eq AG/100 g orujos secos)	9,16 ± 0,05	1,80 ± 0,03
DPPH (EC₅₀) (g muestra seca/g de DPPH)	4,70 ± 0,10	5,50 ± 0,30

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

El contenido en compuestos fenólicos obtenido para OCP fue cinco veces mayor que el valor para OSP. Este resultado está de acuerdo con el hecho de que los valores de polifenoles en semillas son superiores a los de los hollejos (Kállay & Kerényi, 1999; Louli, Ragoussis, & Magoulas, 2004; Negro, Tommasi, & Miceli, 2003). Este valor de OCP es notablemente superior al contenido en polifenoles extraíbles de otros subproductos de frutas deshidratados como manzana, melocotón, ciruela o arándanos, que no superaron 2,83 g eq AG/100 g peso seco (Ishiwata, Yamaguchi, Takamura, & Matoba, 2004), por lo que se puede indicar que este subproducto tiene unas propiedades antioxidantes muy interesantes.

De acuerdo con Larrauri et al. (1997), los antioxidantes contenidos en los hollejos del orujo de uva tinta son prácticamente termoestables cuando se someten a temperaturas de 60 °C. De esta manera, consideramos que la temperatura de secado utilizada en este estudio no ha afectado de manera importante al contenido en compuestos antioxidantes.

Del Pino, Rivero-Pérez, González-SanJosé, Croft & Muñiz (2016) determinaron un contenido total de 24,4 mg eq AG/g de compuestos fenólicos en un sazónador preparado a partir de orujo de uva tinta sin pepitas, descrito en la introducción.

Para el conjunto de semillas y hollejos de uva blanca *Prensal Blanc*, se definió un valor de compuestos fenólicos 3,49 g eq AG/100g orujos secos (Llobera & Cañellas, 2008). En hollejos de la variedad *Muller Thurgau* y *Morio Muscat*, desde 1,16 a 1,58 mg AG/100 g orujos secos (Deng et al., 2011). En hollejos de la variedad *Roditis*, 0,97 mg AG/100 g orujos secos (Makris, Boskou, & Andrikopoulos, 2007). Para extracto purificado de orujo de uva blanca se ha determinado un contenido total en polifenoles de 36,5 g eq AG/100 g variedad *Zalema* (Jara-Palacios et al., 2015) y para extracto de orujo blanco (semilla, hollejo y raspón) de la variedad de uva turca *Emir*, 4,28 g eq AG/100 g (Sagdic

et al., 2011). El contenido en compuestos fenólicos descrito para raspón de uva tinta (*Cabernet Sauvignon* y *Merlot*), fue de 20,2 mg AG/g orujo seco (Vatai, Škerget, & Kenz, 2009). La diferencia entre los resultados bibliográficos en el contenido total de compuestos fenólicos puede ser atribuída a las diferentes partes del orujo y combinaciones (hollejo-pepitas, pepitas, hollejos) analizadas, las distintas zonas de cultivo, al método de extracción y las diferentes presentaciones (polvo, extractos), así como a las distintas variedades de uva y al método de vinificación. Por otra parte, es esperable que el contenido en compuestos fenólicos del orujo de uva dependa en gran medida de las condiciones del proceso de extracción así como del disolvente utilizado (Ozcan, 2006).

Los datos bibliográficos consultados de compuestos fenólicos para subproductos de vinificación en blanco, no contienen los conjuntos de pepitas, raspón y hollejos (OCP) o raspón y hollejos (OSP) que se han considerado en el presente estudio, por lo que no se ha podido establecer una comparativa.

En cuanto a la *capacidad antioxidante* (CA), se determinó mediante el método del DPPH que se basa en la capacidad donante de átomos de hidrógeno de la sustancia problema en un medio metanólico y cuyo resultado se indicó a través del valor del *índice de oxidación*, EC_{50} .

Ambos orujos, OCP y OSP presentan una capacidad antioxidante elevada. El valor de EC_{50} fue menor para OCP, lo que indica que tiene una mayor actividad antioxidante que el OSP. Este resultado está en consonancia con lo citado por Amerine & Joslyn (1987) que indicaron que el mayor contenido de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante se concentra en las pepitas (entre el 5 y el 8 % de la CA), mientras que al raspón se le puede atribuir 1-4 % y un 1-2 % a los hollejos. Sin embargo, en este estudio, la diferencia en la CA entre OCP y OSP no se correlacionaba con el contenido en compuestos fenólicos de lo que se dedujo, que es posible que el contenido de compuestos fenólicos en OCP fuera elevado, sin embargo no todos tuvieron la misma capacidad antioxidante.

Samotya et al. (2002) y Goupy et al. (1999) determinaron que la actividad antioxidante no depende sólo del contenido total en polifenoles sino de la composición individual de compuestos que pueden mostrar diferente actividad frente al radical cromogénico (DPPH) del método (Karamac, Kosińska, & Pegg, 2005). Es decir, la relación entre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante no es lineal. Este hecho se debe a las diferencias en la estructura química de los polifenoles presentes, lo que permite que puedan actuar como donador o no de electrones. En el presente estudio se estableció una baja correlación entre ambos valores, como también determinaron Di Majo et al. (2008).

3.1.3 Propiedades funcionales del orujo con pepitas y orujo sin pepitas

Las propiedades funcionales ofrecen información sobre cómo se comportaría este subproducto durante la preparación, elaboración y almacenamiento en una matriz determinada, lo que permite determinar posibles usos del orujo como ingrediente en alimentación.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la determinación del índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI) para los dos orujos, con y sin pepitas.

Tabla 4. Índice de absorción de agua (WAI) y de solubilidad en agua (WSI) del orujo con pepitas (OCP) y sin pepitas (OSP).

	WAI (g/g)	WSI (%)
OCP	3,45 ± 0,12 ^a	0,14 ± 0,01 ^a
OSP	3,74 ± 0,03 ^a	0,15 ± 0,00 ^a

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los valores de WAI y WSI del orujo están íntimamente relacionados con la estructura química de las proteínas y polisacáridos (almidón y fibra) y, por tanto, con la capacidad hidrófila y la capacidad para formar geles. El valor de WAI para OSP fue ligeramente superior al de OCP debido a que su contenido en fibra dietética es superior, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre ambos tipos de orujos.

3.2 Efecto de la aplicación de los procesos de extrusión sobre la composición química del orujo de uva blanca

3.2.1 Influencia sobre la composición del orujo de uva con pepitas

En la Tabla 5 se muestran los valores de la caracterización química de los productos obtenidos de la aplicación de la extrusión al OCP con los parámetros de trabajo propuestos.

Tabla 5. Composición química (%) del orujo de uva blanca con pepitas (OCP) extrusionado en diferentes condiciones.

	Humedad	Proteínas	Grasa	FDT	FDI	FDS
OCP	6,74 ± 0,11 ^a	9,03 ± 0,53 ^a	7,74 ± 0,23 ^a	48,47 ± 2,39 ^a	41,35 ± 2,04 ^a	7,12 ± 0,35 ^a
OCP1	6,33 ± 0,02 ^{bz}	11,18 ± 0,17 ^b	8,60 ± 0,60 ^b	72,81 ± 3,37 ^b	56,40 ± 2,61 ^b	16,42 ± 0,76 ^b
OCP2	6,15 ± 0,04 ^{b,x,y}	11,24 ± 0,25 ^b	8,90 ± 0,41 ^b	74,99 ± 3,37 ^b	54,97 ± 2,47 ^b	20,03 ± 0,90 ^b
OCP3	6,26 ± 0,06 ^{b,y,z}	10,93 ± 0,22 ^b	8,40 ± 0,22 ^b	69,54 ± 3,17 ^b	54,40 ± 2,49 ^b	15,14 ± 0,69 ^b
OCP4	5,44 ± 0,03 ^{b,w}	10,87 ± 0,21 ^b	8,20 ± 0,22 ^b	69,62 ± 2,75 ^b	58,95 ± 2,33 ^b	10,67 ± 0,42 ^b
OCP5	6,03 ± 0,08 ^{b,x}	11,05 ± 0,27 ^b	8,60 ± 0,23 ^b	68,06 ± 2,99 ^b	55,86 ± 2,45 ^b	12,20 ± 0,54 ^b

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad husillos (rpm)

OCP: no extrusionado. **OCP1:** 7 / 600. **OCP2:** 11 / 600. **OCP3:** 11 / 1000. **OCP4:** 7 / 1000. **OCP5:** 4,5 / 1000

FDT: fibra dietética total. FDI: fibra dietética insoluble. FDS: fibra dietética soluble

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre OCP y los productos extrusionados OCP1 - OCP5.

^{w-z} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos 1 a 5.

Como consecuencia de la aplicación de la tecnología de extrusión sobre el OCP se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) en el valor de la FDT y un incremento en el contenido de proteínas y lípidos. En el estudio de Del Pino, Rivero-Pérez, González-SanJosé, Croft & Muñiz (2016) para orujo de uva tinta sin semillas tratado térmicamente se obtuvo un contenido de proteínas de 13,4 %, superior al obtenido en este estudio.

El comportamiento de las proteínas en los procesos de extrusión puede ser muy variado y está asociado a su capacidad de formación de enlaces. Durante el proceso, se pueden dar nuevos enlaces peptídicos entre grupos amino y grupos carboxílicos, responsables del entrecruzamiento y también se pueden dar interacciones electrostáticas e hidrofóbicas (Aréas, 1992).

La proteína de las pepitas de uva se considera como no-digerible o como *proteína resistente* (Saura-Calixto et al., 1991) debido a la interacción entre proteínas y taninos, ya que se cree que los taninos son inhibidores de las enzimas digestivas (Alipour & Rouzbehan, 2010; Gonzalves et al., 2007).

Bravo & Saura-Calixto (1998) indicaron que el 81,6 % del contenido proteico para pepitas de uva blanca corresponde a proteína resistente. Las proteínas resistentes están asociadas a la fibra dietética (Llobera & Cañellas, 2007), concretamente a la FDI. La proteína está unida a taninos condensados. La intensidad de estas uniones, o el grado de polimerización, depende de varios factores entre los que están la temperatura, el pH, la presencia de carbohidratos, etc. Por tanto, es posible que parte de esas uniones proteína-tanino se hayan roto como consecuencia de las condiciones de trabajo de los procesos de extrusión y por tanto se hayan podido cuantificar en el valor total de proteínas.

En cuanto al contenido en lípidos, se aprecia un incremento en torno al 10 % después de los procesos de extrusión respecto al orujo original (OCP). Este incremento, puede provenir del efecto de la temperatura, fricción y presión que tiene lugar durante el proceso de extrusión y, que induce la ruptura celular de los componentes del orujo, en especial de las pepitas, favoreciendo una mejora en el proceso de extracción de la grasa, de acuerdo con el método de análisis empleado.

Por otra parte, la aplicación de la extrusión también ha incrementado el contenido en FDT, FDI y FDS del OCP para los procesos realizados. En estudios previos se ha obtenido un incremento significativo del valor de FDT y FDS después de la aplicación de la extrusión sobre materias como el salvado de trigo (Kim et al., 2006), harina de cebada (Vasanthan et al., 2002) o un aumento de la FDS en cascarilla de soja (Jing & Chi, 2013). En este último caso, el aumento de la FDS se produjo a expensas de la solubilización de la FDI y de la formación de FDS a partir de componentes que no son fibra, como el almidón, incrementando por tanto el valor de la FDT.

3.2.2 Influencia sobre la composición del orujo de uva sin pepitas

En la Tabla 6 se muestran los datos correspondientes a la caracterización de OSP y de los productos de OSP después de los procesos de extrusión en las condiciones establecidas.

Tabla 6. Efecto de las condiciones utilizadas en el proceso de extrusión (caudal de agua y velocidad de los husillos) sobre la composición química (%) del orujo de uva blanca sin pepitas.

	Humedad	Proteína	Grasa	FDT	FDI	FDS
OSP	9,56 ± 0,09 ^a	12,20 ± 0,14 ^a	0,52 ± 0,05 ^a	54,59 ± 3,60 ^a	52,05 ± 2,99 ^a	2,54 ± 0,62 ^a
OSP1	5,41 ± 0,11 ^{b,x}	11,44 ± 0,10 ^b	5,07 ± 0,71 ^b	54,55 ± 2,54 ^{a,x}	49,04 ± 3,00 ^a	5,51 ± 1,48 ^{b,x,z}
OSP2	5,70 ± 0,21 ^{b,y,z}	11,58 ± 0,08 ^b	4,43 ± 0,27 ^b	58,48 ± 2,70 ^{a,x,y}	51,29 ± 3,38 ^a	7,19 ± 2,06 ^{b,z}
OSP3	5,92 ± 0,14 ^{b,y}	11,51 ± 0,08 ^b	4,15 ± 0,15 ^b	53,93 ± 3,32 ^{a,x}	48,74 ± 2,84 ^b	5,19 ± 1,49 ^{b,x,z}
OSP4	5,89 ± 0,15 ^{b,z}	11,20 ± 0,67 ^b	4,64 ± 0,50 ^b	62,21 ± 2,78 ^{b,y}	52,62 ± 2,35 ^a	9,59 ± 2,43 ^{b,y}
OSP5	6,97 ± 0,14 ^{b,x}	11,41 ± 0,37 ^b	5,21 ± 0,25 ^b	58,33 ± 2,95 ^{b,x,y}	53,62 ± 2,36 ^a	4,70 ± 0,61 ^{b,x}

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad husillos (rpm)

OSP1: 7 / 600. **OSP2:** 11 / 600. **OSP3:** 11 / 1000. **OSP4:** 7 / 1000. **OSP5:** 4,5 / 1000

FDT: fibra dietética total. FDI: fibra dietética insoluble. FDS: fibra dietética soluble

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre OSP y los productos OSP1-OSP5.

^{x-z} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos 1 a 5.

El efecto de los procesos de extrusión sobre la composición química del OSP se tradujo en un aumento en el contenido de grasa y FDT y en un descenso en las proteínas.

La reducción en el valor de las proteínas para todos los productos de extrusión del OSP, confirma que el incremento de las proteínas para los OCP después de la extrusión proviene de las pepitas.

El contenido en lípidos para todos los orujos extrusionados obtenidos aumentó de manera significativa. De acuerdo con Nelson et al. (1987) la extrusión puede ser utilizada para incrementar la extracción de aceite debido a que la grasa se libera durante el proceso. Es posible cuantificar una cantidad mayor debido a que existe un número mayor de lípidos libres. Los lípidos suelen formar complejos con el almidón y por tanto pueden ser resistentes a los métodos de extracción para la determinación del contenido graso y liberarse durante los procesos de extrusión haciéndolos cuantificables. Cuanto más severas son las condiciones del proceso, menor la cantidad de agua en la alimentación y mayor la velocidad de giro de los husillos, más fácilmente se liberan, como se puede observar en los datos obtenidos.

También se ha producido una redistribución de la FDI a FDS que pudo tener lugar como resultado de la ruptura de enlaces covalentes y formación de uniones no covalentes entre carbohidratos y proteínas asociados con la fibra, dando lugar a pequeñas formaciones moleculares que pueden ser más solubles (Larrea et al., 2005).

La FDT aumentó para todos los productos de extrusión excepto para OSP3 que mostró un ligero descenso. Sin embargo, el valor de la FDI de los orujos después de la extrusión descendió respecto al OSP original para los tres primeros procesos realizados dando paso a un incremento de FDS. Esta observación se puede atribuir a la degradación parcial de la celulosa y la hemicelulosa en carbohidratos simples como consecuencia de las condiciones del proceso (Ziaur-Rehman, Islam, & Shah, 2003).

Zhang et al. (2011) observaron que la cantidad de agua y la temperatura utilizadas en el proceso de extrusión de salvado de avena influían en el contenido final de FDS. Estos autores, determinaron diferentes porcentajes de FDS con diferentes condiciones de proceso y obtuvieron los valores más altos a 140 °C y 10 % de humedad.

