

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



EFECTO DE LA INTRODUCCIÓN DE HARINA DE AVENA PRETRATADA TÉRMICAMENTE EN LA MEJORA DE MASAS PARA BOLLERÍA

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Dña. Sandra Espeleta Valera

TUTOR/A: D. Raúl Grau Meló
D. Isabel Fernández Segovia

DIRECTOR EXPERIMENTAL: D. Samuel Verdú Amat

Curso Académico: 2014/2015

VALENCIA, FECHA



EFFECTO DE LA INTRODUCCIÓN DE HARINA DE AVENA PRETRATADA TÉRMICAMENTE EN LA MEJORA DE MASAS PARA BOLLERÍA

RESUMEN: En el presente trabajo se ha planteado la sustitución de harina de trigo por harina de avena en masas batidas, concretamente en bizcochos, con el fin de mejorar el rendimiento productivo y el producto final. Se ha estudiado a su vez el efecto del calor sobre la harina de avena sometiénola a un pretratamiento térmico. Para ello se han realizado diferentes grados de sustitución; 0%, 25%, 50%, 75%, llegando incluso hasta una masa para bizcocho utilizando 100% harina de avena. El pretratamiento de las harinas se realizó a temperaturas de 80°C, 100°C y 130°C durante 30 minutos. Como control se utilizaron muestras 100% con harina de trigo y muestras con sustitución pero sin tratamiento térmico. Los resultados mostraron efectos significativos de la avena sobre la elaboración de bizcochos de trigo y su modificación gracias al tratamiento térmico, si bien dichos efectos son susceptibles de ser controlados para conseguir mejoras con respecto a la avena sin tratar.

Palabras clave: Avena, harina, bizcocho, grado de sustitución, pretratamiento térmico.

EFFECT OF THE INTRODUCTION OF HEAT-TREATED OAT FLOUR IN THE IMPROVEMENT OF CAKE BATTERS.

ABSTRACT: In the present study has been studied the substitution of wheat flour for oat flour in whipped doughs, specifically in cake batters, in order to improve the dough yield and the final product. Also has been studied the effect of heat on oat flour by making a thermal pretreatment. It has tried to do different degrees of substitution: 0%, 25%, 50%, 75%, even to dough for sponge cake using 100% oatmeal, while the temperatures used for thermal pretreatment were 80°C, 100°C and 130°C with samples without pretreatment. The results showed significant effects of oat in the elaboration of wheat biscuits and its modification due to the heat treatment, such effects are likely to be controlled to achieve improvements over untreated oat flour.

Key words: oats, flour, cake, degree of substitution, thermal pretreatment.

Titulación: Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Curso académico: 2014/2015

Alumno: Dña. Sandra Espeleta Valeta

Tutor: Prof. D. Raúl Grau Meló

Cotutor: Prof. D. Isabel Fernández Segovia

Director experimental: D. Samuel Verdú Amat

ÍNDICE GENERAL

	Página
1. Introducción.	1
2. Objetivos.	4
3. Materiales y métodos.	4
3.1. Materias primas.	4
3.2. Pretratamiento térmico de la harina de avena.	5
3.3. Formulación y procesado del bizcocho.	5
3.4. Análisis realizados.	6
3.4.1. Monitorización 3D durante el horneado.	6
3.4.2. Pérdida de peso.	7
3.4.3. Textura.	7
3.4.4. Procesado de datos.	7
4. Resultados y discusión.	8
4.1. Estudio de la altura y el área máximas alcanzadas durante el horneado.	8
4.2. Estudio de la pérdida de peso.	10
4.3. Estudio de textura.	12
5. Conclusión.	17
6. Bibliografía.	18

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bizcocho y pruebas realizadas en el estudio.	6
Figura 2. Dispositivo de análisis de imagen tridimensional basado en la luz estructurada.	7
Figura 3. Evolución del área de los bizcochos elaborados con el 25% de adición de avena y 100% avena, con diferentes pretratamientos de estas, durante el proceso de horneado.	9
Figura 4. Área máxima alcanzada por los bizcochos a los 25 minutos de horneado.	9
Figura 5. Porcentajes globales de pérdida de peso durante el procesado.	11
Figura 6. Resultados de las propiedades de textura analizadas (dureza, elasticidad y cohesividad) con sus respectivas desviaciones.	14
Figura 7. Resultados de las propiedades de textura analizadas (gomosidad, masticabilidad y resiliencia) con sus respectivas desviaciones.	15
Figura 8. Efecto de la incorporación de harina de avena en las tendencias de pérdida de peso (izquierda) y en relación con la dureza (derecha) según el área conseguida.	17

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Formulación para la masa batida (% peso total).	5
Tabla 2. Valores de correlación R2 y entre el área evaluada mediante la técnica de imagen y los parámetros fisicoquímicos.	16

1. Introducción.

El sector de los cereales y su transformación es uno de los más importantes a nivel mundial en cuanto a la cuota de mercado en la industria alimentaria, puesto que sus productos derivados en muchos casos constituyen la dieta básica diaria de la población o forman parte de sus costumbres gastronómicas.

El Código Alimentario Español define cereal como “plantas gramíneas y a sus frutos maduros, enteros, sanos y secos”. Ampliando esta definición, se pueden considerar cereales las plantas herbáceas monocotiledóneas de ciclo vegetativo anual entre las cuales encontramos cultivos como el trigo, la cebada, la avena, el centeno, el triticale, el maíz y el sorgo entre otros, siendo de estos el trigo el cereal de mayor importancia y con más usos, tanto en la industria alimentaria como en otras industrias de elaboración de subproductos.

Según las bases oficiales de información del estado, como MAGRAMA el sector de los cereales (excluido el arroz), con un valor de producción de 4.011,10 millones de euros, representó en 2012, el 9,56% de la PRA (Producción de la Rama Agraria) y el 16,7% de la PRV (Producción de la Rama Vegetal). Pese a esto, en España el sector encargado de la transformación de estos cereales es altamente demandante de cereales, especialmente de trigo, parte del cual se produce aquí pero que también es importado de otros países como Francia, Reino Unido y Ucrania, entre otros. Este sector pertenece a la Industria de la alimentación y bebidas, que es la primera rama industrial de la economía española. El Informe económico de la Industria de Alimentación y Bebidas del 2013, presentado por la Federación Española de la Industria de Alimentación y Bebidas (FIAB), destaca que el sector de Panadería y Pastelería ocupa una posición muy destacada en la industria alimentaria de nuestro país, teniendo un peso muy relevante en la economía nacional, ya que, el 37 % de las empresas de la industria de la alimentación y bebidas se dedican a la fabricación de productos de panadería y pastas alimenticias. (ASEMAC). Los alimentos procesados dentro de este sector ofrecen cada vez una mayor variedad de colores, sabores y texturas destinados principalmente a satisfacer las necesidades de los consumidores. (Campbell & Mougeot, 1999).

Los productos de pastelería y repostería son aquellos productos alimenticios elaborados con harinas, féculas, azúcares, grasas comestibles, con o sin levadura y otros productos alimenticios y sustancias complementarias, sometidos o no a un tratamiento térmico. Los pasteles y otros productos similares son de gran importancia en el sector de la panadería, el cual, actualmente crece en el mercado mundial alrededor de 1,5% al año. Como consecuencia de este crecimiento surge el planteamiento de nuevos retos de gran importancia como la reducción de costes, el aumento de la vida útil del producto y el control de la calidad (Wilderjans et al. 2013) y por ello la industria de Panadería, Bollería y Pastelería se esfuerza cada vez más en la mejora de los procesos productivos y la distribución para lograr ser más competitivos en el mercado. De esta manera, el sector dedica gran parte de sus beneficios y facturación a la inversión. La inversión media por empresa es del 1,5%-3% de los beneficios para nuevas máquinas, adquisición de nuevas plantas, I+D+i para nuevos productos y en publicidad, entre otros. En consecuencia, se ha incrementado el número de productos y variedades ofrecidas; así como la utilización de métodos de producción más flexibles y el desarrollo de nuevas técnicas de congelación en los últimos años (ASEMAC).

Según indica ASEMAC los productos de pastelería y repostería pueden ser productos tanto dulces como salados, distinguiéndose al menos cinco masas básicas: de hojaldre, azucaradas, escaldadas, de repostería y batidas. Las masas batidas son aquellas masas sometidas a un batido, resultando masas de gran volumen, tiernas y suaves. Entre los muchos productos que se procesan a partir de masas batidas, se encuentra el bizcocho que es uno de los productos más importantes de este el sector.

