

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



USO DE TÉCNICAS DE IMAGEN EN EL CONTROL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE BOLLERÍA

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO: D. JAIME FERNÁNDEZ DE LA CÁMARA SOTOS

TUTOR: PROF. D. RAÚL GRAU MELÓ

DIRECTOR EXPERIMENTAL: D. SAMUEL VERDÚ AMAT

Curso Académico: 2014/2015

VALENCIA, julio de 2015

USO DE TÉCNICAS DE IMAGEN EN EL CONTROL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE BOLLERÍA

En el presente trabajo se ha estudiado la aplicación de técnicas de imagen en el control del proceso de elaboración de productos de bollería, en concreto, de bizcochos. Se utilizaron harinas pretratadas con el objetivo de detectar y discriminar las diferencias entre estas. Por un lado se estudió el efecto de la humedad a distintos niveles, 20%, 25% y 30%. Paralelamente se estudió la diferencia generada por un pretratamiento térmico a 100°C durante 10 minutos frente a un proceso de congelación a -18°C durante 24 horas. Durante el horneado de los bizcochos se realizó el control del proceso con técnicas de imagen 3D, en la que un láser proyectado sobre la base del horno junto a una cámara situada en el eje vertical del horno captan el crecimiento de la masa a lo largo del horneado del bizcocho, obteniendo valores de aumento de altura y área del mismo. Se realizaron también controles en la pérdida de peso durante el horneado y análisis texturales, de los que se extrajeron las características relacionadas con la textura como son dureza, elasticidad y resiliencia entre otros. Por último se ha estudiado el número de burbujas formadas en la masa durante el horneado para cada tipo de harina así como su área mediante una técnica de segmentación de imagen 2D. Tras el estudio estadístico realizado de todos los análisis se detectó una menor pérdida de peso y mejores características texturales sobre los bizcochos realizados con harinas pretratadas mediante el proceso de congelación, no observándose diferencias significativas en los crecimientos de las masas batidas durante el horneado.

Palabras clave: masas batidas, bizcocho, técnicas de imagen, humedad, tratamiento térmico y congelación.

En el present treball s'ha estudiat l'aplicació de tècniques d'imatge en el control del procés d'elaboració de productes de brioixeria, en concret, de bescuits. Es van utilitzar farines pretractades amb l'objectiu de detectar i discriminar les diferències entre aquestes. D'una banda es va estudiar l'efecte de la humitat a diferents nivells, 20%, 25% i 30%. Paral·lelament es va estudiar la diferència generada per un pretractament tèrmic a 100°C durant 10 minuts enfront d'un procés de congelació a -18°C durant 24 hores. Durant l'enfornat dels bescuits es va realitzar el control del procés amb tècniques d'imatge 3D, en la qual un làser projectat sobre la base del forn al costat d'una càmera situada en l'eix vertical del forn capten el creixement de la massa al llarg del enfornat del bescuit, obtenint valors d'augment d'altura i àrea del mateix. Es van realitzar també controls en la pèrdua de pes durant el enfornat i anàlisi texturals, dels quals es van extraure les característiques relacionades amb la textura com són duresa, elasticitat i resiliència entre uns altres. Finalment s'ha estudiat el nombre de bombolles formades en la massa durant el enfornat per a cada tipus de farina així com la seua àrea mitjançant una tècnica de segmentació d'imatge 2D.

Després de l'estudi estadístic realitzat de totes les anàlisis es va detectar una menor pèrdua de pes i millors característiques texturals sobre els bescuits realitzats amb farines pretractades mitjançant el procés de congelació, no observant-se diferències significatives en els creixements de les masses batudes durant l'enfornat.

Paraules clau: masses batudes, bescuit, tècniques d'imatge, humitat, tractament tèrmic i congelació.

In this project has been studied the application of image analysis techniques about the control of the elaboration process of pastry products, in particular, to the sponge cake. Pretreatment flours were used for the purpose of detecting and discriminating the differences between these.

On the other hand you can study the effect of moisture in different levels, 20 %, 25% and 30 %. In addition, it has been studied the difference generated by a thermal pretreatment to 100 °C for 10 minutes in front of a process to freezing to -18 °C for 24 hours. During the cake baking, it was the control of the process with 3D image techniques, which a laser projected in the base of the furnace along with a camera located on the vertical axis of the oven captures the growth to the mass throughout the baking of the cake, obtaining values of increase height and area of the same. Controls were also carried out in the weight loss during baking and textural analysis, of which it is extracted from the characteristics related to the texture as are hardness, elasticity and resilience among others. Finally, it has been studied the number of bubbles formed in the ground during baking for each type of flour as well as your area using a 2D image segmentation technique. Therefore the statistical study conducted of all the analyzes detected a lower weight loss and best textural characteristics on the cakes to they were made with freezing pretreatment flour process than which were made with heat treatment, no significant differences in the growth of the whipped dough during baking for freeze and heat flour.