Dada la importancia en las modificaciones que se han obtenido en los valores de FDT, FDI y FDS respecto a los valores del orujo de uva antes de la aplicación de la extrusión, se discute en los siguientes apartados la relación entre los resultados y los parámetros de proceso.

3.2.3 Cambios en la fibra dietética total en el orujo de uva blanca y relación con las variables de los procesos de extrusión

En el presente estudio se observó que la extrusión tiene una especial incidencia sobre el valor final de la FDT y sobre la solubilización de la fibra o el valor final de la FDS del orujo de uva con pepitas y sin pepitas.

OCP y OSP destacan por su contenido en FDT y, en especial, por su elevado contenido en FDI. La cantidad de FDT que se ha cuantificado después de los procesos de extrusión es, en general, mayor que la de los orujos originales y las proporciones entre FDS y FDI se han modificado en función de las condiciones utilizadas en los procesos. El incremento en el contenido de FDT es más pronunciado en OCP probablemente porque la extrusión no afecta tanto a los componentes del hollejo y raspón (celulosa y hemicelulosa) como a los de las pepitas (pectinas).

Se ha cuantificado un contenido de FDT mayor después de procesos térmicos como cocido o tostado en salvado de trigo que no corresponden con una nueva síntesis de fibra, sino a la formación de complejos fibra-proteína que son resistentes al calentamiento y son cuantificados como fibra dietética (Caprez et al., 1986). Stojceska et al. (2010) incorporaron subproductos de frutas para elaborar un snack para celíacos utilizando diferentes condiciones de proceso. Observaron que después de la extrusión, todos los subproductos mostraban un incremento de FDT en cualquiera de las condiciones utilizadas.

Durante el procesado de vegetales, los enlaces glucosídicos de los polisacáridos de la fibra dietética pueden romperse, con el resultado de una reducción significativa de peso molecular y un incremento de la solubilización de la fibra insoluble, así como la formación de pequeñas moléculas a partir de fragmentos que pueden ser consideradas erróneamente como un valor de la FDT más bajo del real (Nyman, 1995).

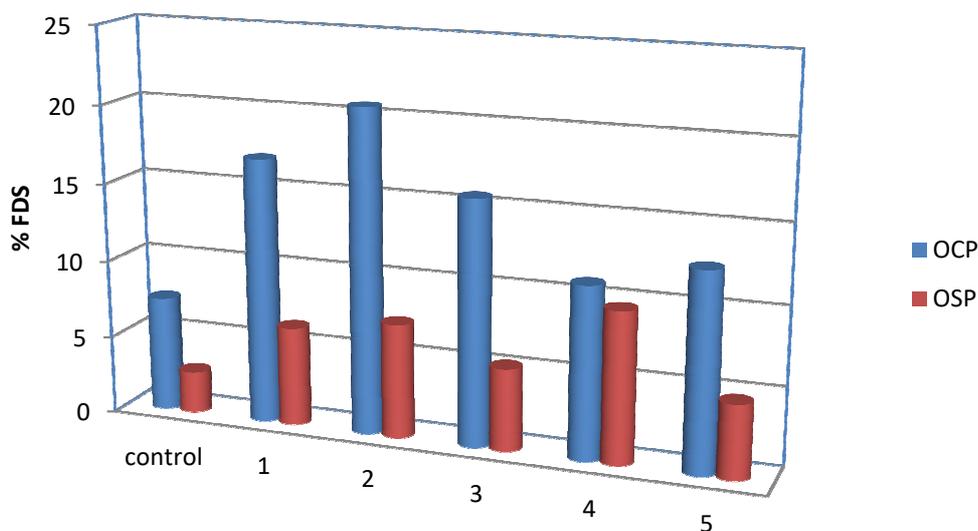
En nuestro estudio, debido a la presencia de proteínas y azúcares residuales, el incremento en la FDT sugiere la formación de FDS adicional a partir de compuestos que no pertenecen a la fibra propiamente dicha pero que están presentes en el orujo blanco. Este incremento también puede ser una consecuencia de la formación de complejos entre los polisacáridos y otros componentes como proteínas y compuestos fenólicos, los cuales son cuantificados como fibra dietética por el método enzimático utilizado, como también concluyeron Takeyama, Yokokawa & Tanimura (1996).

También, durante los procesos de extrusión se generan compuestos altamente reactivos de tipo anhidro. Estos compuestos podrían reaccionar con restos de almidón a través de reacciones de transglucosidación para formar nuevos

glucanos ramificados los cuales son resistentes a la hidrólisis de las amilasas y pueden ser cuantificados como fibra (Theander & Westerlund, 1987).

3.2.4 Cambios en la solubilización de la fibra en el orujo de uva blanca y relación con las variables de los procesos de extrusión

Además del incremento en el contenido de FDT, se observó un aumento del valor de la FDS para OCP y para OSP representado en la Figura 4. Este incremento también se ha observado anteriormente en otros productos tratados mediante extrusión como en salvado de trigo (Theander & Westerlund, 1987; Wang & Klopfenstein, 1993) y en cebada (Jing & Chi, 2013). En este último estudio, se concluyó que los cambios en el perfil de la fibra dietética de la cebada durante la extrusión podían ser atribuidos, fundamentalmente, al paso de la FDI a FDS, a la formación de almidón resistente y a la presencia de glucanos no digeribles enzima-resistentes (Jing & Chi, 2013).



Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad husillos (rpm)

Control: no extrusionado. **1:** 7 / 600. **2:** 11 / 600. **3:** 11 / 1000. **4:** 7 / 1000. **5:** 4,5 / 1000

Figura 4. Efecto de la extrusión sobre los porcentajes (%) de fibra dietética soluble (FDS) antes y después de la extrusión para orujo con pepitas (OCP) y para orujo sin pepitas (OSP).

Nyman & Nilsson (1994) observaron que mediante la aplicación de tratamientos microondas se produce una ruptura de los enlaces débiles que existen entre las cadenas de polisacáridos y la consiguiente degradación de los enlaces glucosídicos. Es lógico pensar que durante un tratamiento hidrotérmico se produce una modificación en la estructura de la matriz de fibras lo que causa una solubilización de la fibra insoluble (Björck, Nyman, & Asp, 1984). Estos cambios en la solubilidad pueden ser debidos a la ruptura de asociaciones de polisacáridos y los componentes de la pared celular o al descenso en el peso molecular de los polisacáridos mismos (Robin, Schuchmann, & Palzer, 2012). También se ha identificado en salvado de trigo extrusionado un incremento en el contenido de polisacáridos no almidonosos extraíbles (Arcila et al., 2015).

Para el OCP la aplicación de la extrusión aumenta el contenido en FDS en todos los procesos estudiados. Además, se observó una influencia de los parámetros de trabajo utilizados en los procesos de extrusión. El proceso en el que se observa un mayor incremento en FDS para OCP es en el 2 mientras que para OSP es el 4, por lo que las condiciones de proceso afectan a cada material de una manera distinta.

Björck (1984) obtuvo un aumento en la FDT con un paso importante de FDI a FDS después de la extrusión de harina de trigo refinada y determinó una dependencia de las condiciones de proceso. Dichas condiciones (configuración del extrusor, estrés mecánico...) pueden provocar la ruptura de los enlaces glucosídicos dando lugar a compuestos de bajo peso molecular incrementando así la solubilización de la FDI (Ralet, Thibault, & Della Valle, 1990).

La temperatura utilizada en los procesos tiene influencia en el incremento de la solubilidad ya que participa en la degradación de polisacáridos insolubles debido a que se produce la ruptura de enlaces glucosídicos en las cadenas moleculares de la FDI o la despolimerización de las macromoléculas de la FDI de acuerdo con Jing & Chi (2013). En el presente estudio, la temperatura no se ha modificado en los distintos procesos, pero la temperatura junto con la proporción de agua y la velocidad de los tornillos durante el proceso tienen relación con el incremento de la fracción soluble. La relación entre las variables de proceso y el aumento de la FDS ha sido observada también para salvado de trigo (Long, Ye, & Zhao, 2014).

Efecto de la velocidad de los husillos sobre las modificaciones en la fibra

Ralet et al. (1993) observaron que la solubilidad en agua de la fibra dietética de algunos cereales aumentaba significativamente cuando se aumentaba la energía mecánica específica aplicada (SME) durante la extrusión. Redgwell et al. (2011) observaron el mismo efecto para fibra extrusionada de cítricos. La SME se

aplica a través de la fricción y está relacionada, entre otras variables, con la velocidad de giro de los tornillos.

Las velocidades utilizadas durante los procesos del presente estudio son relativamente elevadas. Sin embargo, el mayor grado de solubilización de la FDI a FDS se obtiene con la velocidad más pequeña. Así, para la velocidad de 600 rpm, el incremento en FDS para ambos tipos de orujo tiene lugar cuando se combina con el flujo de agua más elevado.

Sin embargo, cuando se aplicó la velocidad de tornillos más elevada (1000 rpm), OCP y OSP no muestran el mismo comportamiento, pues se obtiene un valor más alto de FDS para OCP con el caudal de agua más alto (11 l/h) mientras que para OSP ocurre con el intermedio (7 l/h).

Cuanto mayor es la velocidad de los husillos, se produce mayor fricción entre las partículas de orujo debido al aumento de la presión en el material entre los tornillos y la carcasa del equipo, favoreciendo que la ruptura de determinados enlaces moleculares pero también reduce el tiempo de permanencia del material dentro del barril (Larrea, Chang, & Martínez-Bustos, 2005). Long et al. (2013) también observaron un aumento de la FDS después de la extrusión en función de la velocidad de los husillos hasta un punto en el que produce una reducción de la viscosidad, y por tanto disminuye el tiempo de residencia del material.

Efecto del agua sobre los cambios en la fibra

El contenido de agua también es una variable que afecta positivamente a la obtención de niveles más altos de fibra soluble pues está relacionado con la presión y las fuerzas de cizalla que se generan en el sistema.

Para el mismo caudal de agua, el valor de la FDS de OCP es mayor para la velocidad de giro más baja (600 rpm). Para OSP ocurre lo mismo con el caudal de 11 l/h pero no para el de 7 l/h, donde el mayor incremento en FDS se produce con la velocidad de giro de 1000 rpm.

El agua ejerce un efecto plastificante sobre la materia prima, de manera que cuando el flujo de agua es elevado, la materia se encuentra más protegida del efecto de la temperatura, las fuerzas de cizalla y la presión. Los resultados del presente estudio indican que los procesos con la dosificación más elevada de agua, dan lugar a los valores más altos de FDS. Cuando se utiliza más agua en la alimentación, la mezcla es más fluida y se mueve mejor dentro del barril, por lo que disminuye la fricción y por tanto, el tiempo de permanencia (Meng, Threinen, Hansen, & Diedger, 2010). Es por esto que, para la misma velocidad

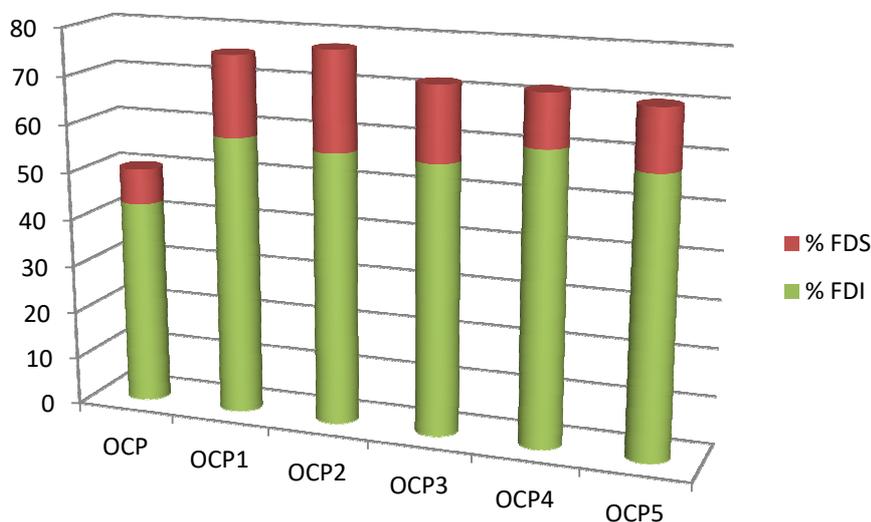
de los husillos, cuanto menor es el contenido de agua en la alimentación, mayor es la presión interna que se genera en el sistema.

Con un caudal de agua pequeño se puede conseguir aumentar la presión dentro del barril y las fuerzas de cizalla entre el material, el producto sufre mayor abrasión y ruptura molecular debida al estrés mecánico (Akdogan, 1999) incidiendo positivamente en el aumento de la FDS. Sin embargo, bajo estas condiciones resulta muy complicado trabajar en la práctica puesto que los materiales no fluyen bien pudiendo producirse atascos en el extrusor.

Por otra parte y para la temperatura utilizada en los procesos del presente estudio, en las condiciones de caudal de agua más bajo, probablemente se promovió más la reacción de Maillard y los productos resultantes de esta reacción fueron cuantificados, al igual que la formación de almidón resistente, como parte de la FDI.

3.2.5 Modificación inducida por la extrusión en la relación FDI y FDS

La FDS, es el componente de mayor interés nutricional y en ella predominan las pectinas (Bravo & Saura-Calixto, 1998).



Condiciones de extrusión. Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

OCP1: 7 / 600. **OCP2:** 11 / 600. **OCP3:** 11 / 1000. **OCP4:** 7 / 1000. **OCP5:** 4,5 / 1000

Figura 5. Efecto de los procesos de extrusión sobre la relación entre la fibra dietética soluble (FDS) y la fibra dietética insoluble (FDI) (%) para orujo con pepitas (OCP).

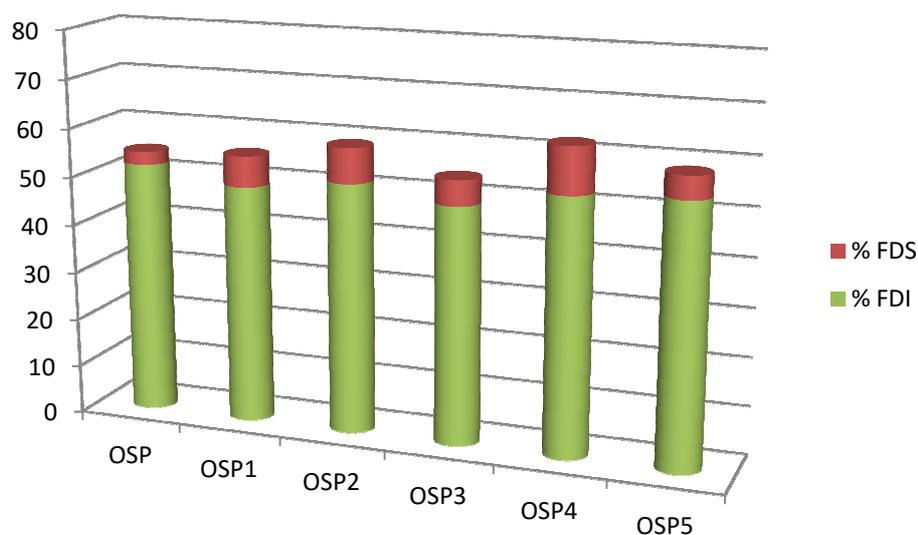
En la Figura 5 se observa una mejora en la relación FDS:FDI de los orujos con pepitas extrusionados (1:3 a 1:5) frente a la del OCP (1:6). Concretamente, OCP1 y OCP2 muestran una relación FDS:FDI 1:3 y OCP3 1:4 por lo que se pueden considerar ingredientes con un perfil adecuado desde el punto de vista de los posibles efectos sobre la salud.