El bizcocho, es un producto de panadería hecho a base de harina, azúcar, huevos, grasa o aceite y agentes de fermentación. Se caracterizan por ser relativamente densos y tener una miga tierna y sabor dulce. Su contenido final de humedad varía normalmente entre valores entorno al 18% y 28%, siendo estos valores inferiores a los característicos del pan, pero mayores que los encontrados en otros productos como las galletas (Bennion y Bamford, 1997). Durante la cocción, el efecto combinado del almidón hinchándose y la desnaturalización de las proteínas en presencia de otros ingredientes provoca la transformación de la masa líquida en una espuma sólida (transición masa-miga), aportando así una gama de texturas únicas, características de este tipo de productos. Estos cambios producidos, inicialmente se traducen en un aumento muy acusado de la viscosidad de la masa, finalizando en el aporte de firmeza a la estructura de la matriz (fase continua) (Guy & Pithawala, 1981; Wilderjans et al, 2010 y 2013.).

El proceso de fabricación del bizcocho implica modificaciones estructurales, dependiendo de la formulación y las condiciones del proceso, que son de enorme importancia para la calidad del producto. Los efectos de la formulación y las condiciones del proceso se pueden investigar mediante las propiedades reológicas y estructurales del producto acabado (Nesrin et al. 2015). Por ejemplo, Wilderjans et al. (2008) utilizaron mediciones de la viscosidad y análisis de imagen para correlacionar las concentraciones de gluten con los cambios en las propiedades de la masa de pastel durante la cocción y con la calidad del producto final. Por otro lado, Schirmer et al. (2012) demostraron que la sustitución de sacarosa por polidextrosa en bizcocho dio características de calidad similares respecto a los cambios estructurales en la masa batida, en la caracterización del tamaño de miga y la textura del bizcocho. También encontramos la experiencia llevada a cabo por Upadhyay et al. (2012) donde correlacionaron las propiedades viscoelásticas de la masa con su microestructura. Encontraron una relación inversa entre el tamaño de la burbuja y el tiempo de vida útil en masas de pan. La comprensión de la microestructura en relación a las propiedades macroscópicas permite la mejora de los productos existentes y un diseño eficaz de aquellos nuevos (Blonk et al. 1993)

Como respuesta a esta necesidad de innovación permanente, se ha propuesto la mejora de la masa para bizcochos mediante la utilización de harina de avena (*Avena sativa*), sustituyendo de forma parcial o total el trigo con el que normalmente están elaborados estos productos. El trigo (*Triticum aestivum*) es el cultivo más importante para la elaboración del pan y otros productos de bollería y pastelería debido a su magnífico rendimiento durante el horneado en comparación con otros cereales (Dewettnick et al. 2008). El interés en el uso de nuevos cereales como alternativa al trigo está en auge en los últimos años debido a la demanda cada vez mayor por parte del consumidor de nuevos alimentos con propiedades saludables (Zhou et al. 1998). La avena es uno de los cereales más interesantes para la dieta humana, ya que de forma natural contiene altas cantidades de nutrientes de alto valor, tales como fibras solubles,

proteínas, ácidos grasos insaturados, vitaminas, minerales y fitoquímicos (Flander et al. 2008). Los efectos en la salud provenientes del consumo de avena se basan principalmente en las cantidades de fibra dietética total y su contenido en β -glucano. El β -glucano puede ayudar a alcanzar niveles más bajos de colesterol en sangre, también contribuye a mantener menores concentraciones de glucosa e insulina (Welch, 1995). El pan hecho con avena no sólo se ha comprobado que es de alta calidad nutricional, sino que también el uso de este cereal aporta un aroma a nuez, suave y agradable (Flander et al. 2007) además de excelentes propiedades de retención de humedad que mantienen el pan fresco por períodos más largos de tiempo (McKechnie, 1983). Sin embargo, las proteínas de la avena no poseen las propiedades viscoelásticas únicas y características del gluten de trigo y los productos resultantes son de menor calidad en cuanto a que el volumen del pan es inferior. Los efectos de la avena sobre las propiedades de la masa y la calidad del pan se han estudiado principalmente en panes compuestos a partir de trigo y avena, con niveles de adición del 10 a 51% de salvado de avena, copos o harina (D'Appolonia and Youngs, 1978; Deguyte-Fomis et al. 2002; Flander et al, 2007, 2008; Zhang et al. 1998). En estos estudios, las propiedades de la avena se encuentran enmascarados por el efecto del gluten procedente del trigo y prácticamente ningún trabajo se ha hecho para examinar las propiedades que aporta la avena al pan sin adición de agentes de trigo o agentes de conformación de estructura. Además, los panes hechos exclusivamente de avena sin trigo añadido requieren una tecnología diferente, ya que son masas más fluidas que las de trigo y más cercanas a la viscosidad de masas de pastelería.(Schober et al. 2005).

Por otro lado, una tendencia que cada vez cobra más fuerza es el acondicionamiento de la harina mediante tratamientos térmicos, el cual, puede aportar interesantes propiedades como la mejora del comportamiento de la masa, resistencia al colapso, mayor esponjosidad y, en definitiva, una mayor calidad del producto acabado (Cauvain y Young, 2006; Meza et al. 2011; Sahin, 2008; Neill et al. 2012; Ozawa et al. 2009; Purhagen et al. 2011). Las harinas utilizadas para las masas de bizcocho son modificadas con el fin de variar sus propiedades originales para mejorar su comportamiento o su rendimiento. En aquellas masas constituidas por harinas tratadas térmicamente se ha logrado observar valores más altos de viscosidad que los mostrados por masas constituidas por harinas que no han sido tratadas (Sahin, 2008).

La gran mayoría de las recetas comerciales de bizcocho, tiene una proporción mayor en peso de azúcar y / o líquido que la proporción en peso que representa la harina. Tales recetas se denominan de "alta proporción" o "high ratio" (McGee, 2004), en la cual, los bizcochos producidos con harina de base, es decir, sin tratamiento térmico, tienden a disminuir en volumen hacia el final de la cocción y durante el posterior enfriamiento. En algunos casos el bizcocho llega a colapsar, dando lugar a un producto denso y no aceptable para el consumidor. La pérdida de volumen y colapso son graves problemas para los fabricantes bizcochos y otros productos similares, siendo el tratamiento térmico de la harina antes de la cocción una solución para prevenir este colapso, dando un mejor volumen del producto final y mayor estabilidad, además de mantener el sabor dulce del producto (Sahin, 2008).

Meza et al. (2011) estudió el comportamiento reológico de masas para pasteles de alta proporción preparadas con harinas de trigo no tratadas y tratadas térmicamente, encontraron que aquellos bizcochos preparados con harinas pretratadas térmicamente mostraban una mayor estabilidad, tal y como se deducía de su tixotropía y su energía cohesiva, además del

cambio producido en la viscosidad aparente y el contenido en aire de las espumas. La red de gel generada en las emulsiones aireadas que en su formulación contenían harinas pretratadas térmicamente era significativamente más fuerte que aquella con harinas sin tratar. Por otro lado, Purhagen et al. (2011) estudiaron la utilización de harina de cebada pretratada térmicamente y sin pretratar junto con almidón de cebada como agente antienviejecimiento en el proceso de horneado. Las conclusiones extraídas en este trabajo fueron que las muestras horneadas con harina de cebada pretratada diferían de las muestras control con respecto al contenido en agua, firmeza y la retrogradación de la amilopectina.

2. Objetivos.

En base a lo expuesto en la introducción, en el presente Trabajo Final de Grado se plantea como objetivo principal evaluar el uso de harina de avena (*Avena sativa*) en la elaboración de masas batidas para bizcocho. Para ello se definen dos objetivos específicos:

- Evaluar la mejor combinación entre harina de trigo y harina de avena.
- Evaluar la influencia de la temperatura de pretratamiento de la harina de avena en el proceso y producto final.

3. Material y métodos.

3.1 Materias primas.

Los ingredientes utilizados para la elaboración de las muestras fueron principalmente harina de trigo destinada para su uso en productos como pan candeal, pan francés, magdalenas, bizcochos, rollitos de primavera y otros productos de fermentación larga (Molí de Picó), de la empresa Harinas Seguras S.L., Torrent (Valencia). Las características de la harina según la ficha técnica facilitada por la empresa fue: 15% de contenido en humedad, fuerza (W)= ± 140 y relación tenacidad/extensibilidad (P/L)= $\pm 0,30$. También se utilizó harina de avena, adecuadas para su uso en rebozados, pan, galletas, masa de pizza y salsas. Se utilizó harina de avena de la marca Biogrà de la empresa Sorribas S.A, Polinyà del Vallès (Barcelona). El valor nutricional de esta en 100 gramos es: Valor energético: 356kcal/ 1500KJ, Proteínas: 11g, Grasas: 8 g de las cuales saturadas: 1,5g, H. carbono: 60g de los cuales azúcares: 1,1g, Fibra alimentaria: 9g, β -Glucano 3.7g a una humedad del 15%. Además se utilizó leche en polvo desnatada (Central Lechera Asturiana, SAT con un contenido medio en 100 gramos de 34% proteínas, 52% de hidratos de carbono y un máximo de 1% en grasa), levadura química Royal, [Kraft Foods, constituida por gasificantes (bicarbonato sódico, difosfato disódico), harina de arroz y estabilizador (fosfato monocálcico)], aceite refinado de girasol (Coosol, de Aceites del sur-Coosur S.L.), azúcar blanco (AB Azucarera Iberia S.L.U.), huevos frescos (Huevos Monterde S.L.U.), sal fina seca (Consum) y agua mineral.