Key Words: whipped dough, sponge cake, imaging techniques, humidity, heat treatment and freezing.

Titulació: Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Curso académico: 2014/2015

Alumno: D. Jaime Fernández de la Cámara Sotos

Tutor: Prof. D. Raúl Grau Meló

Director experimental: D. Samuel Verdú Amat

Valencia, Julio de 2015

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	3
3.1 MATERIAS PRIMAS	4
3.2 PRETRATAMIENTO DE LAS HARINAS	4
3.3 FORMULACIÓN Y PROCESADO DEL BIZCOCHO	4
4. ANÁLISIS REALIZADOS	6
4.1 CRECIMIENTO DE LA MASA BATIDA.....	6
4.2 PÉRDIDA DE PESO	7
4.3 ANÁLISIS TEXTURAL.....	7
4.4 ANÁLISIS DE BIZCOCHOS POR SEGMENTACIÓN DE IMAGEN 2D.....	7
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	8
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS DATOS.....	8
5.1 CRECIMIENTO DE LA MASA BATIDA.....	8
5.2 PÉRDIDA DE PESO	12
5.3 ANÁLISIS TEXTURAL.....	13
5.4 ANÁLISIS DE BIZCOCHOS POR SEGMENTACIÓN DE IMAGEN 2D.....	17
6. CONCLUSIÓN.....	20
7. BIBLIOGRAFÍA.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bizcocho y pruebas realizadas en el estudio. A: pérdida de peso y crecimiento de la masa batida, B: Análisis textural y análisis de bizcochos por segmentación de imagen 2D..... 3
- Figura 2. Dispositivo de análisis de imagen tridimensional basado en la luz estructurada (Ivorra et al. 2013)..... 6
- Figura 3. Representación de la segmentación de imagen por el método del umbral de banda. Imagen de la izquierda: áreas oscuras representan burbujas y áreas luminosas la estructura. Imagen de la derecha: imagen segmentada donde pixeles negros representan burbujas y blancos la estructura..... 8
- Figura 4. Secuencia de capturas durante el horneado. Tiempos: 0, 500 y 1500 (s)..... 9
- Figura 5. Evolución del área de los bizcochos elaborados con harinas control durante el horneado..... 10
- Figura 6. Evolución del área de los bizcochos elaborados con harinas tratadas mediante frío en congelación..... 11
- Figura 7. Evolución del área de los bizcochos elaborados con harinas tratadas mediante calor..... 11
- Figura 8. Porcentajes globales de pérdida de peso durante el procesado..... 12
- Figura 9. Resultados del parámetro de textura elasticidad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 13
- Figura 10. Resultados del parámetro de textura dureza. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 14
- Figura 11. Resultados del parámetro de textura gomosidad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 15
- Figura 12. Resultados del parámetro de textura cohesividad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 15
- Figura 13. Resultados del parámetro de textura masticabilidad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 16
- Figura 14. Resultados del parámetro de textura resiliencia. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 17
- Figura 15. Representación gráfica del área de burbujas formadas en la masa del bizcocho durante el horneado, para las distintas harinas pretratadas. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 18
- Figura 16. Representación gráfica del número de burbujas formadas en la masa del bizcocho durante el horneado, para las distintas harinas pretratadas. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar..... 18
- Figura 17. Representación gráfica de la relación entre el número de burbujas y sus áreas..... 19

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Formulación para la masa batida (%peso total)..... 5
- Tabla 2. Valores de correlación R2 y significancia de número y área de burbujas frente al resto de características analizadas..... 20