Por otro lado, la FDI aumentó significativamente ($p < 0,05$) en todos los orujos con pepitas respecto al OCP. Algunos autores como Esposito et al. (2005) utilizaron la extrusión para aumentar el nivel de FDI en subproductos como la cascarilla de trigo.

Las modificaciones obtenidas sobre la fibra fueron el resultado de la combinación de las condiciones de calor, presión y humedad utilizadas durante los tratamientos. Del mismo modo, Benítez et al. (2011) observaron que durante el proceso de esterilización de subproductos de cebolla, el calor utilizado inducía modificaciones fisicoquímicas que se traducían en un descenso de la FDI y un incremento de FDS de manera que la relación FDS:FDI mejoraba.

Llobera & Cañellas (2007) determinaron que el raspón de uva tinta (variedad *Manto Negro*) contenía una pequeña cantidad de taninos condensados y una cantidad importante de proteínas que determinan la habilidad para la formación de complejos tanino-proteína. La interacción entre proteína resistente y tanino es muy fuerte y se cree que los taninos inhiben a las enzimas digestivas durante los métodos analíticos (Alipour & Rouzbehan, 2010; Gonçalves, Soares, Mateus, & De Freitas, 2007). Durante la extrusión, pueden liberarse estos taninos, ricos en polifenoles insolubles, y pueden ser cuantificados en las diferentes fracciones analizadas.

La relación FDS:FDI para los OSP extrusionados frente al no extrusionado está representada gráficamente en la Figura 6.



Condiciones de extrusión. Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

OSP1: 7 / 600. **OSP2:** 11 / 600. **OSP3:** 11 / 1000. **OSP4:** 7 / 1000. **OSP5:** 4,5 / 1000

Figura 6. Efecto de los procesos de extrusión sobre la fibra dietética soluble (FDS) y sobre la fibra dietética insoluble (FDI) (%) para orujo sin pepitas (OSP).

La relación FDS:FDI de los orujos sin pepitas extrusionados es mejor desde el punto de vista nutricional respecto al OSP sin extrusionar, pero no cumple con el perfil ideal de distribución de los componentes de fibra para obtener los máximos efectos sobre la salud.

El valor de FDI disminuyó significativamente respecto al valor original de OCP para el proceso 3 mientras que la FDS se incrementó para todos los procesos. Sin embargo, el incremento en FDI fue significativo en los procesos 4 y 5, lo que indicó que bajo las condiciones de mayor velocidad de los husillos y menor caudal de agua se produjo un incremento real de FDS mientras que en el resto de los procesos el incremento en FDS puede provenir de la solubilización de la FDI.

3.3 Influencia de la aplicación de la extrusión sobre las propiedades antioxidantes del orujo con pepitas y sin pepitas

3.3.1 Efecto de aplicación de la extrusión sobre las propiedades antioxidantes del orujo con pepitas

En la Tabla 7 se recoge el contenido en compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, expresada como índice de oxidación, del OCP y de los orujos con pepitas después de los procesos de extrusión (OCP1-OCP5).

Tabla 7. Compuestos fenólicos e índice de oxidación (EC_{50}) del orujo con pepitas (OCP) y orujos con pepitas después de los procesos de extrusión.

	Compuestos fenólicos (g eq. GA/100 g muestra)	EC_{50} (g muestra seca/g DPPH)
OCP	9,16 ± 0,05 ^a	4,70 ± 0,10 ^a
OCP1	9,85 ± 0,09 ^{b,x}	2,10 ± 0,10 ^{b,z}
OCP2	10,20 ± 0,02 ^{b,y}	1,51 ± 0,08 ^{b,x}
OCP3	10,22 ± 0,04 ^{b,y}	1,80 ± 0,04 ^{b,y}
OCP4	10,40 ± 0,03 ^{b,z}	1,91 ± 0,06 ^{b,y,z}
OCP5	10,40 ± 0,03 ^{b,z}	2,02 ± 0,10 ^{b,y,z}

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión. Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

OCP1: 7 / 600. **OCP2:** 11 / 600. **OCP3:** 11 / 1000. **OCP4:** 7 / 1000. **OCP5:** 4,5 / 1000

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre OCP y los productos OCP1 – OCP5.

^{x-z} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos 1 a 5.

El contenido en polifenoles de los orujos con pepitas extrusionados es mayor que el de OCP para todas las condiciones de extrusión utilizadas en este estudio ($p < 0,05$). El valor más alto se obtiene cuando se aplican procesos más severos, es decir, en OCP4 y OCP5, donde la concentración de agua es menor y

velocidad de giro más elevada. Este incremento en el contenido de compuestos fenólicos, respecto al orujo sin tratar, se puede atribuir a las condiciones utilizadas en los procesos que favorecen que los compuestos fitoquímicos ligados se liberen. Por tanto, de acuerdo con nuestros resultados, la aplicación de la extrusión produce un aumento en la efectividad de la extracción de polifenoles.

Son varios los investigadores que han observado un aumento del contenido de compuestos fenólicos después de procesos similares en productos como en snacks elaborados con harina de trigo, harina desgrasada de avellana y una mezcla de subproductos de frutas utilizando una temperatura de proceso similar a la utilizada en nuestro estudio (150-170 °C) (Yağci & Göğüş, 2009), en trigo sarraceno extrusionado (Zieliński, Michalska, Piskula, & Kozłowska, 2006), en garbanzos, guisante amarillo, guisante verde y soja sometidos a procesos de calentamiento en los que se atribuye el aumento en el contenido en compuestos fenólicos a la liberación de estas fracciones de los fitoquímicos (Han & Baik, 2008).

De acuerdo con Makris, Boskou, & Andrikopoulos (2007), el orujo de uva contiene cantidades relativamente altas de polifenoles no extraíbles. Aunque el contenido medio total de polifenoles se sitúa en torno a 4,8-5,4 % del peso del orujo de uva, sólo el 2 % de los polifenoles del orujo son extraíbles bajo las condiciones suaves utilizadas durante el proceso de determinación analítica (Bravo & Saura-Calixto, 1998).

Algunos métodos de procesado tales como la extrusión, incrementan la extractabilidad y biodisponibilidad de polifenoles y reducen los polifenoles no extraíbles al producir un descenso en el grado de polimerización (Khanal et al., 2009). De acuerdo con Brennan et al. (2011), el incremento de los niveles de determinados compuestos fenólicos en productos extrusionados generalmente se debe a la liberación de estos de la matriz de la pared celular. Los antocianos y flavonoides se localizan en las vacuolas de las células de los hollejos, de manera que pueden ser liberados durante los procesos de extrusión.

Esto puede ser debido a un incremento en la liberación de polifenoles a través del daño mecánico producido sobre el material vegetal bajo las condiciones severas de proceso como la elevada velocidad de giro de los tornillos o bien, por la polimerización de compuestos, denominados melanoidinas, tales como el hidroximetil furfural, que exhibe capacidad antioxidante (Brennan, Brennan, Derbyshire, & Tiwari, 2011)

Khanal, Howard, Brownmiller & Prior (2009) observaron un incremento considerable en la cantidad de catequinas o epicatequinas en forma de monómeros y dímeros probablemente debido a la conversión de oligómeros de alto nivel y de polímeros (procianidinas) en oligómeros. Los mismos investigadores observaron un incremento del 120 % en el contenido de monómeros en orujo de uva con temperaturas de 170 °C y velocidad de husillos de 200 rpm.

Villavicencio, Mancini-Filho, Delincée & Greiner (2000) encontraron que en alubias escaldadas y cocidas había un mayor contenido de compuestos fenólicos que en las alubias sin procesar. Gawlik-Dziki (2008) determinó un incremento en el contenido en polifenoles en brócoli congelado después de cocido de 0.964 a 2.497 mg compuestos fenólicos/ g producto fresco. De acuerdo con esta autora, este hecho puede ser explicado por la mejora en la eficiencia de extracción de los compuestos. Las temperaturas elevadas podrían modificar la estructura de los componentes de la pared celular y liberar compuestos fenólicos a partir de complejos insolubles, haciéndolos por tanto más accesibles para la extracción en el método analítico.

El método en el que se utiliza el reactivo de *Folin Ciocalteau* es ampliamente utilizado para la determinación del contenido de compuestos fenólicos en muestras de origen botánico. Sin embargo, el método tiene ciertas limitaciones (Swain & Hills, 1959) tales como la debida a la utilización de solventes orgánicos, que conlleva que solamente se cuantifican las formas de fenoles libres y no las ligadas por lo que el valor que se obtiene es inferior al real. Por ejemplo, las proantocianidinas monoméricas y oligoméricas son solubles en los disolventes orgánicos habitualmente utilizados para la extracción de polifenoles, pero la mayor parte de las proantocianidinas de alto peso molecular y los polifenoles complejados con las proteínas y/o con polisacáridos de la pared celular permanecen insolubles (Huemmer & Schreier, 2008).

Los compuestos fenólicos complejos están continuamente liberándose de la pared celular del hollejo y puede transformarse en fenoles libres durante el proceso de extrusión. Los cambios en la estructura organizativa de materiales extrusionados van acompañados de un incremento en la extractabilidad de polifenoles (Ti et al., 2015).

La disgregación de compuestos fenólicos conjugados en compuestos libres va acompañada de la liberación de proteínas, fibras y polisacáridos (Ti et al., 2015), como ocurrió en los productos extrusionados derivados de OCP.

Por otra parte, las pepitas de uva son fuente de polifenoles, especialmente de procianidinas, las cuales han mostrado tener una fuerte actividad antioxidante y ejercen efectos beneficiosos en el organismo (Fuleki & Ricardo da Silva, 1997).

Las pepitas contienen un alto nivel de compuestos tánicos, que por sí solos representan el 30 % del total de compuestos fenólicos del orujo de uva (Fuhrman et al., 2001). La concentración de polifenoles es mayor en las pepitas que en la piel y que en el raspón. Sineiro et al. (1995) señalaron que las pepitas de uva contienen varios antioxidantes aparte de los polifenoles, como los esteroides o tocoferoles, los cuales pueden influir también en la actividad antioxidante.

En relación a la capacidad antioxidante, se incrementó significativamente ($p < 0,05$) después de someter el OCP a los distintos procesos de extrusión y resultó el proceso de OCP2 el más significativo. En este proceso, el caudal de agua y la velocidad de giro de los husillos utilizadas, procuraron las condiciones menos agresivas de los cinco procesos en las que el efecto de la extrusión favoreció la extracción de compuestos antioxidantes.

Diversos autores confirman que el contenido total en compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante de productos extrusionados se modifica en diferente grado en función de la humedad del material de partida, de las condiciones del proceso de extrusión, particularmente de la temperatura y la velocidad de giro de los husillos (Anton et al., 2009; Dini, Tenore & Dini, 2013; Sharma et al., 2012).

3.3.2 Efecto de aplicación de la extrusión sobre las propiedades antioxidantes del orujo sin pepitas

Los valores de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante medida como índice de oxidación (EC_{50}) del OSP y los productos obtenidos después de la extrusión (OSP1-OSP5) se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Compuestos fenólicos e índice de oxidación (EC₅₀) del orujo con pepitas (OCP) y orujos con pepitas después de los procesos de extrusión.

	Compuestos fenólicos (g eq. GA/100 g muestra)	EC₅₀ (g muestra seca/g DPPH)
OSP	1,80 ± 0,03 ^a	5,50 ± 0,30 ^a
OSP1	2,10 ± 0,8 ^{b,x}	6,30 ± 0,08 ^{a,y}
OSP2	2,00 ± 0,05 ^{b,x}	6,02 ± 0,13 ^{a,y}
OSP3	2,00 ± 0,05 ^{b,x}	6,01 ± 0,13 ^{a,y}
OSP4	2,10 ± 0,04 ^{b,x}	5,80 ± 0,09 ^{a,y}
OSP5	2,30 ± 0,03 ^{b,y}	5,40 ± 0,18 ^{a,x}

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión. Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

OSP1: 7 / 600. **OSP2:** 11 / 600. **OSP3:** 11 / 1000. **OSP4:** 7 / 1000. **OSP5:** 4,5 / 1000

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el OSP y los productos OSP1 – OSP5.

^{x-y} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos (1-5).

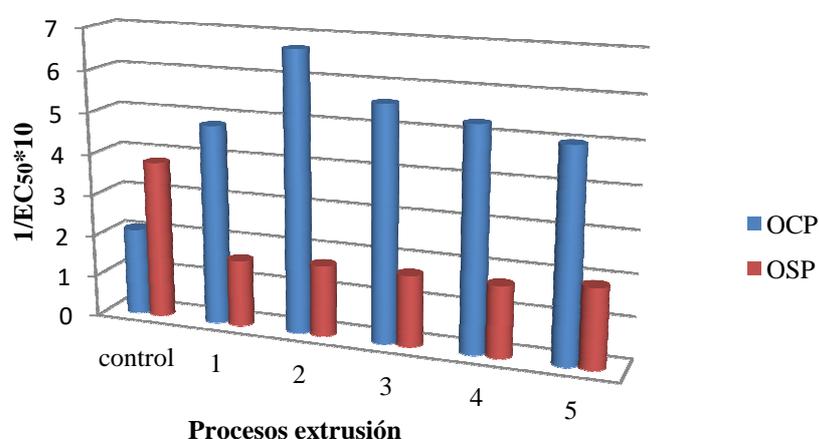
Se produjo un ligero aumento en el contenido de compuestos fenólicos respecto al orujo original después de los procesos de extrusión en todas las condiciones planteadas obteniéndose el mayor incremento para OSP5 ($p < 0,05$).

No se observaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante para los orujos sin pepitas después de los procesos de extrusión, salvo para el OSP5 que resultó significativamente ($p < 0,05$) mayor a los otros, debido a las condiciones de menor caudal y mayor velocidad de proceso que imprimen unas condiciones más drásticas.

Este orujo no contiene pepitas, donde se reúne la mayor cantidad de las uniones proteína-tanino cuya ruptura puede estar relacionada con el incremento en la CA del OCP. Así se reflejó también en el descenso en el valor de las proteínas para los orujos sin pepitas extrusionados y el incremento para todos los orujos extrusionados con pepitas (Tabla 5).

En el estudio realizado por Del Pino, González-SanJosé, Rivero-Pérez, García Lomillo & Muñiz (2014) sobre el efecto de sazónadores preparados a partir de orujo de uva tinta completo, sin semillas y sólo con hollejos, se pudo comprobar que el sazónador que contenía raspón y hollejos presentaba las mejores propiedades antioxidantes después del proceso de digestión en el organismo.

En la Figura 7 se ha representado la inversa del valor de índice de oxidación ($1/EC_{50}$) con el fin de facilitar la interpretación de la evolución de la CA en las muestras de producto de OCP y del OSP obtenidas (Figura 7).



Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

1: 7 / 600. 2: 11 / 600. 3: 11 / 1000. 4: 7 / 1000. 5: 4,5 / 1000

Figura 7. Evolución de la capacidad antioxidante del orujo con pepitas (OCP) y sin pepitas (OSP) y los orujos obtenidos en los procesos de extrusión (OCP1-OCP5 y OSP1-OSP5).

Se obtuvo un aumento de la CA para todos los orujos con pepitas después de la extrusión. Shih, Kuo, & Chiang (2009) investigaron los efectos del secado y extrusión en la capacidad antioxidante de la batata y comprobaron que la capacidad antioxidante medida como DPPH y la cantidad total de compuestos fenólicos aumentaban después de estos procesos.

El proceso de extrusión 2 es la combinación de las condiciones de trabajo aplicadas en la que se obtuvo mayor CA y compuestos fenólicos para OCP. Las

condiciones de este proceso fueron las de mayor caudal de agua en la alimentación y la velocidad de los husillos más baja.

Sin embargo, en el caso del OSP, el proceso en el que se obtiene un incremento las propiedades antioxidantes es el 5, en el que la velocidad de los husillos es la más alta y el caudal de agua es el más pequeño de los utilizados.