3.2 Pretratamiento térmico de la harina de avena.

La harina de avena utilizada en la formulación de los bizcochos fue sometida a un pretratamiento térmico a diferentes temperaturas. Esta etapa se realizó en un horno (Fagor modelo 2CF-3V) a las temperaturas de 80°C, 100°C y 130°C durante 30 minutos. Para ello se distribuyó 200 gramos de harina sobre una lámina de papel de aluminio dispuesta en la bandeja del horno. Se trató de repartir la harina en una capa uniforme y homogénea de aproximadamente 1cm de espesor con el objetivo de que el tratamiento térmico afectara por igual a la superficie de todas las muestras.

Una vez finalizó el tratamiento térmico, y siguiendo las pautas de varios autores, las muestras fueron rehumectadas hasta su humedad original, en una cámara Binder de condiciones controladas (25°C y 15% HR) durante 24 horas (Neill et al. 2012), para que la diferencia de humedad no fuera un factor influyente.

3.3. Formulación y procesado del bizcocho.

La formulación y preparación utilizada para la elaboración del bizcocho está basada en el trabajo de Meza et al. (2012). La formulación utilizada en este trabajo fue la siguiente:

Tabla 1. Formulación para la masa batida (% peso total).

Ingrediente	Porcentaje %
Harina	27,1
Azúcar	36,1
Agua	14,5
Huevo	13,9
Leche en polvo	3,9
Aceite	2,8
Levadura	1,0
Sal (NaCl)	0,6

Dentro del porcentaje base de harina utilizado (27.12%), dependiendo de la muestra a realizar, este puede ser totalmente harina de trigo (100%), harina de avena (100%) o bien una mezcla de ambas harinas en diferentes proporciones (25%, 50% y 75% de harina de trigo sustituida por harina de avena). En los casos que se da la mezcla de los dos tipos de harina, estas se pesan por separado homogeneizándose durante el proceso de mezclado de la masa.

Con la finalidad de recoger en un solo esquema todos los estudios realizados, y con el objeto de facilitar la comprensión del presente documento, a continuación en la figura 1 se muestra un diagrama de flujo de procesado y análisis realizados.

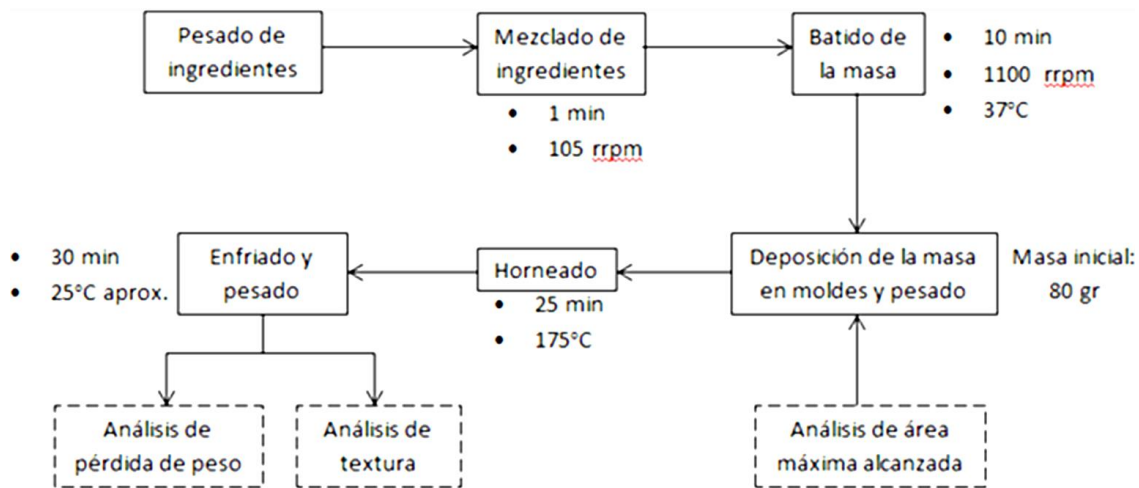


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bizcocho y pruebas realizadas en el estudio.

El equipo de mezclado y batido utilizado fue Thermomix TM31 de la empresa Vorwerk (Alemania) y los moldes de silicona para el horneado fueron de la empresa La Riqueza S.L., con unas dimensiones de 10 cm de largo, 5 cm de ancho y 3.3 cm de alto, presentando una resistencia térmica de entre -40 y 230°C. Por último, el horno utilizado fue un horno eléctrico modelo Sfnattuto Maxi EO32352 de la marca comercial De Longhi.

3.4. Análisis realizados.

3.4.1 Monitorización 3D durante el horneado.

El estudio de la evolución de las masas durante el horneado se llevó a cabo mediante un dispositivo de análisis de imagen tridimensional basado en la luz estructurada (Ivorra et al. 2013) (Fig. 1). Dicho sistema está compuesto de una luz estructurada generada por un láser lineal rojo (Lasiris SNF 410, Coherent Inc. Santa Clara, California (USA)) y una cámara de captura en blanco y negro con índice de protección de 67 (IP67) y una resolución de 640x480 píxeles que es capaz de trabajar en red (In-Sight 5100, Cognex, Boston, Massachusetts (USA)). Ambos dispositivos fueron instalados al horno. El láser se instaló con un ángulo determinado respecto a la base del horno, mientras que la cámara de visión se posicionó verticalmente. El sistema de análisis de imagen 3D utilizado se basa en el registro de la posición del láser en cada captura de imagen durante todo el proceso. De esta forma obtuvimos una imagen cada 5 segundos del dicho crecimiento del perfil de la masa (área y altura). Las alturas de todo el perfil marcado por el láser fueron integradas para calcular el área transversal de la muestra, y con ello el incremento de esta en cada momento. Los datos obtenidos se transformaron en datos numéricos, los cuales fueron utilizados para el estudio, determinando el crecimiento durante la cocción del bizcocho en base a las máximas áreas y alturas alcanzadas y al tiempo en que se alcanzaron.

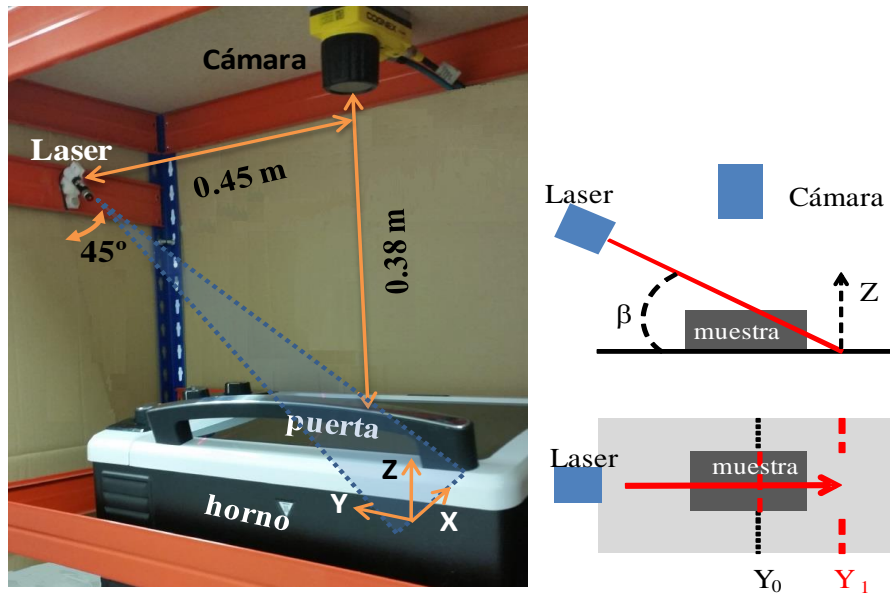


Figura 2. Dispositivo de análisis de imagen tridimensional basado en la luz estructurada (Ivorra et al. 2013).