1. INTRODUCCIÓN

Datan del año 10000 a. C. las primeras evidencias del descubrimiento del trigo en la región del Próximo Oriente, lo que significó una revolución en la organización de la sociedad, convirtiendo al hombre de nómada a sedentario. La producción del trigo hizo posible que la caza y la pesca se desplazasen a un segundo plano, facilitando el asentamiento de poblaciones y la articulación de la sociedad. No fue hasta el año 2000-3000 a. C. cuando los egipcios descubrieron la fermentación y comenzaron a producir lo que hoy conocemos como pan. El descubrimiento de nuevas técnicas de molienda y procesado provocado por el crecimiento demográfico y la formación de ciudades entre los siglos 150 a. C. y la actualidad facilitaron el desarrollo de nuevos tipos de panes y dulces. En la actualidad el trigo no ha disminuido su importancia en la sociedad, sino todo lo contrario, la producción y consumo de cereales y en especial de trigo continúa aumentando gracias al desarrollo de nuevas metodologías y técnicas de cultivo. Según los datos de la FAO (Food and Agriculture Organization), se produjeron 653.8 millones de toneladas de trigo en todo el mundo durante el año 2010/2011. Durante el año 2013/2014 se estimó una producción de 716.6 millones de toneladas y para el próximo año está prevista una cantidad de 728.2 millones de toneladas según el pronóstico realizado por la FAO.

La producción de trigo es una de las más importantes en España, como la vid, aceitunas o cítricos; alcanzando valores de 6019.1 miles de toneladas en año 2003. La tasa de producción de trigo registrada en 2013 fue de 7744.9 miles de toneladas, de las cuales 6811.7 miles de toneladas fueron de trigo semiduro y blando, utilizado para la elaboración de productos de pastelería y bollería. De hecho este crecimiento de producción se ve acompañado por un crecimiento del consumo de productos de bollería y pastelería. Según los datos del Panel de Consumo del 2013 por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), los hogares españoles destinan el 4.3% del presupuesto para alimentación a la compra de dulces envasados, lo que supone un consumo de 13.4 kilos por persona y año. En concreto, el consumo de bollería y pastelería envasada.

Se entiende por productos de bollería aquellos productos alimenticios elaborados con masa de harinas fermentadas, sometidos a tratamiento térmico, pudiendo contener otros alimentos, complementos panarios y aditivos autorizados. Existen dos tipos de bollería: bollería ordinaria, sin relleno ni guarnición y bollería rellena, antes o después del tratamiento térmico. Por productos de pastelería encontramos aquellos productos alimenticios elaborados básicamente con masa de harina, fermentada o no, rellena o no, cuyos ingredientes principales son harinas, aceites o grasas, agua, con o sin aditivos autorizados y sometidos a tratamiento térmico. Los productos de pastelería se clasifican según los distintos tipos de masas: masas de hojaldre, masas azucaradas, masas escaldadas, masas de repostería y masas batidas. Ésta última es aquella masa elaborada con huevos, azúcares, harinas y que ha sido sometida a un batido, resultando masas de gran volumen, tiernas y suaves.

Respecto al sector industrial de pastelería y bollería ha experimentado un crecimiento de su producción, pasando de producir 120.162 miles de kg en 2012 a 129.669 en 2013, un aumento del 7.9%, a pesar de la reducción del número de empresas dedicadas al sector molinero y productos de panadería y pastas alimenticias, 5.7% y 2.9% respectivamente. Cabe destacar que a pesar de esta disminución, el subsector de panadería y pastelería continúa siendo el sector de la industria alimentaria con mayor representatividad de empresas, alrededor del 36.2%, seguida por el subsector de bebidas con un 17.8% y el subsector de cárnicas con un 14.0%. Estos datos informan sobre la gran importancia que tiene el sector de la industria panadera y pastelera en el ámbito nacional, según los datos del Informe Económico del 2014 de la FIAB.

El hecho de ser uno de los sectores industriales más potente a nivel nacional requiere de técnicas de elaboración y producción suficientemente sofisticada como para abastecer todo el mercado y asegurar la máxima calidad del producto. Del mismo modo, son necesarias políticas empresariales concienciadas con la seguridad e higiene de los alimentos que garanticen la inocuidad de sus productos. Para lograr dichos objetivos es prioritaria la aplicación de técnicas de control de la calidad a lo largo de todo el proceso de elaboración, desde la recepción de materias primas hasta la misma entrega del producto. Está siendo actualmente una tendencia en el ámbito industrial la implantación de normas de calidad que garanticen y certifiquen garantías de calidad en los productos, así como en los procesos de elaboración, administración y políticas de las empresas, y lo que en el siglo XXI será uno de los principales objetivos a conseguir; sostenibilidad medioambiental.