Este orujo sin pepitas está compuesto principalmente por raspón y hollejo, por lo que los polifenoles pueden estar unidos a la fibra y proteínas y es necesaria la aplicación de condiciones más agresivas para extraerlos.

A la vista de los resultados, resulta lógico pensar que los compuestos fenólicos se encuentran principalmente en las pepitas de uva. Por tanto, el OCP extrusionado puede considerarse como un ingrediente de alto valor añadido y que la aplicación de la tecnología de extrusión favorece el incremento de sus propiedades antioxidantes.

Existen datos confusos sobre la correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido fenólico (Yi, et al., 2009). Son varios los autores que han descrito que un alto contenido en compuestos fenólicos incrementa la actividad antioxidante (Kumaran & Kurunakaran, 2007; Nowak & Gawlik-Dziki, 2007; Velioglu et al. 1998; Vinson et al., 1998), mientras que otros han descrito lo contrario o no han encontrado una relación entre ambos parámetros (Gazzani, Papetti, Massolini & Daglia, 1998; Gawlik-Dziki, 2008). Kähkönen et al. 1999 establecieron que los compuestos fenólicos reaccionan de manera diferente con el reactivo Folin-Ciocalteu por lo que la actividad antioxidante no debería determinarse en base al contenido total de compuestos fenólicos.

En algunos casos, se ha observado que la actividad antioxidante aumenta en productos extrusionados y que este hecho está relacionado con las temperaturas utilizadas en el proceso. Por ejemplo, White et al. (2010) observaron un aumento en el valor de la capacidad antioxidante, medida mediante método ORAC (capacidad de absorción de radicales peroxilo), del 16 al 30 % cuando se aumentaba la temperatura del proceso. Este aumento en el valor de la CA puede ser debido a los productos formados en la reacción de Maillard.

Tanto los productos de la reacción de Maillard como la liberación de compuestos fitoquímicos a formas libres con propiedades antioxidantes pueden llevar a un incremento en la actividad antioxidante. El aumento de la CA en OCP después de la extrusión, puede deberse a la formación de compuestos con actividad antioxidante fruto de la formación de pigmentos de la reacción de Maillard (melanoidinas principalmente). También puede haber tenido lugar la liberación de compuestos con actividad antioxidante atrapados en el entramado celular de los orujos y pepitas.

Kim et al. (2006) determinaron que después de distintos tratamientos térmicos sobre pepitas de uva enteras y molidas, el contenido en polifenoles totales y la capacidad antioxidante era mayor. Este efecto se consiguió mediante la aplicación de distintos tratamientos térmicos y se observó un máximo para el incremento en el contenido de compuestos fenólicos y DPPH a 150 °C durante 40 min para pepitas enteras y a 100 °C durante 10 min con pepitas molidas.

Las condiciones del proceso contribuyen a los cambios que se han obtenido en la CA. La velocidad de giro de los husillos determina la manera en que la mezcla de orujo y agua se mueve en el interior, en la presión que puede sufrir contra las paredes de la carcasa y el tiempo que permanece la materia dentro del barril.

Para la misma velocidad de los husillos, la cantidad de agua más alta en la alimentación dio lugar a un valor de compuestos fenólicos en los orujos con pepitas extrusionados mayor que en el OCP. La cantidad de agua influye también en la presión que se genera en el interior del barril. Si esta presión es excesivamente alta, los compuestos bioactivos se pueden ver degradados.

Por otra parte, Larrauri et al. (1998) analizaron un extracto de hollejos procedentes de orujo de uva blanca comparado con el mismo extracto de uva tinta cuando ambos se someten a las mismas condiciones de calentamiento y determinaron una menor reducción de la capacidad antioxidante. Este hecho puede estar relacionado con la pérdida de color que sufren estos extractos en los procesos de calentamiento, lo que sugiere que los compuestos bioactivos del extracto de orujo blanco son más resistentes al calentamiento que los de orujo de uva tinta.

El mismo efecto ha sido descrito en otras matrices después de la extrusión como en el caso de harina de alubias mezclada con almidón de trigo, en la que se determinó un incremento en el contenido total de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante después del proceso (Anton, Fulcher, & Arntfield, 2009). Lo mismo se observó para centeno y se determinó que el incremento estaba relacionado con las condiciones del proceso de extrusión (Gumul, Korus, Czechowska, Bartoń, & Fołta, 2010).

Los orujos extrusionados, con y sin pepitas, muestran una relación positiva entre la FDT y la actividad antioxidante de manera que cuanto mayor es el valor de la FDT, mayor es el de la CA, es decir, mayor es la inversa de EC₅₀. La misma relación positiva entre estos parámetros fue encontrada por Llobera & Cañellas (2008) para orujos de uva blanca de la variedad de uva *Prensal Blanc*. Este hecho está en consonancia con la hipótesis de que la FDT y la CA tienen relación con la reacción de Maillard y sus productos. Así mismo, se considera que la mayor proporción de polifenoles del orujo de uva se encuentra en forma de taninos condensados altamente polimerizados y algunos polifenoles forman

compuestos con la fibra que no son extraíbles a menos que se les aplique tratamientos fuertemente ácidos (Arranz & Calixto, 2010) o tratamientos térmicos como en el presente estudio.

Los valores obtenidos para OCP y OSP están dentro de los descritos para *fibra dietética antioxidante* obtenida a partir de orujos de uva. Es decir, el contenido de fibra dietética mayor a 50 %, una capacidad secuestradora de radicales libres equivalente de, al menos, 50 mg de vitamina E medida por el método DPPH y que la capacidad antioxidante sea una propiedad intrínseca, derivada de los constituyentes naturales de la materia y no haya sido añadida u obtenida mediante tratamientos previos químicos o enzimáticos de acuerdo con lo descrito por Saura-Calixto (1998).

3.4 Influencia de los procesos de extrusión sobre las propiedades funcionales del orujo con pepitas y sin pepitas

3.4.1 Efecto de la extrusión sobre las propiedades funcionales del orujo con pepitas

Las diferencias en los parámetros de procesado aplicados afectan a las complejas interacciones de los constituyentes y alteran la estructura interna (Stojceska et al., 2010). Las propiedades funcionales son el resultado de la interacción entre los distintos componentes del producto después de estos procesos. Con el fin de evaluar las posibles modificaciones que han tenido lugar en la estructura interna del OCP, se analizaron las propiedades relacionadas con la capacidad de hidratación y la solubilidad. Los resultados se muestran en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Efecto de los parámetros de trabajo utilizados en los procesos de extrusión (caudal de agua y velocidad de los husillos) sobre el índice de absorción de agua (WAI) y de solubilidad en agua (WSI) del orujo con pepitas (OCP).

	WAI (g/g)	WSI (%)
OCP	3,45 ± 0,12 ^a	0,14 ± 0,01 ^a
OCP1	3,38 ± 0,08 ^{a,x,y}	0,12 ± 0,00 ^a
OCP2	3,54 ± 0,06 ^{a,y}	0,11 ± 0,00 ^a
OCP3	3,54 ± 0,04 ^{a,y}	0,11 ± 0,00 ^a
OCP4	3,27 ± 0,09 ^{a,x}	0,12 ± 0,01 ^a
OCP5	3,21 ± 0,01 ^{a,x}	0,12 ± 0,00 ^a

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

OCP1: 7 / 600. **OCP2:** 11 / 600. **OCP3:** 11 / 1000. **OCP4:** 7 / 1000. **OCP5:** 4,5 / 1000

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre OCP y los productos OCP1 – OCP5.

^{x-y} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos 1 a 5.

No se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de WAI y WSI de los orujos con pepitas después de la extrusión. Esto es atribuible a que se haya producido un equilibrio entre las modificaciones que tuvieron lugar en los componentes del material por lo que la variación en los valores de WAI y WSI fue mínima.

El valor de WSI ofrece una medida del grado de conversión y/o degradación de los componentes del orujo durante el proceso de extrusión. Los valores de WSI que se obtuvieron para los diferentes productos de extrusión no difieren significativamente con respecto del producto original. Este comportamiento puede tener relación con la formación de complejos entre proteínas, fibra, almidón y lípidos que resultan en compuestos de alto peso molecular y, por tanto, de baja solubilidad.

Estos resultados están en contradicción con lo encontrado en la bibliografía, donde mezclas de cebada y orujo (90:10), mostraron un aumento de WSI

después de los procesos de extrusión (Altan et al, 2009). Este aumento se asocia a una posible modificación de la fibra, que conlleva un aumento de WSI (Hashimoto & Grossmann, 2003).

3.4.2 Efecto de las condiciones de extrusión sobre las propiedades funcionales del orujo sin pepitas

Los valores de WAI y WSI para OSP se recogieron en la Tabla 10.

En el OSP se obtuvo un descenso en el valor de WAI asociado a las condiciones de proceso. Velocidades altas de proceso y contenido de agua bajo en la alimentación se traducen en un descenso en el valor de WAI.

Para el valor de WSI, No hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre OSP y los orujos sin pepitas extrusionados salvo en el proceso 2.

Tabla 10. Efecto de las condiciones utilizadas en el proceso de extrusión (caudal de agua y velocidad de los husillos) sobre el índice de absorción de agua (WAI) y de solubilidad en agua (WSI) del orujo sin pepitas (OSP).

	WAI (g/g)	WSI (%)
OSP	3,74 ± 0,03 ^a	0,15 ± 0,00 ^a
OSP1	3,28 ± 0,08 ^{b,x,y}	0,13 ± 0,00 ^{a,x}
OSP2	3,63 ± 0,23 ^{a,y}	0,16 ± 0,00 ^{b,y}
OSP3	3,52 ± 0,16 ^{a,y}	0,15 ± 0,01 ^{a,y}
OSP4	3,01 ± 0,04 ^{b,x}	0,13 ± 0,01 ^{a,x}
OSP5	2,89 ± 0,04 ^{b,x}	0,13 ± 0,00 ^{a,x}

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

OSP1: 7 / 600. **OSP2:** 11 / 600. **OSP3:** 11 / 1000. **OSP4:** 7 / 1000. **OSP5:** 4,5 / 1000

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre OSP y los productos OSP1 – OSP5.

^{x-z} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos 1 a 5.

Comparando los resultados para los orujos extrusionados, con y sin pepitas, en las diferentes condiciones se observó que, en general, la extrusión provocó un descenso en los valores de WAI y en el WSI respecto al valor original, probablemente relacionado con la modificación de la fibra asociada a las condiciones del proceso, aunque este descenso no es significativo.

Jing & Chi (2013) concluyeron que el proceso de extrusión mejoró las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética de subproductos de soja y sus características funcionales. Para avena molida se encontró un aumento del valor de WAI después de la extrusión (Gutkoski & El-Dash, 1999). Lo mismo se observó para almidón de trigo, maíz y arroz (Mercier & Feillet, 1975). El aumento en WAI fue descrito también en sémola de guisante (Gjuska & Khan, 1991) probablemente como consecuencia de la desnaturalización de proteínas, gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra cruda (Stojceska et al, 2010).

3.5 Efecto de la aplicación de la extrusión sobre el color del orujo con pepitas y sin pepitas

El color es una medida de calidad en ingredientes para su incorporación posterior en alimentos. Sin duda, cambios en la coloración pueden influenciar las propiedades organolépticas del producto en el que se añade y, por tanto, limitar su uso y cantidad.

Los parámetros obtenidos en la medida del color para el OCP y OSP y los productos de extrusión OCP1-OCP5 y OSP1-OSP5, se recogen en la Tabla 11.

El proceso de extrusión sobre el OCP, afectó de manera significativa, a la luminosidad (L^*) de OCP4 y OCP5, mientras que para OSP lo hizo en todas las condiciones propuestas para los procesos.

El OCP a diferencia de OSP, tiene una cantidad de lípidos que permiten que la fricción sea menor en el interior del barril y lo protege frente a los cambios de coloración. Los procesos 4 y 5 tuvieron las condiciones de proceso más agresivas (menor cantidad de agua en la alimentación y mayor velocidad de giro), por lo que era esperable que el orujo sufriera el cambio observado en la luminosidad.

El valor a^* se modificó para todos los procesos de extrusión en el caso de OCP, reduciendo ligeramente la tonalidad rojiza típica mientras que, para OSP, sólo se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el valor de OSP5. El valor de b^* resultó significativamente diferente ($p < 0,05$) para el proceso OCP5 y para OSP1.

Las modificaciones del color son atribuibles a la reacción de Maillard y al pardeamiento enzimático.

Tabla 11. Parámetros de color L*, a* y b* del orujo con pepitas (OCP), orujo sin pepitas (OSP) y los productos después de la extrusión OCP1-OCP5 y OSP1-OSP5.

	L*	a*	b*
OCP	39,90 ± 0,71 ^a	10,20 ± 0,27 ^a	20,40 ± 0,55 ^a
OCP1	39,48 ± 0,31 ^a	8,90 ± 0,05 ^{b,y,z}	19,72 ± 0,13 ^{a,y}
OCP2	39,75 ± 0,42 ^a	8,43 ± 0,04 ^{b,x}	19,41 ± 0,11 ^{a,x}
OCP3	40,99 ± 0,27 ^a	8,35 ± 0,15 ^{b,w}	19,93 ± 0,30 ^{a,y}
OCP4	36,97 ± 0,49 ^b	9,08 ± 0,07 ^{b,y}	19,39 ± 0,17 ^{a,x}
OCP5	35,52 ± 0,36 ^b	9,41 ± 0,07 ^{b,z}	19,21 ± 0,21 ^{b,x}
OSP	50,09 ± 0,60 ^a	7,99 ± 0,14 ^a	20,36 ± 0,15 ^a
OSP1	44,69 ± 0,35 ^{b,x}	8,46 ± 0,09 ^{a,y,z}	19,56 ± 0,13 ^b
OSP2	47,12 ± 0,41 ^{b,y}	8,20 ± 0,12 ^{a,x,y}	18,80 ± 1,64 ^a
OSP3	49,45 ± 0,17 ^{b,z}	7,75 ± 0,13 ^{a,x}	19,92 ± 0,34 ^a
OSP4	46,29 ± 0,77 ^{b,y}	8,37 ± 0,04 ^{a,z}	20,54 ± 0,20 ^a
OSP5	45,82 ± 0,64 ^{b,x,y}	8,76 ± 0,22 ^{b,z}	20,32 ± 0,24 ^a

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

Condiciones de extrusión: Caudal de agua (l/h) / velocidad (rpm)

1: 7 / 600. 2: 11 / 600. 3: 11 / 1000. 4: 7 / 1000. 5: 4,5 / 1000

^{a-b/c-d} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre entre OCP y los productos OCP1 y OCP5 y entre OSP y los productos OSP1 – OSP5.

^{wx-z} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los procesos 1 a 5 para OCP y OSP.

3.6 Influencia de la incorporación de orujo con y sin pepitas en las características físicas de snacks expandidos

Los cereales seleccionados como base para la elaboración de los snacks, maíz (formulaciones R1) y arroz (formulaciones R2) son conocidos por sus propiedades de expansión en este tipo de productos. Se mezclaron los cereales de acuerdo con las proporciones indicadas para cada formulación (apartado 2.3). Por otra parte, la harina de trigo aporta las proteínas que van a favorecer la expansión del snack, mientras que la harina de avena se añadió por sus propiedades nutricionales.

Se utilizó harina de lenteja que es rica en aminoácidos esenciales como la lisina, pero deficitaria en otros como cisteína, metionina o triptófano (Duranti, 2006), por lo que se complementó con la harina de arroz, rica en estos compuestos.

En la Tabla 12 se muestra el diámetro medio y el valor del índice de expansión de los snacks obtenidos para cada receta. Se realizó la comparación entre formulaciones R1 (R1 control, R1 OCP y R1 OSP) y por otro lado, entre formulaciones R2 (R2 control, R2 OCP y R2 OSP).