3.4.2. Pérdida de peso.

Para determinar la pérdida de peso de cada una de las muestras, estas fueron pesadas en el momento de repartición de la masa batida en cada molde y posteriormente al horneado, tras dejar un periodo de atemperado de 30 minutos. Con ambos datos se calculó el incremento de masa debido a pérdidas de agua según la expresión:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(P_f - P_i)}{P_i} \cdot 100$$

3.4.3 Textura.

En este trabajo se realizó un análisis mecánico, concretamente Análisis del Perfil de Textura (TPA). La textura de las muestras fue analizada en un texturómetro Stable Micro Systems, Mod. Texture Analyzer–XR2, Godalming, Surrey UK. Para ello se usaron de cada muestra una porción regular en forma de cilindro de 3 cm de diámetro y 3 cm de altura. Estas secciones se comprimieron mediante un pistón de compresión (P/75) de 75 mm de diámetro con una velocidad de ensayo de 10.00 mm/s y deformación del 50 %. Se realizaron 6 réplicas por cada fórmula.

3.4.4. Procesado de datos.

Una vez obtenidos todos los resultados de los diferentes estudios, se llevó a cabo un análisis estadístico de la varianza (ANOVA) con un $p < 0.005$, utilizando el software Statgraphics (versión Centurión 16.1.15 XV). En el caso en el que las diferencias fueron significativas, estas se evaluaron mediante el análisis de comparación de medias con la distribución Fisher LSD). Para evaluar la relación entre los parámetros obtenidos mediante el equipo de imagen y los analizados al final del procesado, se realizó un estudio de correlaciones, utilizando el mismo software.

4. Resultados y discusión.

4.1. Estudio del área máxima alcanzada durante el horneado.

La técnica de análisis de imagen tridimensional utilizada durante todo el proceso de horneado nos ha permitido representar el desarrollo del bizcocho durante la cocción, es decir, las curvas del aumento del área respecto al tiempo de horneado. El área máxima obtenida está directamente relacionada con la altura máxima ya que el análisis del coeficiente de correlación (R), que es una medida de asociación lineal entre las dos variables, indica una relación directa positiva entre ambas variables, siendo el valor de R siempre cercano a 1. Ambos parámetros conforman el volumen que alcanza el bizcocho durante el tiempo de horneado.

En la figura 3, a modo de ejemplo, se muestra la evolución del área de los bizcochos durante el horneado. La gráfica de la izquierda muestra la evolución del área para los bizcochos elaborados con harina con un 25% de sustitución de harina de trigo por harina de avena pretratada a diferentes temperaturas. La gráfica de la derecha muestra la evolución pero para un nivel de sustitución del 100%. Se han seleccionado las gráficas de crecimiento para los bizcochos con una incorporación de avena al 25% y 100% de harina de avena pretratada a diferentes temperaturas, ya que comparándolas entre ellas y con el control (100% harina de trigo) se puede observar el efecto de la introducción de harina de avena en la formulación del bizcocho (bizcocho 25%) y además, las representaciones de las curvas de crecimiento en ambos casos aportan también información sobre el efecto del pretratamiento térmico en la harina de avena. Como se puede observar la introducción de avena produjo un incremento de la velocidad con la que la masa inicia la subida, ya que para todos los casos la pendiente que describen las muestras es mayor a la que presenta el control (curvas negras en la figura 3), si bien ésta tendencia se invierte aproximadamente entre el minuto 9 y 10 de cocción, cuando la velocidad de subida de las muestras con 100 % de harina de trigo se incrementa, alcanzando al final una mayor área que el resto de muestras, si bien los bizcochos con un 25% de sustitución de harina de avena pretratada a 80°C alcanzo la misma área final (figura 4).

El efecto negativo que muestra la avena sobre el desarrollo del área, y por tanto también en la altura del bizcocho, en la mayoría de casos ya se documentó en el estudio realizado por Strychar R. (2011) donde expone que para obtener productos de bollería de alta calidad cuando se utiliza avena, esta ha de ser mezclada con otros ingredientes para minimizar así la carencia de gluten de este cereal, cuando es comprado con el trigo. Estudios realizados en pan han indicado que cuando la harina de trigo se mezcla con la de avena para enriquecer el contenido en fibra de panes de trigo, el resultado eran panes con menos volumen específico (Flander et al., 2007; Noort et al., 2010; Popa et al., 2012; Tiwari et al., 2013), indicando una disrupción en la red de gluten. Esta disrupción se atribuyó a las partículas de fibra presentes en la avena y su alto contenido en β -glucano. (Londono et al., 2015).

Para el caso del efecto del pretratamiento térmico de la harina de avena, desde el punto de vista del desarrollo de la altura a lo largo del tiempo, se observa como a excepción de las muestras con un 25% de sustitución por harina de avena pretratada a 80°C que alcanzaron estadísticamente la misma área final que las muestras con 100% harina de trigo (figura 4), como anteriormente se ha comentado, el resto no pudieron alcanzar áreas superiores a sus

controles (sin pretratamiento), siendo en el mejor de los casos igualada. Así el área mínima fue dada por las muestras elaboradas con un 100% de sustitución y pretratadas a 130°C.

Como se observa en la figura 3 en todas las muestras se aprecia como la altura máxima se alcanza aproximadamente hacia el minuto 18. Este punto es el momento donde el bizcocho alcanza su área máxima, una vez dado ese pico el área se mantiene constante hasta finalizar los 25 minutos de horneado, ya no se produce ningún aumento en el volumen del bizcocho. Sin embargo, es necesario dejar transcurrir este tiempo en el que no se produce una mayor subida de la masa, puesto que es en este momento donde se acaba de formar las paredes del bizcocho y se endurece su estructura lo suficiente como para impedir el colapso del bizcocho al ser enfriado, dando lugar al área y volumen final del producto.

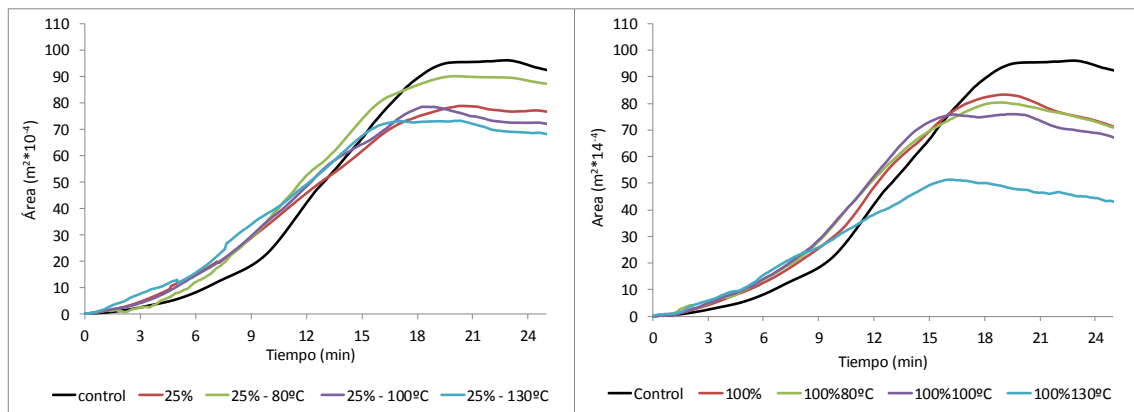


Figura 3. Evolución del área de los bizcochos elaborados con el 25% de adición de avena (izquierda) y 100% avena (derecha), con diferentes pretratamientos de estas, durante el proceso de horneado.

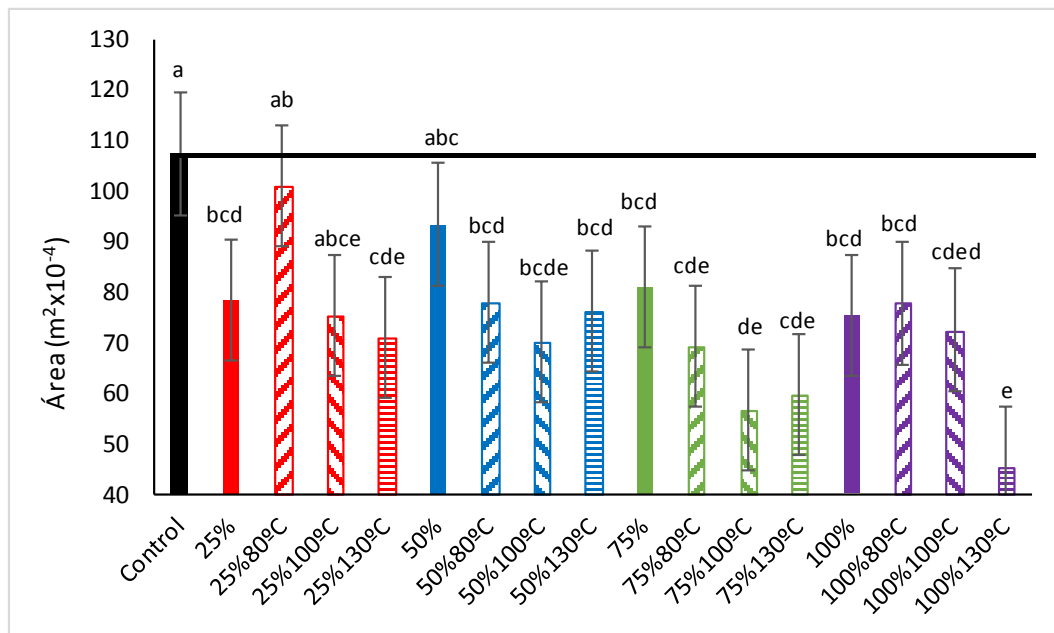


Figura 4. Área máxima alcanzada por los bizcochos a los 25 minutos de horneado. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar y diferentes letras sobre las columnas muestran diferencias significativas mayores a 0,05.

En general, como ya se ha mencionado antes, la introducción de la harina de avena tiene efectos desfavorables sobre el volumen del bizcocho, este efecto se ha tratado de minimizar con el pretratamiento térmico, sin embargo en la mayoría de casos no solo no ha sido efectivo, sino que en ocasiones se ha empeorado el resultado comparándolo con las muestras sin tratamiento térmico. Solo se han obtenido resultados beneficiosos en el caso del pretratamiento a 80°C en la formulación 25% avena.

Existen estudios como el realizado por Rieder et al. (2012) en el que se documenta el efecto positivo del pretratamiento térmico en panes con harinas de avena con y sin tratamiento térmico. Aquellos panes cuya harina de avena había sido sometida a pretratamiento térmico mostraban mayor volumen. El pretratamiento térmico inactiva enzimas endógenas encargadas de la degradación del β -glucano. La presencia de moléculas de β -glucano de alto peso molecular aumenta la viscosidad de la fase acuosa de la masa, lo que se traduce en mayor estabilidad de las burbujas de gas, y en consecuencia de ello se alcanzan mayores volúmenes en las muestras donde la avena ha sufrido un tratamiento térmico.

El efecto del β -glucano en la capacidad de extensibilidad del gluten puede ser comparada al efecto de las pentosas solubles en agua, que son polisacáridos que también pueden interferir en la formación de la red de gluten (Wang et al. 2004a). Tres mecanismos han sido propuestos para explicar este fenómeno: la perturbación de la viscosidad, la reducción de la atracción molecular entre las moléculas de gluten, y la modificación de la fuerza de Van der Waals entre partículas (Wang et al. 2004a, 2004b). Como el β -glucano presenta una gran afinidad por el agua con la que forma uniones estables (Ahmad et al. 2010), la competencia por el agua presente con el gluten y otras partículas afines al agua puede interferir en el desarrollo de la red de gluten (Wang et al. 2002).

Por lo expuesto anteriormente cabría esperar que el pretratamiento de la harina de avena mejorara los resultados de los bizcochos en cuanto a su área. Que esto no haya sido así puede deberse a que el efecto del factor pretratamiento térmico tenga menor importancia sobre el área que el efecto del factor introducción de avena, siendo este principalmente el que determina el área final del bizcocho.

4.2. Estudio de la pérdida de peso.

Las pérdidas de peso ocurridas desde la preparación de la masa batida hasta que se obtiene el producto final son debidas principalmente a la evaporación de agua durante el proceso de horneado y también durante el posterior atemperado de los bizcochos. Conocer el porcentaje de peso que pierde el producto respecto a la masa añadida previamente al horneado, resulta interesante a la hora de buscar una relación y explicación respecto a los datos (tomados mediante técnicas de imagen) de las características que presenta el bizcocho o las características de la harina de su formulación. Estas pérdidas fueron estudiadas y se recogen en la figura 5. Tal como se puede apreciar todas las formulaciones tienden a perder más cantidad de agua que la muestra control, si bien la cantidad de agua inicial fue la misma en todas. Para los porcentajes de sustitución 25%, 75% y 100% se aprecia una tendencia en la que a mayor temperatura de pretratamiento térmico, menores pérdidas de agua se producen, siendo una excepción el caso para un porcentaje de sustitución del 50% donde alcanza la máxima pérdida de agua se da para las harinas pretratadas a 100°C, siendo el mínimo el

alcanza para las pretratadas a 130°C. En términos generales cuando el tratamiento térmico se ha realizado a 130°C, las pérdidas de agua en todos los casos son no significativas respecto al control con un nivel de confianza del 95%.

El análisis de la varianza contemplando los dos factores independientemente (porcentaje de sustitución y temperatura del pretratamiento) así como su interacción, indicó que tanto los efectos principales como el efecto de la interacción son significativos, siendo el predominante el factor temperatura (F-ratio: 37,13), seguido del efecto de la sustitución (F-ratio: 25,6) y por último y con una importancia menos relevante la interacción de ambos efectos (F-ratio: 8,92).

Que las pérdidas de peso hayan sido mayores que las observadas en el control puede tener su explicación en el tiempo utilizado para realizar los tratamientos térmicos de la harina de avena. Zhang et al. (2014) concluyeron que un pretratamiento térmico de la harina a 30 minutos, implica un incremento en la pérdida de peso durante el horneado del bizcocho que estaría relacionada con la retrogradación de la amilosa de forma irreversible, formando complejos insolubles y por tanto perdiendo capacidad de retención del agua. Mientras que la reducción de estas pérdidas cuando el tratamiento se realiza a 130°C parecen apuntar a que cuanto mayor fuera el tratamiento térmico menores pérdidas se producirían, porque mayor sería la gelatinización y se obtendría un producto con unos valores en pérdida de peso inferiores como sucedió en el trabajo de Neill et al. (2012), en el que el mejor tratamiento tiempo/temperatura fue de 120-130°C y 30 min, tal y como sucede de manera muy similar en nuestro trabajo.

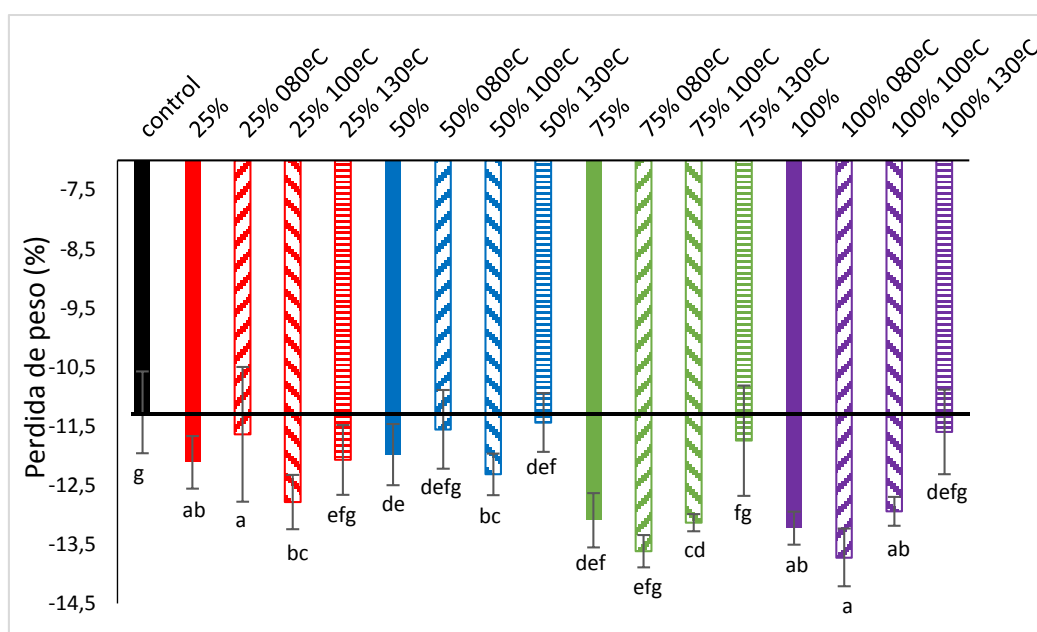


Figura 5. Porcentajes globales de pérdida de peso durante el procesado. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar y diferentes letras sobre las columnas muestran diferencias significativas mayores a 0,05.

4.3. Estudio de textura.

Los estudios de textura realizados sobre las muestras de bizcocho elaborados con las diferentes formulaciones se muestran en las figura 6 y 7, en la que se muestra los promedios de cada muestra para cada parámetro analizado, la desviación estándar en barras y en letras las diferencias estadísticas (error estadístico $p\text{-value} < 0.05$).