Tabla 12. Diámetro medio (De) e índice de expansión (IE) para los snacks expandidos.

	De (mm)	IE
R1 control	8,29 ± 1,28 ^b	2,07 ± 0,32 ^b
R1 OCP	5,23 ± 0,26 ^a	1,31 ± 0,07 ^a
R1 OSP	5,35 ± 0,41 ^a	1,34 ± 0,10 ^a
R2 control	6,46 ± 0,29 ^d	1,61 ± 0,07 ^d
R2 OCP	5,05 ± 0,27 ^c	1,26 ± 0,07 ^c
R2 OSP	6,11 ± 0,25 ^d	1,53 ± 0,06 ^d

Valor medio ± desviación estándar (n=10)

R1: snacks elaborados con harina de maíz como base, **R2:** base de harina de arroz
OCP: orujo con pepitas, **OSP:** orujo sin pepitas

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones de R1 (p<0,05)

^{c-d} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones de R2 (p<0,05)

La incorporación de orujo de uva en los snacks redujo la expansión y modificó la forma esférica respecto a la fórmula control R1 y R2. Este efecto está relacionado con la reducción de la cantidad relativa de componentes en la mezcla que aportan la capacidad de expansión, como el almidón (Bullerman et al., 2008), debido a la sustitución de parte de la harina de maíz y de arroz por orujo, lo que se tradujo en un impacto directo en el índice de expansión. Robin, Schumann, & Palzer (2012) observaron que la incorporación de fibra dietética a los cereales de desayuno y a otros productos extrusionados, empeoró las características de expansión y textura.

De acuerdo con lo postulado por Harman & Harper (1973), la expansión en productos extrusionados está gobernada por dos factores: la viscosidad de la masa en el interior del extrusor y la fuerza elástica que soporta la masa con la diferencia de presión en la salida. La viscosidad de la masa está relacionada con los ingredientes y cantidad de agua, entre otros parámetros. En el presente estudio, la masa formada por las formulaciones en las que se incorporó orujo se vio modificada por la presencia de una elevada cantidad de fibra que compite por el agua y redujo la expansión. La reducción de la expansión también pudo deberse a que la fibra provoque la ruptura de las celdas que se forman, antes de que las burbujas puedan expandirse hasta su potencial máximo (Lue et al., 1991) y, por tanto el valor del IE disminuye respecto al control.

Este mismo efecto ha sido observado por otros investigadores en estudios en los que se han incorporado distintos tipos de ingredientes fibrosos y/o subproductos ricos en fibra en snacks expandidos, como bagazo de cerveza (Stojceska, Ainsworth, Plunkett, & İbanoğlu, 2009), salvado de trigo (Brennan, Monro, & Brennan, 2008; Hernández-Díaz et al., 2007), salvado de arroz (Sekhon et al., 1997) y subproductos de coliflor (Stojceska et al., 2008).

Las diferencias en el diámetro de expansión entre los snacks R1 y R2 son debidas a las diferentes harinas utilizadas en cada fórmula y a la composición de estas mezclas en relación al contenido en almidón, proteína y fibra.

Por otra parte, se determinó el color de los snacks. En la Tabla 13 se recogen los valores L^* , a^* y b^* obtenidos para todos los snacks realizados en el presente estudio.

Tabla 13. Valores de los parámetros de color L*, a* y b* para los snacks expandidos.

	L*	a*	b*
R1 Control	83,76 ± 0,12 ^b	1,58 ± 0,06 ^b	25,02 ± 0,42 ^b
R1 OCP	65,23 ± 0,68 ^a	4,92 ± 0,09 ^c	17,91 ± 0,17 ^a
R1 OSP	64,73 ± 0,47 ^a	6,26 ± 0,09 ^c	19,07 ± 0,06 ^a
R2 Control	81,22 ± 0,33 ^d	1,07 ± 0,03 ^a	18,99 ± 0,70 ^b
R2 OCP	65,68 ± 0,29 ^c	5,34 ± 0,06 ^c	18,32 ± 0,05 ^b
R2 OSP	65,82 ± 0,75 ^c	6,27 ± 0,22 ^d	19,62 ± 0,60 ^d

Valor medio ± desviación estándar (n=3)

R1: snacks elaborados con harina de maíz como base, **R2:** base de harina de arroz **OCP:** orujo con pepitas, **OSP:** orujo sin pepitas

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones R1, p<0,05.

^{c-d} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones R2, p<0,05.

El color de los snacks está determinado por el color de cada uno de los componentes de la fórmula. La presencia de orujo de uva oscureció el producto final y durante el proceso de extrusión se produjo un cambio en la coloración de los componentes que puede afectar a la percepción sensorial.

Se pudo observar que la incorporación de orujo de uva afectó a la luminosidad de las dos formulaciones propuestas en relación al producto control (R1 y R2), independientemente de si el orujo es con o sin pepitas. Este efecto se puede relacionar con la tonalidad oscura del orujo respecto a las harinas base de cada receta, así como a las posibles reacciones de pardeamiento que pueden haber tenido lugar, como las reacciones de Maillard y la caramelización, favorecidas por la presencia de azúcares en los orujos (Maga & Kim, 1990). A este efecto, también contribuye que OCP y OSP aportan una importante cantidad de fibra que compite por el agua en el proceso de extrusión y por tanto, favorece que estas reacciones tengan lugar. Este fenómeno se ha observado previamente en otros estudios en los que se han incorporado subproductos como pulpa piña

(Selani et al., 2014) o pieles de tomate (Dehgahn-Shoar et al., 2010) en snacks expandidos.

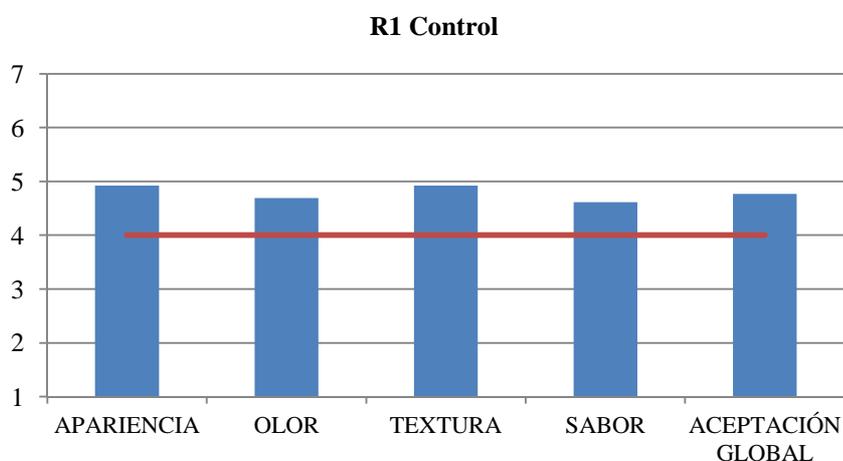
El color es una característica importante en los productos extrusionados. Los cambios en la coloración nos dan información sobre la magnitud de la reacciones de oscurecimiento como la caramelización, la reacción de Maillard, o el grado en el que la degradación de los pigmentos tiene lugar durante el proceso (Altan, et al., 2008).

Para ambas formulaciones, la tonalidad rojiza del producto extrusionado se hizo más intensa, especialmente con la incorporación de OSP. El incremento en el valor de a^* se relacionó con la reacción de Maillard. Altan et al. (2008) en su estudio de incorporación de orujo de uva tinta en cereales expansionados con cebada también observaron este cambio de tonalidad rojiza después del proceso de extrusión.

El valor de b^* se redujo en los snacks que contienen orujo, con y sin pepitas, para la formulación tipo R1, en especial con el OCP ya que se reduce la tonalidad amarilla de la harina de maíz. Pero no ocurrió lo mismo en la R2 debido al color propio de la harina de lenteja.

3.7 Evaluación de la calidad sensorial de los snacks

Los valores medios resultantes de la valoración de calidad sensorial de los distintos snacks elaborados con las formulaciones R1 y R2 se muestran en las Figuras 8.1, 8.2 y 9, respectivamente.



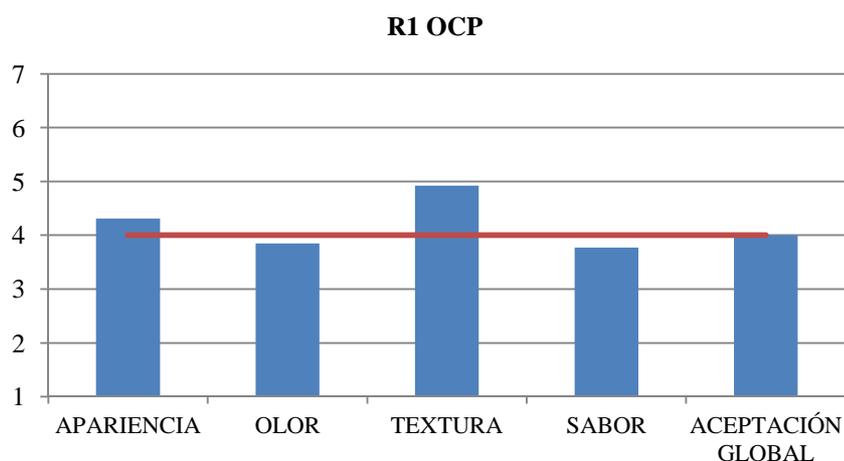


Figura 8.1. Resultados de la evaluación de la calidad sensorial de snacks expansionados elaborados con harina de maíz (R1) y con sustitución de 15 % de la harina con orujo con pepitas (R1 OCP), con escala de 7 puntos donde 1 era muy inadecuado y 7 muy adecuado. El producto se considera aceptable con valores por encima de 4.

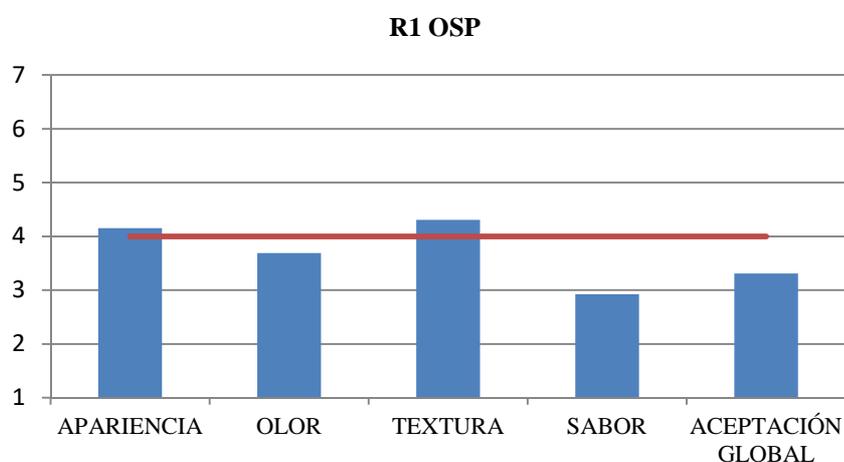


Figura 8.2. Resultados de la evaluación de la calidad sensorial de snacks expansionados elaborados con harina de maíz y sustitución de 15 % de la harina de orujo sin pepitas (R1 OSP), con escala de 7 puntos donde 1 era muy inadecuado y 7 muy adecuado. El producto se considera aceptable con valores por encima de 4.

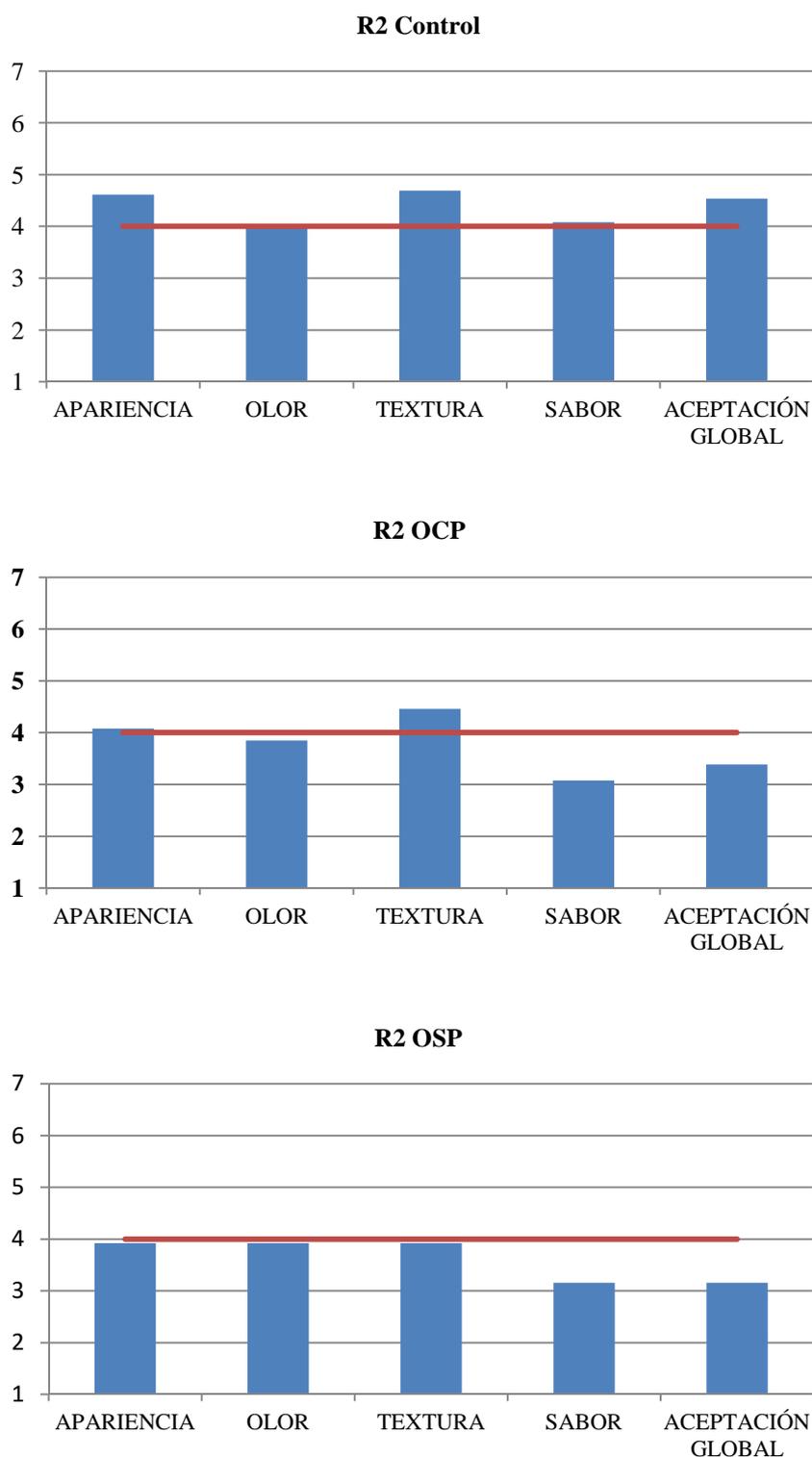


Figura 9. Resultados de la evaluación de la calidad sensorial de snacks expansionados elaborados con harina de arroz y lenteja (R2) y con sustitución de 15 % de la harina con orujo con pepitas (R2 OCP) o sin pepitas (R2 OSP), con escala de 7 puntos donde 1 era muy inadecuado y 7 muy adecuado. El producto se considera aceptable con valores por encima de 4.

La fórmula control a base de harina de maíz (R1) resultó mejor valorada que la fórmula a base de harina de arroz y lenteja (R2). Los catadores no realizaron comentarios de estos dos snacks salvo que el olor de la mezcla de harinas R2 es “fuerte”. El aroma de la harina de lenteja resulta atípico para los catadores en este tipo de productos y así se reflejó en la valoración más baja de los snacks con harina de arroz y lenteja (R2), sobre todo en lo que respecta al sabor.