El primer de los parámetros, la dureza que se define como la fuerza máxima que tiene lugar en el primer ciclo de deformación y viene expresada en unidades de fuerza, N o (kg m s^{-2}) . Como se observa, para todos los porcentajes de sustitución la dureza aumenta a mayor temperatura de pretratamiento que sufre la harina de avena, siendo el mayor valor de dureza la formulación 50% - 130°C , si bien para la misma temperatura, el resto de formulaciones no presentan diferencias significativas. De todas las formulaciones estudiadas, la única que no mostró diferencias significativas ($p\text{-value} < 0.05$) fue la de 100% de sustitución sin tratamiento.

Londono et al (2015) estudió como el contenido y la viscosidad del β -glucano presente en la harina de avena puede afectar a las propiedades tecnológicas de la masa, tanto en masas con gluten como sin gluten. En ambos casos en aumento de la concentración de β -glucano se tradujo en un aumento de la dureza de la masa y una reducción de la extensibilidad de la misma.

La gomosidad, que expresa la energía que se necesita para descomponer un alimento semisólido para ser tragado y se expresa en unidades de fuerza, N o (kg m s^{-2}) y la masticabilidad, que se define como el producto de la cohesividad por la dureza y se expresa en kg, presentan el mismo comportamiento que la dureza.

Otro parámetro estudiado es la elasticidad, que representa la altura que recupera el alimento durante el tiempo que transcurre entre el primer y segundo ciclo de compresión. Mide la ruptura que ha sufrido la estructura original por la compresión inicial. Es adimensional. En este caso volvemos a observar una dependencia de la temperatura de pretratamiento térmico pues las harinas de avena tratadas a mayor temperatura han producido producto con mayor elasticidad, siendo la máxima elasticidad la alcanzada por los bizcochos con porcentajes de sustitución del 50%, 75% y 100% y pretratamiento a 130°C . Sin embargo para la formulación 25% la elasticidad desciende cuando la harina ha sido tratada a 80°C y 100°C para volver a aumentar cuando la T^{a} del pretratamiento es de 130°C , teniendo finalmente un valor de elasticidad inferior al que se observa en la misma muestra sin tratamiento térmico.

La cohesividad que representa la capacidad de un material para soportar una segunda deformación (tras el segundo ciclo de prensado del TPA). Es adimensional. En este caso las formulaciones de 75% y 100% disminuyen su cohesividad cuando han sido pretratadas a 80°C y 100°C y aumenta cuando la temperatura ha sido de 130°C , este aumento es muy acentuado en la formulación de 100% de sustitución. La formulación de 50% se mantiene prácticamente constante para la cohesividad en todas las temperaturas de pretratamiento estudiadas. Y por último la formulación de 25% tiene el siguiente comportamiento, a 80°C aumenta ligeramente respecto a la muestra sin tratamiento térmico. Luego a 100°C alcanza el valor de cohesividad mínimo y remonta cuando el pretratamiento es de 130°C alcanzando valores similares a los de la muestra sin tratamiento térmico.

Finalmente la resiliencia expresa la capacidad de un material para recuperar su forma original (Rizzello et al., 2014). Al igual que la gomosidad y la masticabilidad siguen el mismo patrón que la dureza, aumentando para todas los porcentajes de sustitución a medida que aumenta la temperatura del pretratamiento térmico, pero en este caso el mayor valor es el alcanzado por la muestra 75% - 130°C.

El análisis de la varianza multifactorial para los parámetros: Dureza, Gomosidad, Masticabilidad, Cohesividad y Resiliencia muestra en todos estos casos una significancia de los dos efectos principales (% de sustitución y temperatura de pretratamiento) y también de su interacción, ya que los P-value prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los 3 P-value son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza (N) con un 95,0% de nivel de confianza, siendo el de mayor importancia según los valores de F-ratio, la temperatura, seguido del porcentaje de sustitución y por último, con menor importancia, la interacción entre ambos efectos principales. Sin embargo para el parámetro Elasticidad el análisis de la varianza multifactorial muestra que son significativos el efecto principal temperatura y la interacción entre temperatura y porcentaje de sustitución, no siendo significativo el efecto principal porcentaje de sustitución. Así pues el factor más influyente es la temperatura de pretratamiento seguido de la interacción de los dos efectos.

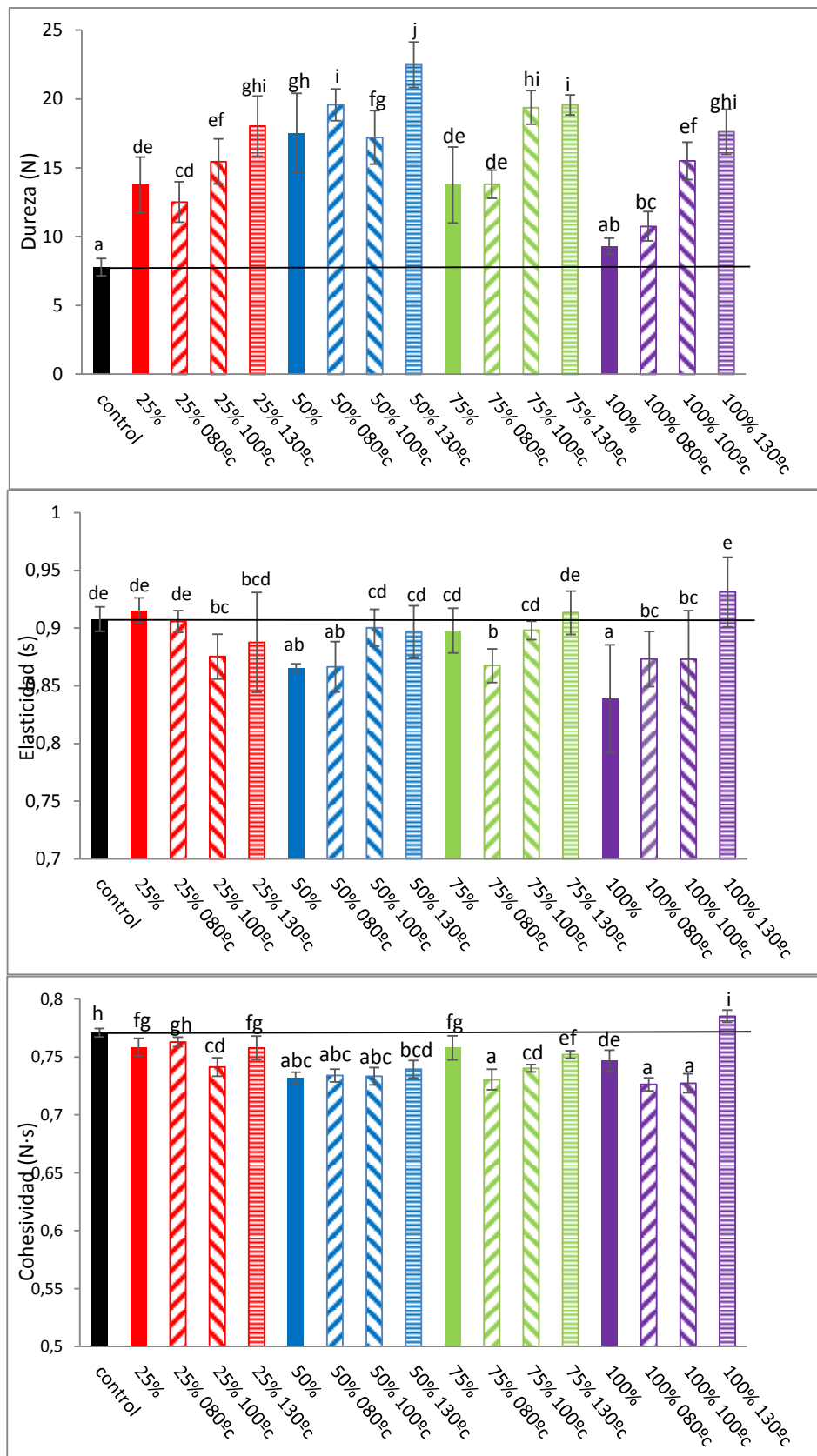


Figura 6. Resultados de las propiedades de textura analizadas (dureza, elasticidad y cohesividad) con sus respectivas desviaciones. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar y diferentes letras sobre las columnas muestran diferencias significativas mayores a 0,05.