Jiang & Peterson (2010) establecieron la hipótesis de que los productos de la reacción de Maillard tienen un efecto sobre el desarrollo de nuevos aromas vegetales lo que puede colaborar a una mejor aceptación del sabor del orujo de uva incorporado, especialmente en los snacks con OCP. Así, Mildner-Szkudlarz et al. (2013) definieron aromas malteados y de frutas ácidas en galletas fortificadas con harina de orujo de uva blanco.

La incorporación del orujo en la granulometría que se ha utilizado en este estudio (0,5 mm), incrementó significativamente la percepción de las sensaciones aromáticas relacionadas con la presencia de la fracción vegetal (olor a especias y a heno) (Davidov-Pardo et al., 2012; Torri et al., 2015).

El valor del parámetro *apariencia* para las muestras control de la formulación R2 es ligeramente inferior que el de R1. Este hecho puede ser debido a que la incorporación de harina de lenteja afecta negativamente a la percepción visual del color y a la porosidad de los snacks. La harina de lenteja contiene menos almidón y más fibra que la harina de arroz y de maíz, afectando a la expansión como se comentó en el apartado anterior. Sin embargo, R1 tiene un color amarillo típico de estos productos debido a la sémola de maíz.

Altan et al. (2008) obtuvieron resultados similares sustituyendo 12,73 % de harina de cebada por orujo de uva, y atribuyeron el descenso en la aceptación sensorial al incremento en el contenido de fibra que incide negativamente en la expansión, dando lugar a un snack con una apariencia más compacta.

En las formulaciones en las que se incorporó OSP no existe diferencia entre las dos harinas base (R1 OSP y R2 OSP). Sin embargo, para la incorporación de OCP la formulación R1 fue mejor valorada que la R2.

En la evaluación de la *textura*, la puntuación de los snacks con OCP fue mayor que la de los snacks con OSP, R1 fue la mejor valorada por los catadores tanto para las muestras control como para las que llevan OCP. Este efecto positivo en los snacks con OCP se atribuyó a una sensación más crujiente gracias a los trozos de pepitas que resultan tostados durante el proceso. Por otra parte, la utilización de harina de maíz produjo una sensación más crujiente en la textura. Esta apreciación está de acuerdo con lo descrito por Robin et al. (2012) quienes observaron que la incorporación de fuentes de FDI tiende a reducir la capacidad

de expansión y también a compactar la estructura, lo que se traduce en snacks más duros y resistentes a la rotura.

Además de los comentarios referentes a la textura como “*se pega al paladar*” “*textura inadecuada*”, en cuanto al sabor destacan entre los comentarios de los catadores para la R1 OSP “*sabor agrio-amargo*”. En el caso de R2 OSP, se apreciaron en los snacks aspectos inadecuados como “*sabor extraño*”, “*presencia de partículas groseras*” o “*sabor inadecuado*”. Esta formulación obtuvo la puntuación mínima para todos los parámetros excepto sabor y valoración global. Los catadores añaden los siguientes comentarios para R2 OCP: “*retrogusto amargo*” y “*olor fuerte*”.

Las partículas de orujo resultaron groseras para los catadores e influenciaron la percepción del *aroma*.

En la Figura 10 se observa la valoración global para cada una de las muestras evaluadas.

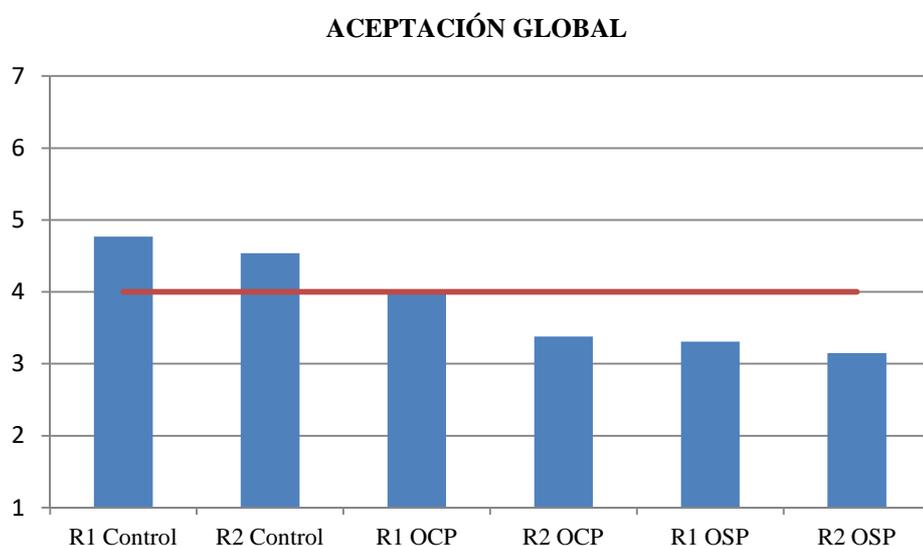


Figura 10. Resultados de la valoración global de la calidad sensorial de snacks expansionados elaborados con harina de maíz (R1) y con sustitución de 15 % de la harina con orujo con pepitas (R1 OCP) o sin pepitas (R1 OSP), y con harina de arroz y lenteja (R2) y con sustitución de 15 % de la harina con orujo con pepitas (R2 OCP) o sin pepitas (R2 OSP) con escala de 7 puntos donde 1 era muy inadecuado y 7 muy adecuado. El producto se considera aceptable con valores por encima de 4.

La receta R1 fue mejor valorada que la R2 para todos los parámetros propuestos y que la inclusión de OCP es mejor evaluada que la de OSP.

Los snacks elaborados no llevan ningún tipo de recubrimiento en el acabado para poder hacer una evaluación más realista del producto, por lo que la valoración máxima que se obtuvo en la valoración global de la receta control R1 es de 4,77 y de 4,54 en R2. Con estos valores, se valoró la necesidad de incorporar algún tipo de recubrimiento o saborizante.

Por otra parte, la valoración global fue más alta para la formulación control R1, que es la que tiene como ingrediente mayoritario harina de maíz. Esta es la harina que se utiliza habitualmente en la elaboración de snacks y más concretamente la semolina de maíz por la capacidad su expansión, desarrollo del producto y el crujiente que ofrece al producto final y por eso fue seleccionada para una de las formulaciones del estudio.

4. CONCLUSIONES

El orujo de uva blanca, con o sin pepitas, analizado en este estudio resultó ser una buena fuente de fibra dietética puesto que contiene un porcentaje superior al 50 % de fibra dietética total en base seca. El porcentaje de fibra dietética insoluble fue mayor en el orujo sin pepitas que en el orujo con pepitas. Sin embargo, el orujo con pepitas destacó por su contenido en lípidos y compuestos fenólicos frente al que no tiene pepitas.

El ensayo DPPH mostró que el orujo con pepitas y sin pepitas son fuentes de compuestos activos y su incorporación en productos de alimentación puede mejorar las propiedades antioxidantes, pudiendo ser considerado una fuente de fibra dietética antioxidante.

Se comprobó que la aplicación de la extrusión sobre el orujo de uva blanca con pepitas y sin pepitas da lugar a cambios nutricionales, fisicoquímicos y funcionales diferentes para cada materia y variables de proceso utilizadas. Con los procesos de extrusión se produjo la redistribución molecular así como la creación de moléculas reactivas que pueden formar nuevos enlaces modificando la composición final de la materia, incrementando el contenido y distribución de la fibra y las propiedades antioxidantes que permiten obtener un ingrediente potencialmente más saludable que puede ser interesante para la aplicación en productos finales de la industria agroalimentaria.

También se pudo observar, que el grado en el que este proceso puede inducir cambios en el contenido de fibra dietética insoluble y soluble, depende de la matriz y de las condiciones utilizadas en el proceso. La relación entre FDS:FDI que se obtuvo en los orujos extrusionados en las condiciones aplicadas, mejoró con respecto al producto original en todos los casos. En el caso del orujo con pepitas, en los procesos con mayor caudal de agua (11 l/h) con las dos velocidades estudiadas (600 rpm y 1000 rpm de giro) se obtuvieron, además, perfiles ideales de esta relación.

Esta mejoría en el perfil de fibra en el orujo con y sin pepitas extrusionado conlleva la mejora de las propiedades funcionales pudiendo aplicarse en la formulación de productos de alimentación.

Por otra parte, se obtuvo una mejora en la efectividad de la extracción de polifenoles después de la extrusión y se observó, que existe una relación de las condiciones utilizadas en el proceso con la cuantificación en polifenoles totales y el incremento en la actividad antioxidante.

Por todo esto, se puede concluir que la extrusión de orujo de uva puede ser un buen método para obtener una fuente de fibra valorizada con propiedades tecnológicas mejoradas e incrementar el valor nutricional de este subproducto

respecto a su utilización directa desde el punto de vista nutricional y de aplicación.

Entre las aplicaciones que se pueden considerar para el orujo de uva extrusionado están la incorporación en formulaciones como ingrediente funcional, debido al efecto sinérgico entre fibra dietética y compuestos antioxidantes del orujo extrusionado y como ingrediente de relleno de bajo aporte calórico.

En cuanto a la inclusión de orujo de uva blanco en snacks expandidos, los resultados obtenidos mostraron que es viable la sustitución de harinas por un 15 % de orujo con y sin pepitas. Sin embargo, la evaluación sensorial de los productos desarrollados, puso de manifiesto la necesidad de realizar estudios posteriores variando la formulación de ingredientes, los porcentajes de orujo y su granulometría.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC International (2012). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 11th edition. Methods 44-15.02 (Moisture-Air-Oven Method), 30-10.01 (crude fat), 46-11.02 (crude protein). The Association: St. Paul, MN, USA.

Aghamirzaei, M., Peighambardoust, S. H., Azadmard-Damirchi, S., & Majzoubi, M. (2015). Effects of grape seed powder as a functional ingredient on flour physicochemical characteristics and dough rheological properties. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(2), 365-373.

Akdogan, H. (1999). High moisture food extrusion. *International Journal of Food Science & Technology*, 34(3), 195-207.

Alipour, D., & Rouzbehan, Y. (2010). Effects of several levels of extracted tannin from grape pomace on intestinal digestibility of soybean meal. *Livestock Science*, 128(1), 87-91.

Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley–grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89(1), 24-32.

Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2009). Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and β -glucan content of extrudates developed from barley fruit and vegetable byproducts. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(6), 1263-1271.

Amerine, A., & Joslyn, M. A. (1987). Composition of grapes and distribution of phenolics from table wines, the technology of their production. University of California Press, Berkeley, 234-238.

Anderson, R., Conway, H., Pfeifer, V., & Griffin, E. L. (1969). Roll and extrusion cooking of Grain Sorghum grits. *Cereal Science Today*, 14(11), 372-376.

Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989-996.

Anzaldúa-Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Ed Acribia, Zaragoza, España.

AOAC (1995). Methods 923.03, 985.29, 993.19, 991.42 & 923.03 *Official Methods of Analysis*, 16th Edition. Washington, DC. *Association of official Analytical Chemist*.

Arcila, D., Pyron, R. A., Tyler, J. C., Ortí, G., & Betancur-R, R. (2015). An evaluation of fossil tip-dating versus node-age calibrations in tetraodontiform fishes (*Teleostei: Percomorphaceae*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 82, 131-145.

Arêas, J. A. (1992). Extrusion of food proteins. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 32(4), 365-392.

Arranz, S., & Calixto, F. S. (2010). Analysis of polyphenols in cereals may be improved performing acidic hydrolysis: A study in wheat flour and wheat bran and cereals of the diet. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 313-318.

Arvanitoyannis, I., Ladas, D., & Mavromatis, A. (2006). Potential uses and applications of treated wine waste: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(5), 475-487.

Aslanian, A., Dizaji, A., Fahoomand, P., Shahrari, H., Maheri, N., & Rouhnavaz, S. (2011). Characterization of the nutritive value and protein fractions the Cornell net carbohydrate system in white and red grape (*Vitis vinifera* sp.) pomace. *Research Journal of Biological Sciences*, 6(7), 298-303.

Aviram, M., & Fuhrman, B. (2002). Wine flavonoids protect against LDL oxidation and atherosclerosis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 957(1), 146-161.

Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203.

Baydar, N., & Akkurt, M. (2001). Oil content and oil quality properties of some grape seeds. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25(3), 163-168.

Benítez, V., Mollá, E., Martín-Cabrejas, M., Aguilera, Y., López-Andréu, F., & Esteban, R. (2011). Effect of sterilisation on dietary fibre and physicochemical properties of onion by-products. *Food Chemistry*, 127(2), 501-507.

Biesalski, H., Dragsted, L., Elmadfa, I., Grossklaus, R., Müller, M., Schrenk, D., et al. (2009). Bioactive compounds: definition and assessment of activity. *Nutrition*, 25(11), 1202-1205.

Björck, I. N. (1984). Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chemistry*, 61(2), 174-179.

- Bonilla, F., Mayen, M., Merida, J., & Medina, M. (1999). Extraction of phenolic compounds from red grape marc for use as food lipid antioxidants. *Food Chemistry*, 66(2), 209-215.
- Botella, C., De Ory, I., Webb, C., Cantero, D., & Blandino, A. (2005). Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamori* on grape pomace. *Biochemical Engineering Journal*, 26(2), 100-106.
- Brand-Williams W, Cuvelier M.E. and Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (1998). Characterization of dietary fiber and the in vitro indigestible fraction of grape pomace. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(2), 135-141.
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., & Tiwari, B. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 570-575.
- Brennan, M. A., Monro, J. A., & Brennan, C. S. (2008). Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(12), 2278-2288.
- Bullerman, L. B., Bianchini, A., Hanna, M. A., Jackson, L. S., Jablonski, J., & Ryu, D. (2008). Reduction of fumonisin B1 in corn grits by single-screw extrusion. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(7), 2400-2405.
- Caprez, A., Arrigoni, E., Amadò, R., & Neukom, H. (1986). Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 4(3), 233-239.
- CCE (2006). Comisión de las Comunidades Europeas. Hacia un sector vitivinícola europeo sostenible. Comunicación del Consejo y del Parlamento Europeo (PT) 319. Bruselas.
- CE (2006). Sector vitivinícola. Recuperado de: http://ec.europa.eu/spain/pdf/sectorvitivinicola_es.pdf
- Chand, R., Narimura, K., Kawakita, H., Ohto, K., Watari, T., & Inoue, K. (2009). Grape waste as a biosorbent for removing Cr (VI) from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 245-250.
- Chang, S. C., Lee, M. S., Lin, C. J., & Chen, M. L. (1998). Dietary fiber content and composition of fruits in Taiwan. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 7, 206-210.

- Cravero, M. C., & Di Stefano, R. (1990). I composti fenolici e l'origine varietale delle uve. *Rivista di Viticoltura e di Enologia* 1, 33-44.
- Davidov-Pardo, G., Moreno, M., Arozarena, I., Marín-Arroyo, M. R., Bleibaum, R. N., & Bruhn, C. M. (2012). Sensory and consumer perception of the addition of grape seed extracts in cookies. *Journal of Food Science*, 77(12), 430-438.
- Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A. K., & Brennan, C. S. (2010). The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry*, 123(4), 1117-1122.
- Del Pino-García, R., Rivero-Pérez, M. D., González-SanJosé, M. L., Croft, K. D., & Muñiz, P. (2016). Bioavailability of phenolic compounds and antioxidant effects of wine pomace seasoning after oral administration in rats. *Journal of Functional Foods*, 25, 486-496.
- Deng, Q., Penner, M. H., & Zhao, Y. (2011). Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. *Food Research International*, 44(9), 2712-2720.
- Denny, C., Lazarini, J., Franchin, M., Melo, P., Pereira, G., Massarioli, A., et al. (2014). Bioprospection of Petit Verdot grape pomace as a source of anti-inflammatory compounds. *Journal of Functional Foods*, 8, 292-300.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010-3014.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255-266.
- Di Majo, D., La Guardia, M., Giammanco, S., La Neve, L., & Giammanco, M. (2008). The antioxidant capacity of red wine in relationship with its polyphenolic constituents. *Food Chemistry*, 111(1), 45-49.
- Dini, I., Tenore, G. C., & Dini, A. (2013). Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 382-385.
- Du, M., & Ahn, D. (2002). Effect of antioxidants on the quality of irradiated sausages prepared with turkey thigh meat. *Poultry Science*, 81(8), 1251-1256.
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67-82.
- Dwyer, K., Hosseinia, F., & Rod, M. (2014). The market potential of grape waste alternatives. *Journal of Food Research*, 3(2), 91.

- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421.
- Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A., Napolitano, A., Vitale, D., & Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, 38(10), 1167-1173.
- FAOSTAT (2014). Food and Agriculture data. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
- Fellers, D. A., & Bean, M. M. (1977). Storage stability of wheat based foods: A review. *Journal of Food Science*, 42(5), 1143-1147.
- Fontana, A., Antonioli, A., & Bottini, R. (2013). Grape pomace as a sustainable source of bioactive compounds: extraction, characterization, and biotechnological applications of phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(38), 8987-9003.
- Fuhrman, B., Volkova, N., Suraski, A., & Aviram, M. (2001). White wine with red wine-like properties: increased extraction of grape skin polyphenols improves the antioxidant capacity of the derived white wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3164–3168
- Fuleki, T., & Ricardo da Silva, J. M. (1997). Catechin and procyanidin composition of seeds from grape cultivars grown in Ontario. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1156-1160.
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., & Herald, T. (2008). Precooked Bran-Enriched Wheat Flour Using Extrusion: Dietary Fiber Profile and Sensory Characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4), 173-179.
- García-Lomillo, J., Del Pino-García, R., & Muñoz-Rodríguez, P. (2017). Alternative natural seasoning to improve the microbial stability of low-salt beef patties. *Food Chemistry*, 227, 122-128.
- García-Lomillo, J., González-SanJosé, M. L., Del Pino-García, R., Rivero-Pérez, M. D., & Muñoz, P. (2014). Antioxidant and antimicrobial properties of wine by-products and their potential uses in the food industry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(52), 12595–12602.
- García-Lomillo, J., Gonzalez-SanJosé, M. L., Del Pino-García, R., Ortega-Heras, M., & Muñoz-Rodríguez, P. (2017). Antioxidant effect of seasonings derived from wine pomace on lipid oxidation in refrigerated and frozen beef patties. *LWT-Food Science and Technology*, 77, 85-91.

Garewall, A. (1997). *Antioxidants and disease prevention*. (Vol. 14). CRC Press. Boca Raton FL.

Gawlik-Dziki, U. (2008). Effect of hydrothermal treatment on the antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* var. botrytis italica) florets. *Food Chemistry*, 109(2), 393-401.

Gazzani, G., Papetti, A., Massolini, G., & Daglia, M. (1998). Anti-and prooxidant activity of water soluble components of some common diet vegetables and the effect of thermal treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4118-4122.

González-Centeno, M. R., Jourdes, M., Femenia, A., Simal, S., Rosselló, C., & Teissedre, P. L. (2012). Proanthocyanidin composition and antioxidant potential of the stem winemaking byproducts from 10 different grape varieties (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(48), 11850-11858.

González-Centeno, M. R., Rosselló, C., Simal, S., Garau, M. C., López, F., & Femenia, A. (2010). Physico-chemical properties of cell wall materials obtained from ten grape varieties and their byproducts: grape pomaces and stems. *LWT-Food Science and Technology*, 43(10), 1580-1586.

González-SanJosé, M., & Díez, C. (1992). Relationship between anthocyanins and sugars during the ripening of grape berries. *Food Chemistry*, 43(3), 193-197.

González-SanJosé, M., & Díez, C. (1993). Caracterización varietal en función de la composición antocianica de la uva: análisis discriminante. *Agrochimica-PISA*, 37, 86-86.

González-SanJosé, M. L., García-Lomillo, J., Del Pino-García, R., Dolores-Rivero, M., & Muñoz-Rodríguez, P. (2015). Sazonador de origen vegetal con propiedades conservantes, sustitutivo de la sal, y procedimiento de obtención del mismo. Spain Patent ES2524870 B, 2.

González-SanJosé, M., Santa-María, G., & Díez, C. (1990). Anthocyanins as parameters for differentiating wines by grape variety, wine-growing region, and wine-making methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 3, 54-66.

Gonçalves, R., Soares, S., Mateus, N., & De Freitas, V. (2007). Inhibition of trypsin by condensed tannins and wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(18), 7596-7601.

Goñi, I., Martín, N., & Saura-Calixto, F. (2005). In vitro digestibility and intestinal fermentation of grape seed and peel. *Food Chemistry*, 90(1), 281-286.

Goupy, P., Hugues, M., Boivin, P., & Amiot, M. J. (1999). Antioxidant composition and activity of barley (*Hordeum vulgare*) and malt extracts and of

isolated phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1625-1634.

Gujaska, E., & Khan, K. (1991). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science*, 56(2), 431-435.

Gumul, D., Korus, J., Czechowska, K., Bartoń, H., & Fołta, M. (2010). The impact of extrusion on the content of polyphenols and antioxidant activity of rye grains (*Secale cereale* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 9(3), 319-330.

Gutkoski, L. C., & El-Dash, A. A. (1999). Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition* (Formerly *Qualitas Plantarum*), 54(4), 315-325.

Harmann, D. V., & Harper, J. M. (1973). Effect of extruder geometry on torque and flow. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 16(6), 1175-1178.

Hartley, R., Morrisson, W., Hilmelsbach, D., & Borneman, W. (1990). Cross-linking of cell wall phenolic arabinoxylans in graminaceous plants. *Phytochemistry*, 29, 3705-3709.

Hashimoto, J. M., & Grossmann, M. V. E. (2003). Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(5), 511-517.

Hernandez-Diaz, J. R., Quintero-Ramos, A., Barnard, J., & Balandran-Quintana, R. R. (2007). Functional properties of extrudates prepared with blends of wheat flour/pinto bean meal with added wheat bran. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 13(4), 301-308.

Hu, F., Rimm, E., Stampfer, M., Ascherio, A., Spiegelman, D., & Willett, W. (2000). Prospective study of major dietary patterns and risk of coronary heart disease in men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(4), 912-921.

Huemmer, W., & Schreier, P. (2008). Analysis of proanthocyanidins. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52(12), 1381-1398.

Ishiwata, K., Yamaguchi, T., Takamura, H., & Matoba, T. (2007). DPPH radical-scavenging activity and polyphenol content in dried fruits. *Food Science and Technology Research*, 10(2), 152-156.

Jaeger, S. R., Axten, L. G., Wohlers, M. W., & Sun-Waterhouse, D. (2009). Polyphenol-rich beverages: insights from sensory and consumer science. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(14), 2356-2363.

Jara-Palacios, M. J., Hernanz, D., Cifuentes-Gómez, T., Escudero-Gilete, M. L., Heredia, F. J., & Spencer, J. P. (2015). Assessment of white grape pomace from winemaking as source of bioactive compounds, and its antiproliferative activity. *Food Chemistry*, 183, 78-82.

Jeong, S. M., Kim, S. Y., Kim, D. R., Jo, S. C., Nam, K. C., Ahn, D. U., & Lee, S. C. (2004). Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3389-3393.

Jiang, Y., Simonsen, J., & Zhao, Y. (2010). Compression-molded biocomposite boards from red and white wine grape pomaces. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(5), 2834-2846.

Jiménez-Escrig, A., & Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research*, 20(4), 585-598.

Jiménez, J. P., Serrano, J., Tabernero, M., Arranz, S., Díaz-Rubio, M., García-Diz, L., et al. (2008). Effects of grape antioxidant dietary fiber in cardiovascular disease risk factors. *Nutrition*, 24(7), 646-653.

Jing, Y., & Chi, Y. J. (2013). Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*, 138(2), 884-889.

Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J. P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., & Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 3954-3962.

Kallay, M., & Kerényi, Z. (1999). Occurrence and identification of procyanidins in hungarian grapes and wines. *Hungarian Agricultural Research*, 4, 17-20.

Kant, A., Graubard, B., & Schatzkin, A. (2004). Dietary patterns predict mortality in a national cohort: the National Health Interview Surveys 1987 and 1992. *The Journal of Nutrition*, 134(7), 1793-1799.

Karamac, M., Kosińska, A., & Pegg, R. B. (2005). Comparison of radical-scavenging activities for selected phenolic acids. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14(2), 165-170.

- Khanal, R., Howard, L., Brownmiller, C., & Prior, R. (2009). Influence of extrusion processing on procyanidin composition and total anthocyanin contents of blueberry pomace. *Journal of Food Science*, 74(2), 52-58.
- Kim, S., Jeong, S., Park, W., Nam, K., Ahn, D., & Lee, C. (2006). Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts. *Food Chemistry*, 97, 472-479.
- Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2007). In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2), 344-352.
- Larrauri, J., Ruperez, P., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (1996). High dietary fibre powders from orange and lime peels associated polyphenols and antioxidant. *Food Research International*, 29(8), 757-762.
- Larrea, M. A., Chang, Y. K., & Bustos, F. M. (2005). Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. *Food Chemistry*, 89(2), 301-308.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392-408.
- Llobera, A., & Cañellas, J. (2007). Dietary fibre content and antioxidant activity of Manto Negro red grape (*Vitis vinifera*): pomace and stem. *Food Chemistry*, 101(2), 659-666.
- Long, D., Ye, F., & Zhao, G. (2014). Optimization and characterization of wheat bran modified by in situ enhanced CO₂ blasting extrusion. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 605-611.
- Louli, V., Ragoussis, N., & Magoulas, K. (2004). Recovery of phenolic antioxidants from wine industry by-products. *Bioresource Technology*, 92(2), 201-208.
- Lue, S., & Huff, H. E. (1991). Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. *Cereal Chemistry*, 68, 227-234.
- Macheix, J., & Fleuriet, A. (1990). *Fruit phenolics*. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- McDougall, G., Morrison, I., Stewart, D., & Hillman, J. J. (1996). Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70 (2), 133-150.

- Maga, J. A. and Kim, C. H. (1990) Stability of natural colorants (annatto, beet, paprika, turmeric) during extrusion cooking. *LWT-Food Science and Technology*, 23(5), 427-432
- Makris, D., Boskou, G., & Andrikopoulos, N. (2007). Recovery of antioxidant phenolics from white vinification solid by-products employing water/ethanol mixtures. *Bioresource Technology*, 98(15), 2963-2967.
- Martinez Massanet, G., Montiel, J. A., Pando, E., & Luis, R. (1986). Study of agricultural by-products, II: Fatty acid composition of *Palomino* grapeseed oil. *Grasas y Aceites*, 37, 233-236.
- Mayyawadee, S., Klaus, D. and Gerhard, S. (2012) The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*. 110, 532-540.
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2), 650-658.
- MERCASA (2015). Informe sobre producción, industria, distribución y consumo de Alimentación en España. Recuperado de: http://www.mercasa-ediciones.es/alimentacion_2015/pdfs/Sectores/pag_362-396_vino_y_mosto.pdf
- Mercier, C., & Feillet, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, 52, 283-297.
- Mildner-Szkudlarz, S., Bajerska, J., Zawirska-Wojtasiak, R., & Górecka, D. (2013). White grape pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on physical and nutraceutical characteristics of wheat biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 389-395.
- Mildner-Szkudlarz, S., Zawirska-Wojtasiak, R., Szwengiel, A., & Pacyński, M. (2011). Use of grape by-product as a source of dietary fibre and phenolic compounds in sourdough mixed rye bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(7), 1485-1493.
- Mokdad, A., Marks, J., Stroup, D., & Gerberding, J. (2004). Actual causes of death in the United States, 2000. *Jama*, 291(10), 1238-1245.
- Montealegre, R. R., Peces, R. R., Vozmediano, J. C., Gascueña, J. M., & Romero, E. G. (2006). Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape *Vitis vinifera* varieties grown in a warm climate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6), 687-693.
- Nair, S., & Pullammanappallil, P. (2003). Value added products from vineyard wastes-a review. *Proceedings of ORBIT*, 108-118.

- Negro, C., Tommasi, L., & Miceli, A. (2003). Phenolic compounds and antioxidant activity from red grape marc extracts. *Bioresource Technology*, 87(1), 41-44.
- Nelson A. I., Wijeratne W. B., Yeh S W, We T. M. & Wei L. S., (1987). Dry extrusion as an aid to mechanical expelling of oil from soybeans, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 64(9), 1341-7.
- Niwa, Y., Kanoh, T., Kasama, T., & Negishi, M. (1988). Activation of antioxidant activity in natural medicinal products by heating, brewing and lipophilization. A new drug delivery system. *Drugs Under Experimental and Clinical Research*, 14(5), 361-372.
- Nowak, R., & Gawlik-Dziki, U. (2007). Polyphenols of *Rosa L.* leaves extracts and their radical scavenging activity. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(1-2), 32-38.
- Nyman, M., & Nilsson, T. (1994). Effect of long-term storage on dietary fibre in different cultivars of carrots. *Acta Agriculturae Scandinavica Sect. B, Soil Plant Science*, 44(2), 116-122.
- OIV (2016). International Organization of Vine and Wine. Recuperado de: <http://www.oiv.int/public/medias/4911/fao-oiv-grapes-report-flyer.pdf>
- Okonogi, S., Duangrat, C., Anuchpreeda, S., Tachakittirungrod, S., & Chowwanapoonpohn, S. (2007). Comparison of antioxidant capacities and cytotoxicities of certain fruit peels. *Food Chemistry*, 103(3), 839-846.
- Onwulata, C., & Heymann, H. (1994). Sensory properties of extruded corn meal related to the spatial distribution of process conditions. *Journal of Sensory Studies*, 9(1), 101-112.
- O'Shea, N., Arendt, E., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1-10.
- Pai, D., Blake, O., Hamaker, B., & Campanella, O. (2009). Importance of extensional rheological properties on fiber-enriched corn extrudates. *Journal of Cereal Science*, 50(2), 227-234.
- Peng, X., Ma, J., Cheng, K.W., Jiang, Y., Chen, F., Wang, M. (2010). The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry*, 119(1), 49-53.

- Perez-Jimenez, J., & Sayago-Ayerdi, S. G. (2009). Grape antioxidant dietary fibre A natural food additive and a dietary supplement. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 20(3), 17-19.
- Pérez-Magariño, S., & González-SanJosé, M. L. (2004). Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1181-1189.
- Pérez-Magariño, S., & González-SanJosé, M. (2006). Polyphenols and colour variability of red wines made from grapes harvested at different ripeness grade. *Food Chemistry*, 96(2), 197-208.
- Pino García, R. D., García Lomillo, J., Rivero Pérez, M. D., González SanJosé, M., & Muñoz Rodríguez, P. (2015). Adaptation and validation of QUick, easy, new, CHEap, and reproducible (QUENCHER) antioxidant capacity assays in model products obtained from residual wine pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (31), 6835-7094.
- Pirmohammadi, R., Golgasemgarebagh, A., & Azari, A. (2007). Effects of ensiling and drying of white grape pomace on chemical composition. *Journal of Animal and Veterinar Advances*, 6(9), 1079-1082.
- Poudel, P., Tamura, H., Kataoka, I., & Mochioka, R. (2008). Phenolic compounds and antioxidant activities of skins and seeds of five wild grapes and two hybrids native to Japan. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(8), 622-625.
- Pozuelo, M. J., Agis-Torres, A., Hervert-Hernández, D., Elvira López-Oliva, M., Muñoz-Martínez, E., Rotger, R., & Goñi, I. (2012). Grape antioxidant dietary fiber stimulates lactobacillus growth in rat cecum. *Journal of Food Science*, 77(2), 59- 62.
- Prozil, S., Evtuguin, D., & Lopes, L. (2012). Chemical composition of grape stalks of *Vitis vinifera* L. from red grape pomaces. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 178-184.
- Rababah, T. M., Al-Mahasneh, M. A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M. N., Ereifej, K., & Al-u'datt, M. (2011). Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 1096-1102.
- Rao, P. (1994). Nutrient composition of some less-familiar oil seeds. *Food Chemistry*, 50, 378-382.

- Ratnasooriya, C., & Rupasinghe, H. (2012). Extraction of phenolic compounds from grapes and their pomace using β -cyclodextrin. *Food Chemistry*, 134(2), 625-631.
- Ralet, M. C., Thibault, J. F., & Della Valle, G. (1990). Influence of extrusion-cooking on the physico-chemical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 11(3), 249-259.
- Redgwell, R. J., Curti, D., Robin, F., Donato, L., & Pineau, N. (2011). Extrusion-induced changes to the chemical profile and viscosity generating properties of citrus fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(15), 8272-8279.
- Reglamento (CE) 1234/2007, del Consejo de 22 de octubre de 2007, por el que se crea una organización común de mercados agrícolas (OCM) y se establecen disposiciones específicas para determinados productos agrícolas (Reglamento único para las OCM).
- Robin, F., Schuchmann, H. P., & Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 23-32.
- Rosales Soto, M. U., Brown, K., & Ross, C. F. (2012). Antioxidant activity and consumer acceptance of grape seed flour-containing food products. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(3), 592-602.
- Rupasinghe, H., & Clegg, S. (2007). Total antioxidant capacity, total phenolic content, mineral elements, and histamine concentrations in wines of different fruit sources. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 (2), 133-137.
- Sagdic, O., Ozturk, I., Ozkan, G., Yetim, H., Ekici, L., & Yilmaz, M. T. (2011). RP-HPLC–DAD analysis of phenolic compounds in pomace extracts from five grape cultivars: Evaluation of their antioxidant, antiradical and antifungal activities in orange and apple juices. *Food Chemistry*, 126(4), 1749-1758.
- Sánchez-Alonso, I., Jiménez-Esgrig, A., Saura-Calixto, F., & Borderias, A. (2008). Antioxidant protection of white grape pomace on restructured fish products during frozen storage. *LWT-Food Science Technology*, 41(1), 42-50.
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: a new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4303-4306.
- Saura-Calixto, F., Goñi, I., Mañas, E., & Abia, R. (1991). Klason lignin, condensed tannins and resistant protein as dietary fibre constituents: determination in grape pomaces. *Food Chemistry*, 39(3), 299-309.

Sáyago-Ayerdi, S., Brenes, A., Viveros, A., & Goñi, I. (2009). Antioxidative effect of dietary grape pomace concentrate on lipid oxidation of chilled and long-term frozen stored chicken patties. *Meat Science*, 83(3), 528-533.

Schieber, A., Stintzing, F., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds—recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 12(11), 401-413.

Sekhon, K.S., Dhillon, S.S., Singh N.& Singh, B. (1997). Functional suitability of commercially milled rice bran in India for use in different food products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50(2), 127-140.

Sehm, J., Treutter, D., Linder Mayer, H., Meyer, H., & Pfaffl, M. (2011). The influence of apple-or red-grape pomace enriched piglet diet on blood parameters, bacterial colonisation, and marker gene expression in piglet white blood cells. *Food and Nutrition Sciences*, 2(4), 366-376.

Selani, M. M., Brazaca, S. G. C., dos Santos Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., & Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163, 23-30.

Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131(4), 1406-1413.

Shih, M. C., Kuo, C. C., & Chiang, W. (2009). Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. *Food Chemistry*, 117(1), 114-121.

Shi, J., Yu, J., Phorly, J., & Kakuda, Y. (2003). Polyphenolics in grape seeds-biochemistry and functionality. *Journal of Medicinal Food*, 6(4), 291-299.

Shrikhande, A.J (2000) Wine by-products with health benefits. *Food Research International*, 33(6), 469–474.

Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, S., Tiwari, B., Hashemi, M., Fadavi, G., & Khaksar, R. (2013). Polyphenols content and antioxidant activity of Ghure (unripe grape) marc extract: influence of extraction time, temperature and solvent type. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2), 412-418.

Sousa, E. C., Uchôa-Thomaz, A. M. A., Carioca, J. O. B., Morais, S. M. D., Lima, A. D., Martins, C. G., ... & Silva, J. D. N. (2014). Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.), Benitaka variety, grown in the semiarid region of Northeast Brazil. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 135-142.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, E., & İbanoğlu, Ş. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 554-563.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2008). The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469-479.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1), 226-232.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156-164.

Swain, T., & Hills, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63-68.

Tangolar, S. G., Özoğul, Y., Tangolar, S., & Torun, A. (2009). Evaluation of fatty acid profiles and mineral content of grape seed oil of some grape genotypes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(1), 32-39.

Takeyama, E., Fukushima, M., & Tanimura, A. (2002). Effect of heat-treatment on the content and polysaccharide composition of dietary fiber. *Food Science and Technology Research*, 8(2), 125-130.

Theander, O., & Westerlund, E. (1987). Studies on Chemical Modifications in Heat-processed Starch and Wheat Flour. *Starch-Stärke*, 39(3), 88-93.

Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., Bourgeois, C.M. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Trends Food Science Technology*. 81(2), 41-48.

Ti, H., Zhang, R., Zhang, M., Wei, Z., Chi, J., Deng, Y., et al. (2015). Effect of extrusion on phytochemical profiles in milled fractions of black rice. *Food Chemistry*, 178, 186-194.

Torres, J., Varela, B., Garcia, M., Matito, C., Centelles, J., Cascante, M., et al. (2002). Valorization of grape (*Vitis vinifera*) byproducts. Antioxidant and biological properties of polyphenolic fractions differing in procyanidin composition and flavonol content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(26), 7548-7555.

Torri, L., Piochi, M., Lavelli, V., & Monteleone, E. (2015). Descriptive sensory analysis and consumers' preference for dietary fibre-and polyphenol-enriched

- tomato purees obtained using winery by-products. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 294-300.
- Tseng, A., & Zhao, Y. (2013). Wine grape pomace as antioxidant dietary fibre for enhancing nutritional value and improving storability of yogurt and salad dressing. *Food Chemistry*, 138(1), 356-365.
- UNE 87020:1993 (ISO 4121:1987). Análisis sensorial. Metodología. Evaluación de los productos alimentarios por métodos que utilizan escalas.
- Valiente, C., Arrigoni, E., Esteban, R., & Amado, R. (1995). Grape pomace as a potential food fiber. *Journal of Food Science*, 60(4), 818-820.
- Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J., & Li, J. (2002). Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77(1), 35-40.
- Vatai, T., Škerget, M. & Kenz, Ž. (2009). Extraction of phenolic compounds from elder berry and different grape marc varieties using organic solvents and/or supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Engineering*, 90, 246-254.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4113-4117.
- Villavicencio, A., Mancini-Filho, J., Delincée, H., & Greiner, R. (2000). Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. *Radiation Physics and Chemistry*, 57(3), 289-293.
- Vinson, J. A., Hao, Y., Su, X., & Zubik, L. (1998). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3630-3634.
- Wang, W. M., Klopfenstein, C. F., & Ponte Jr, J. G. (1993). Baking quality of the wheat bran. *Cereal Chemistry*, 70(6), 707-711.
- Waterhouse A.L. (2001), Determination of Total Phenolics. Current Protocols in Food Analytical Chemistry Wrolstad, RE, Wiley, 2001; I1.1.1-I1.1.8.
- Yağci, S., & Göğüş, F. (2009). Development of extruded snack from food by-products: a response surface analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 32(4), 565-586.
- Yang, J., Martinson, T., & Liu, R. (2009). Phytochemical profiles and antioxidant activities of wine grapes. *Food Chemistry*, 116(1), 332-339.
- Yi, C., Shi, J., Kramer, J., Xue, S., Jiang, Y., Zhang, M., Ma, Y., & Pohorly, J. (2009). Fatty acid composition and phenolic antioxidants of winemaking pomace powder. *Food Chemistry*, 114(2), 570-576.

Yu, J., & Ahmedna, M. (2013). Functional components of grape pomace: their composition, biological properties and potential applications. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2), 221-237.

Zia-ur-Rehman, Z., Islam, M., & Shah, W. H. (2003). Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. *Food Chemistry*, 80(2), 237-240.

Zhang, X., Chen, H., Zhang, N., Chen, S., Tian, J., Zhang, Y., et al. (2012). Extrusion treatment for improved physicochemical and antioxidant properties of high-molecular weight polysaccharides isolated from coarse tea. *Food Research International*, 136(4), 735–741.

Zieliński, H., Michalska, A., Piskuła, M., & Kozłowska, H. (2006). Antioxidants in thermally treated buckwheat groats. *Molecular Nutrition & Food Research*, 50(9), 824-832.

ANEXO

- **Caracterización del orujo de uva blanca con pepitas (OCP) y orujo sin pepitas (OSP)**

Prueba de Normalidad, valores de p

Parámetro	OSP		OCP	
	OSP-Procesos **	Entre procesos **	OCP-Procesos ***	Entre procesos ***
Humedad	<0,010*	0,023*	>0,150	0,034*
Proteína	<0,010*	0,094	<0,010*	>0,150
Grasa	<0,010*	>0,150	0,147	0,034*
Fibra dietética total (FDT)	>0,150	>0,150	0,014*	>0,150
Fibra dietética insoluble (FDI)	>0,150	>0,150	0,025*	>0,150
Fibra dietética soluble (FDS)	>0,150	>0,150	>0,150	>0,150
Índice de absorción de agua (WAI)	>0,150	>0,150	>0,150	>0,150
Índice de solubilidad en agua (WSI)	0,121	>0,150	>0,150	>0,150
Compuestos fenólicos totales	>0,150	>0,150	<0,010*	0,032*
Índice de oxidación (EC)	>0,150	>0,150	<0,010*	>0,150
Color L*	0,127	>0,150	<0,010*	0,067
Color a*	>0,150	>0,150	>0,150	>0,150
Color b*	0,077	0,084	>0,150	>0,150

*Valores de $p < 0,05$, los datos no siguen una distribución normal

** OSP sometido a procesos de extrusión en diferentes condiciones: OSP1, OSP2, OSP3, OSP4 y OSP5

*** OCP sometido a procesos de extrusión en diferentes condiciones: OCP1, OCP2, OCP3, OCP4 y OCP5

- **Diámetro medio (De) e índice de expansión (IE) para los snacks expandidos**

Parámetro	Receta 1	Receta 2
Diametro de expansión (De)	<0,010*	0,032*
Índice e expansión (IE)	<0,010*	0,053
Color L*	<0,010*	<0,010*
Color a*	0,047*	<0,010*
Color b*	<0,010*	0,138

*Valores de p <0,05, los datos no siguen una distribución normal

CONCLUSIONES GENERALES



CONCLUSIONES GENERALES

La presente Tesis Doctoral aborda la aplicación de la extrusión sobre distintos subproductos de la industria agroalimentaria así como sobre harinas de leguminosas advirtiendo unas modificaciones a nivel estructural y de composición que abren un abanico de nuevos usos.

El análisis global de los resultados reflejados en el estudio ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- El pelado de la lenteja previo a convertirla en harina es un proceso que afecta de forma relevante a sus propiedades nutricionales y funcionales. Supone una reducción del contenido en fibra y hierro pero determina una mejora en las propiedades de empastamiento, un incremento en el índice de solubilidad en agua y mejores propiedades de color, lo que tiene un impacto positivo para poder incluir esta harina en la formulación de productos de alimentación.
- La aplicación de la extrusión sobre la harina de lenteja origina modificaciones estructurales que mejoran su valor nutricional y propiedades tecnológicas. Supone un aumento de la fibra dietética soluble, la mejora en la capacidad de absorción de agua y de formación de un gel más fuerte; la disminución de su viscosidad y de la tendencia a la retrogradación. Esto crea ventajas tecnológicas en la formulación de los procesos industriales y en la calidad de los productos finales, entre las que destaca el incremento de la vida útil de los productos en los que se incorpore la harina.
- La presencia de leguminosas como el guisante, la alubia y la algarroba en una fórmula con base de arroz y la aplicación del proceso de extrusión a la mezcla produce efectos significativos en sus características en función de la proporción y el tipo de leguminosa añadida. Las propiedades fisicoquímicas, funcionales, de empastamiento e hidratación de los productos finales se ven afectadas significativamente debido a la dilución del contenido total de almidón y al incremento de la presencia de proteínas, fibra dietética, lípidos y azúcares y a las modificaciones debidas a la acción de la extrusión sobre el almidón, proteínas y fibra. Destaca la disminución del índice de expansión, que se ve más afectado con la inclusión de harina de algarroba. El índice de absorción de agua disminuye y el índice de solubilización en agua aumenta a medida que se

incrementa el nivel de sustitución de las tres leguminosas en todos los productos extrusionados.

- El proceso de extrusión de una mezcla compuesta por una base de arroz y distintas proporciones de guisante, alubia y algarroba hace que sea viable su aplicación para el desarrollo de productos extrusionados saludables y sin gluten tipo snacks, poniéndose de manifiesto la utilidad de estas harinas como nuevos ingredientes en la formulación de productos de alimentación.
- La aplicación de la extrusión sobre el salvado de trigo modifica de manera significativa su composición química y funcional. Genera la disminución del contenido de fibra dietética insoluble y lípidos, y aumenta el contenido de la fracción soluble de fibra y la presencia de sacarosa. La morfología interna de los componentes del salvado se transforma evidenciándose la gelatinización del almidón y la modificación de la estructura de la fibra, lo que supone un incremento en la capacidad de absorción de agua.
- La incorporación de salvado de trigo y salvado de trigo extrusionado en formulaciones de pan a partir de harina de trigo influye en el comportamiento reológico de las masas y en las propiedades del producto final. El salvado incrementa la absorción de agua y el tiempo de desarrollo de las masas, aumentando su tenacidad. Sin embargo, el salvado de trigo extrusionado ejerce un papel positivo en las propiedades del pan durante el almacenamiento dado que retrasa su envejecimiento cuando se incorpora al 15 %, por efecto de la retención de agua que produce, lo que contribuye a un mejor mantenimiento de la textura de la miga. El aspecto visual de los panes sufre un detrimento causado por la reducción de la luminosidad de la corteza y la miga, y por la aportación de tonos más rojizos. El pan con salvado de trigo extrusionado presenta mejor aceptación sensorial que el pan con salvado de trigo sin extrusionar.
- La incorporación de salvado de trigo extrusionado en la elaboración de pan en un porcentaje del 10 % representa el equilibrio entre las cualidades tecnológicas y las sensoriales, y permite ser utilizado con éxito en la elaboración de pan para incrementar el contenido de fibra total y retrasar el envejecimiento del pan en términos de firmeza.
- La caracterización orujo blanco con y sin pepitas de uva blanca puso de manifiesto que estos subproductos tienen un contenido en fibra dietética por encima del 50 % y en el caso del orujo con pepitas, además es ricos en lípidos y compuestos fenólicos.

- Los orujos con y sin pepitas son fuentes de compuestos activos y su incorporación en productos de alimentación puede mejorar las propiedades antioxidantes.
- Se comprobó que la aplicación de la extrusión sobre el orujo de uva blanca con pepitas y sin pepitas da lugar a cambios nutricionales, fisicoquímicos y funcionales diferentes para cada materia y variables de proceso utilizadas. Con los procesos de extrusión se produjo la redistribución molecular así como la creación de moléculas reactivas que pueden formar nuevos enlaces modificando la composición final de la materia, incrementando el contenido y distribución de la fibra y las propiedades antioxidantes que permiten obtener un ingrediente potencialmente más saludable que puede ser interesante para la aplicación en productos finales de la industria agroalimentaria.