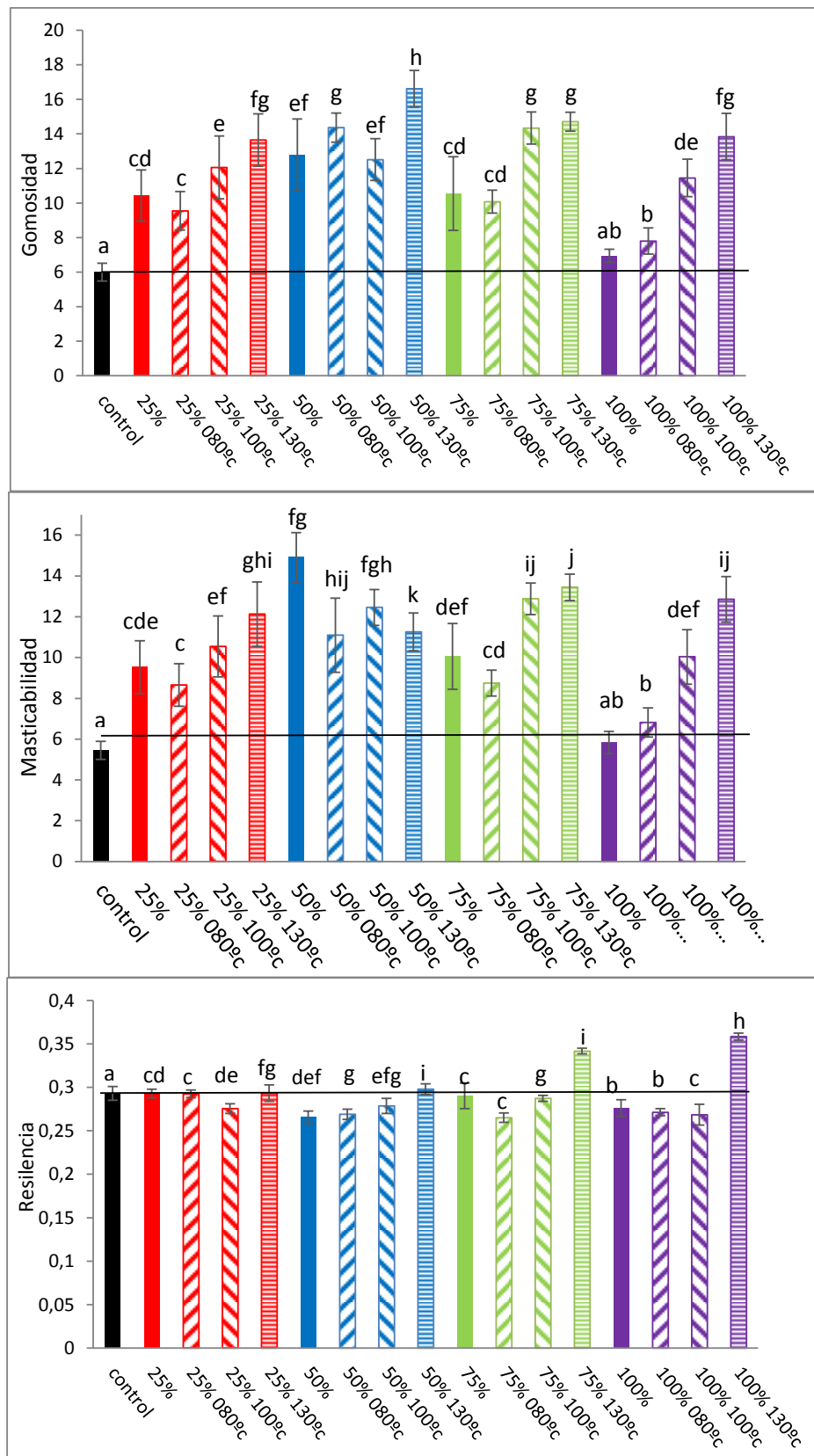


Figura 7. Resultados de las propiedades de textura analizadas (gomosidad, masticabilidad y resiliencia) con sus respectivas desviaciones. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar y diferentes letras sobre las columnas muestran diferencias significativas mayores a 0,05.

Con la finalidad de establecer posibles relaciones entre los datos obtenidos con el dispositivo de imagen y el resto de parámetros fisicoquímicos, se realizó un estudio de correlaciones (Tabla 2). Como se aprecia cuando las correlaciones fueron efectuadas por las muestras elaboradas con las harinas sin pretratamiento térmico no existió ninguna correlación significativa. En cambio cuando estas se hicieron entre muestras con diferentes grados de sustitución, pero con pretratamiento si se observaron diferencias significativas.

Tabla 2. Valores de correlación R² y significancia (rojo=p-value<0.05; verde=p-value<0.1) entre el área evaluada mediante la técnica de imagen y los parámetros fisicoquímicos.

	Sin pretratamiento	Con pretratamiento			
		25%	50%	75%	100%
		área			
BL	-0,81; 0,096	-0,48; 0,403	-0,30; 0,623	-0,36; 0,549	0,10; 0,864
Dureza	-0,21; 0,726	-0,91; 0,032	-0,81; 0,095	-0,96; 0,009	-0,86; 0,063
Elasticidad (s)	0,45; 0,445	0,54; 0,337	0,11; 0,852	0,003; 0,995	-0,21; 0,740
Cohesividad (N·s)	0,28; 0,640	0,74; 0,153	0,77; 0,130	0,76; 0,130	-0,16; 0,790
Gomosidad	-0,23; 0,709	-0,91; 0,031	-0,80; 0,0102	-0,95; 0,015	-0,86; 0,060
Maticabilidad	-0,23; 0,699	-0,91; 0,031	-0,81; 0,091	-0,92; 0,028	-0,85; 0,070
Resiliencia	-0,52; 0,368	-0,86; 0,063	-0,84; 0,073	-0,91; 0,033	-0,96; 0,007

Valores en rojo muestra correlación con un nivel de significancia igual o menor del 95%. Valores en verde significancia igual o menor del 90%.

Si bien para las muestras sin tratamiento térmico no existió una correlación significativa, si se observó una tendencia entre el área y la pérdida de peso (BL). Como se puede observar en la figura 8 (izquierda) en la que se muestra esta relación para las muestras sin tratamiento térmico al incrementarse el área se redujeron las pérdidas de peso. Este fenómeno puede ser debido a que cuanto mayor es el área, mayor es el número de burbujas en la matriz del bizcocho, estas burbujas contienen aire en su interior que hace disminuir la conductividad térmica del bizcocho, esto conlleva por tanto a una mayor retención de agua en el bizcocho. En el estudio realizado por Zúñiga et al. (2009) también se observó como la conductividad térmica disminuye cuando aumenta la porosidad de la masa, siendo el valor de la conductividad función de la porosidad del producto. En general como ya hemos visto, a menores porcentajes de sustitución mayores áreas (y menores pérdidas de peso) puesto que la harina que realmente tiene las mejores propiedades para la formación de bizcochos con volumen es la harina de trigo.

Las muestras pretratadas, si bien por ejemplo para la dureza mostraron una correlación inferior al 90%, con R² en el peor de los casos de -0.81, cuando se visualizó tal correlación (figura 8 derecha), esta solo fue evidente para las muestras con sustitución del 25 y 75% (con correlaciones inferiores al 95%), pero no para las de 50 y 100% (con correlaciones inferiores al 90%). El mismo comportamiento fue observado para el resto de parámetros con correlaciones estadísticas. Esta heterogeneidad de correlaciones podría ser debida a que correlacionamos el valor área, el cual ya se alcanza entorno a los 18 minutos, con los que se obtienen al final del procesado (25 minutos) y por tanto todos los fenómenos que se dan del minuto 18 al 25 no estarían presentes en la correlación.

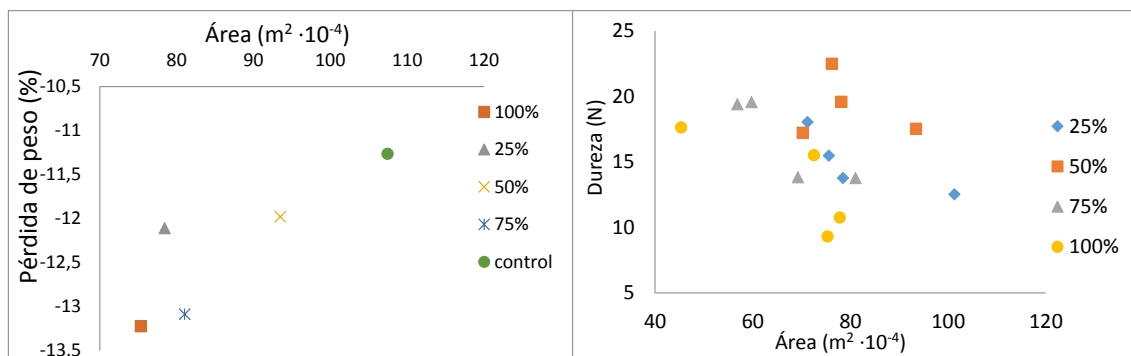


Figura 8. Efecto de la incorporación de harina de avena en las tendencias de pérdida de peso (izquierda) y en relación con la dureza (derecha) según el área conseguida.

5. Conclusión.

Los resultados muestran que ambos factores, grado de sustitución con avena y tipo de tratamiento térmico, influyen tanto en el procesado como en el producto acabado. La sustitución de trigo con harina de avena produce una pérdida de capacidad de retención de gas, generando subidas menores de la masa durante el proceso de horneado, mientras que a su vez, genera una mayor pérdida de masa durante éste. Las propiedades texturales del producto acabado también se ven afectadas, tendiendo a tener bizcochos más firmes y gomosos. Por otra parte, el tratamiento térmico de la harina de avena también produce modificaciones en las propiedades de ésta, modificando su comportamiento para todas las variables estudiadas, si bien no se mejora el comportamiento de la muestras sin tratamiento. Solo en el caso del tratamiento térmico a 80°C y con un nivel de sustitución de harina tratada del 25% mejora el comportamiento de la masa, incrementando el nivel de retención del gas respecto al mismo nivel de sustitución pero sin tratamiento térmico, e incluso alcanzando la altura del control.

En general se observaron efectos significativos de la avena sobre la elaboración de bizcochos de trigo y su modificación gracias al tratamiento térmico. Dichos efectos son susceptibles de ser controlados para conseguir mejoras con respecto a la avena sin tratar, aunque son necesarias nuevas experiencias a fin de modelizar la respuesta de este tipo de harina con el tratamiento térmico para obtener resultados más homogéneos.

6. Bibliografía.

Ahmad, A., Anjum, F.M., Zahoor, T., Nawaz, H., Ahmed, Z., 2010. Extraction and characterization of b-d-glucan from oat for industrial utilization. *International Journal of Biological Macromolecules* 46, 304-309.

Asociación Española de Masas Congeladas (ASEMAC). La industria panadera en cifras.

Bennion, E.B.; Bamford, G.S.T.(1997). The technology of cake making. London, UK: Blackie Academic and Professional.

Blonk, J. C. G., Don, A. Van Aalst, H. and Birmingham, J. J. (1993). Fluorescence photo bleaching recovery in the confocal scanning light microscope. *Journal of Microscopy*, 169, 363–374

Campbell, G. M.; Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science and Technology*, 10: 283–296.

Cauvain, S.P.; Young, L. S. (2006). *Productos de panadería: Ciencia, Tecnología y Práctica*. Editorial Acribia, S.A.. Zaragoza. 251 pp.

D'Appolonia, B.L., Youngs, V.L., 1978. Effect of bran and high-protein concentrate from oats on dough properties and bread quality. *Cereal Chemistry* 55, 736-743

Degutyte-Fomis, L., Sontag-Strohm, T., Salovaara, H., 2002. Oat bran fermentation by rhy sourdough. *Cereal Chemistry* 79, 345-348

Dewettnick 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, 243-247

Federación Española de la Industria de Alimentación y Bebidas (FIAB). Informe económico de la Industria de Alimentación y Bebidas, 2013.

Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., Autio, K., 2007. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT-Lebensmittelwissenschaft und –Technologie* 40, 860-870.

Flander, L., Rouau, X., Morel, M., Autio, K., Seppänen-Laakso, T., Kruus, K., Buchert, J., 2008. Effects of laccase and xylanase on the chemical and rheological properties of oat and wheat doughs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 5732-5742.

Guy, R. C. E., & Pithawala, H. R. (1981). Rheological studies of high ratio cake batters to investigate the mechanism of improvement of flours by chlorination or heat treatment. *Journal of Food Technology*, 16, 153-166.

Hesso, H.; Garnier, C.; Loisel, C.; Chevallier, S.; Bouchet, B.; Le-Bail, A. (2015). Formulation effect study on batter and cake microstructure: Correlation with rheology and texture

Londono, D. M.; Luud J.W.J. Gilissen, Richard G.F. Visser, Marinus J.M. Smulders , Rob J. Hamer (2015). Understanding the role of oat β -glucan in oat-based dough systems. *Journal of Cereal Science* 62 1-7

McGee, H., 2004. *On food and cooking: the science and lore of the kitchen*

McKechnie, R., 1983. Oat products in bakery foods. *Cereal Foods World* 28, 635-637.

Meza, B.; Chesterton, A.; Verdini, R.; Rubiolo, A.; Sadd, P.; Moggridge, G.; Wilson, D. (2011). Rheological characterisation of cake batters generated by planetary mixing: comparison between untreated and heat-treated wheat flours. *Journal of Food Engineering*, 104: 592–602.

Neill, G.; Al-muhtaseb, A.H.; Magee, T.R.A. (2012). Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 113: 422–426.

Nesrin Hesso, Catherine Garnier, Catherine Loisel, SylvieChevallier, Brigitte Bouchet, Alain Le-Bail Formulation effect study on batter and cake microstructure: Correlation with rheology and texture (2015)

Noort, M.W.J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H.A., Hamer, R.J., 2010. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality and Evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science* 52, 59-64.

Popa, A., Dută, D., Niculită, P. (2012). Recent advances in oat-based functional cereal products. *Rom. Biotechnol. Lett.* 17, 7717-7725.

Purhagen, J.K.; Sjö, M.E.; Eliasson, A. (2011). The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes. *Journal of Food Engineering*, 104: 414–421.

Rieder, A.; Holtekjølen, A.K.; Sahlstrøm, S.; Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science* 55, 48-52.

Rizzello, C.G.; Calasso, M.; Campanella, D.; De Angelis, M.; Gobetti, M. (2014). Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International Journal of Food Microbiology* 180, 78–87.

Sahin, S., 2008. Cake batter rheology. In: Sumnu, S.G., Sahin, S. (Eds.), *Food engineering aspects of baking sweet goods*. CSR Press, Boca Raton, Florida, USA.

Schirmer M, Jekle M, Arendt E & Becker T (2012). Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. *Food Research International*, 48, 291–298.

Schober, T.J., Messerschmidt, T.J., Bean, S.R., Park, S.-H., Arendt, E.K., 2005. Gluten-Free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry* 82, 394-404.

Strychar, R. (2011). World oat production, trade, and usage. In: Webster, F. H. and Wood, P. J. (eds) *Oats: Chemistry and Technology* (2nd edn). St Paul, MN: AACC International, Inc

- Tiwari, U., Cummins, E., Brunton, N., O'Donnell, C., Gallagher, E., 2013. A comparison of oat flour and oat bran-based bread formulations. *Br. Food Journal* 115, 300-313
- Ozawa, M.; Kato, Y.; Seguchi, M. (2009). Investigation of dry-heated hard and soft wheat flour. *Starch -Stärke*, 61: 398–406.
- Upadhyay, R., Ghosal, D., Ghosal, D. & Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 104-113
- Wang, M., Hamer, R.J., van Vliet, T., Oudgenoeg, G., 2002. Interaction of water extractable pentosans with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science* 36, 25-37.
- Wang, M., van Vliet, T., Hamer, R.J. (2004a). How gluten properties are affected by pentosans. *Journal of Cereal Science* 39, 395-402.
- Wang, M.W., Van Vliet, T., Hamer, R.J. (2004b). Evidence that pentosans and xylanase affect the re-agglomeration of the gluten network. *Journal of Cereal Science* 39, 341-349.
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). The role of gluten in a pound cake system: a model approach based on gluten-starch blends. *Food Chemistry*, 110, 909-915
- Wilderjans, E., Luyts, A., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2010). A model approach to starch and protein functionality in a pound cake system. *Food Chemistry*, 120, 44-51.
- Wilderjans, E.; Luyts, A.; Brijs, K.; Delcour, J.A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30: 6-15.
- Welch, R.W., 1995. Oats in human nutrition and health. En: Welch, R.W. (Ed.), *The Oat Crop. Production and Utilization*. Chapman and Hall, London, UK, pp. 433-471.
- Zhang, D., Moore, W.R., Doehlert, D.C., 1998. Effects of oat grain hydrothermal treatments on wheat-oat flour dough properties and bread making quality. *Cereal Chemistry* 75, 602-605.
- Zhang, Y.; Liu, W.; Liu, C.; Luo, S.; Li, T.; Liu, Y.; Wu, D.; Zuo, Y. (2014). Retrogradation behaviour of high-amylose rice starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Food Chemistry*, 158: 255–261.
- Zhou, M., Robards, K., Glennie-Holmes, M., Helliwell, S., 1998. Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chemistry* 75, 273-281
- Zúñiga, R., Le-Bail, A., 2009. Assessment of thermal conductivity as a function of porosity in bread dough during proving. *Food and bioproducts processing* 87, 17-22.