No se puede obviar tampoco la situación económica por la que se atraviesa, que incluso incentiva más si cabe todavía la implantación de distintivos de calidad con el objetivo de desmarcarse en el mercado laboral. La competitividad en el mercado actual ha provocado la preocupación por garantizarse un hueco en la industria alimentaria mediante la certificación. La crisis económica ha favorecido la optimización de los presupuestos destinados para garantizar el control de calidad y seguridad e higiene de los productos, y también ha favorecido el estudio de tratamientos y técnicas que optimicen los resultados obtenidos en el producto final. Es objeto de estudio de los departamentos de investigación en el sector industrial, la reducción del coste unitario de producción garantizando la máxima calidad. Por ello, es muy importante el conocimiento sobre el comportamiento en la formación de masas y los efectos de los aditivos alimentarios y/o componentes sustitutivos añadidos. La medida de las características texturales de las masas permite comparar valores con el objetivo de facilitar la estandarización de cualidades mesurables.

Por otro lado, el desarrollo de técnicas de análisis de imagen ha supuesto un gran avance en los controles de calidad debido a que no son destructivos, pudiendo evaluar el producto sin tener pérdidas en producción. Otra de las razones de su rápida incorporación es la cantidad de información que aporta sobre el análisis del producto, facilitando su control mediante la monitorización y automatización de dicho proceso.

Con las condiciones ya mencionadas en el mercado actual, se pretende estudiar en el presente trabajo técnicas y procedimientos que mejoren y/o optimicen los procesos de elaboración y control de calidad en el procesado de productos de bollería.

2. OBJETIVOS

Basándose en lo expuesto, el presente Trabajo Final de Grado pretende:

- ❖ Evaluar la técnica de imagen 3D, basada en el principio de luz estructurada, para la monitorización en continuo del proceso de horneado de bizcochos.
- ❖ Analizar el comportamiento de harinas de trigo pretratadas térmicamente y con diferentes niveles de humedad, sobre los bizcochos elaborados con las mismas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El proceso y fases del estudio que se han seguido en el presente trabajo son las indicadas en la siguiente figura:

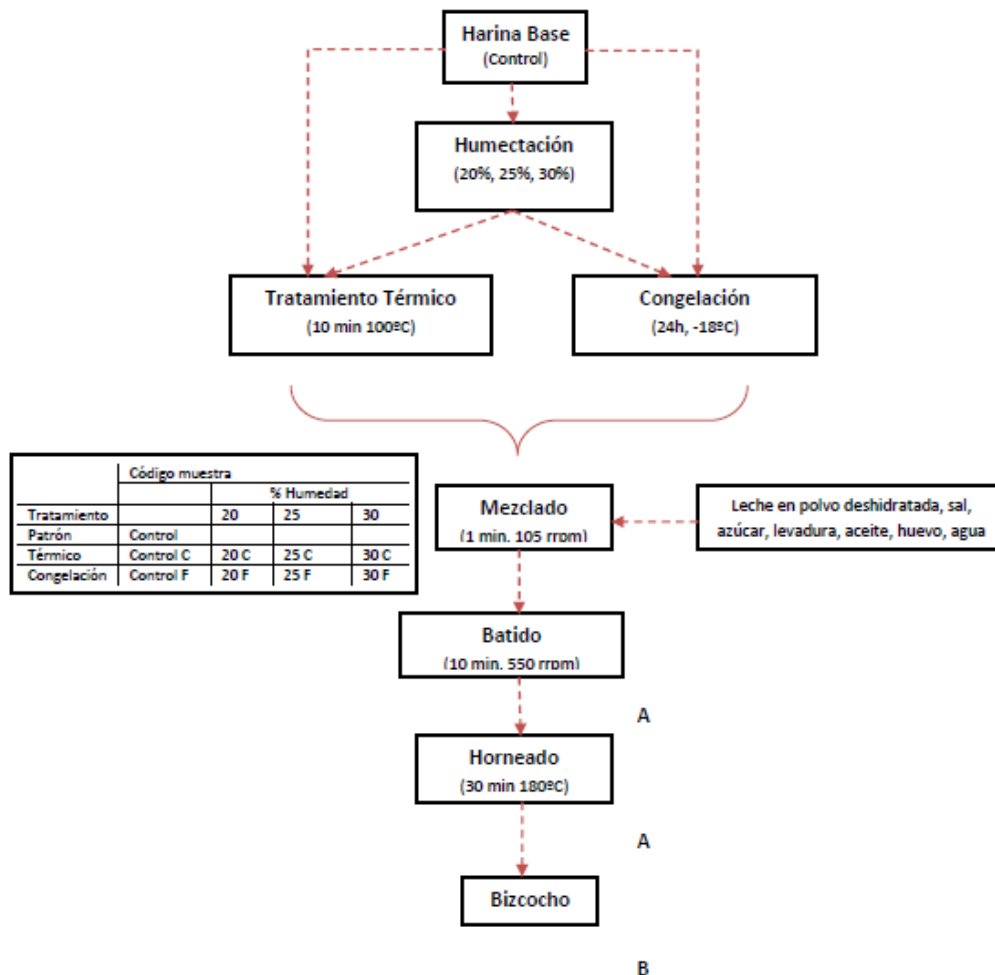


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bizcocho y pruebas realizadas en el estudio. A: pérdida de peso y crecimiento de la masa batida, B: Análisis textural y análisis de bizcochos por segmentación de imagen 2D.

3.1 MATERIAS PRIMAS

Los ingredientes utilizados en la elaboración de las muestras fueron principalmente harina de trigo destinada para su uso en productos de pastelería, (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)= \pm 140 y relación tenacidad/extensibilidad (P/L)= \pm 0,30. 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 Guillén S.L.), sal fina seca (Consum) y agua mineral.

3.2 PRETRATAMIENTO DE LAS HARINAS

En primer lugar se realizó la humectación de las harinas mediante la incorporación de agua con una pipeta pasteur a la harina y agitación del equipo Thermomix TM31 de la empresa Vorwerk. Se obtuvieron tres tipos de muestras a diferentes humedades finales relativas (20%, 25% y 30%) previamente calculadas.

Posteriormente se realizó un tratamiento térmico a una parte de las muestras humectadas (20C, 25 C y 30 C), sometiendo durante 10 minutos a 100°C. Para ello se dispuso de una lámina de papel de aluminio sobre la bandeja del horno (Fagor modelo 2CF-3V), en la que se deposita y reparte uniformemente por toda la superficie una cantidad estimada de 500 gramos de la harina y para aumentar la superficie de contacto se realizan surcos sobre la harina, facilitando así la transferencia de calor. El resto de las muestras se sometieron a un tratamiento de congelación a -18°C en un congelador durante 24 horas (20 F, 25 F y 30 F). Por otro lado se realizaron tratamiento térmico y congelación a una fracción de muestras de harina control, es decir, sin haber sufrido una humectación previa (Control C y Control F).

Todas las muestras se sometieron a vacío para garantizar la conservación y estabilidad de la harina tras el tratamiento térmico en el caso de las muestras que fueron sometidas a este y tras la humectación las muestras destinadas a congelación.

3.3 FORMULACIÓN Y PROCESADO DEL BIZCOCHO

La formulación del bizcocho proviene del trabajo de Diego Igarza Martínez (2014), quien la extrajo del estudio de Meza y col. (2012). La formulación del bizcocho es la siguiente:

Tabla 1. Composición porcentual en peso de la masa batida.

Ingrediente	% Peso
Harina	27,12
Leche en polvo deshidratada	3,93
Sal	0,6
Levadura	1,01
Azúcar	36,09
Agua	14,52
Huevos	13,91
Aceite	2,82

El procesado de los bizcochos comienza con la mezcla de los ingredientes previamente pesados. Por un lado se pesan los ingredientes sólidos (azúcar, sal, leche en polvo, levadura y harina) y por otro lado los ingredientes líquidos (aceite, agua y huevo).

En la elaboración de los bizcochos con harinas pretratadas se ha tenido en cuenta el contenido en humedad de cada harina, ya que en la formulación final puede resultar una diferencia total de agua significativa en función de la harina con la que estemos produciendo, de forma que se ha recalculado cada formulación, en función de la harina utilizada.

Una vez listos todos los ingredientes se vierten en una Thermomix TM31 de la empresa Vorwerk, en primer lugar los sólidos y posteriormente los líquidos. A continuación se mezclan los ingredientes en la posición de velocidad 1 del equipo (105 rrpm) durante 1 minuto. Tras el mezclado de los ingredientes se aumenta la velocidad del equipo hasta la posición 3 (550 rrpm) durante 10 minutos, para someter la masa a mezclado y batido. Finalizado el proceso se vierte la masa en un molde para realizar el horneado del bizcocho.

El molde y cantidad de bizcocho serán distintos según las características que se deseen identificar. Para evaluar el bizcocho con la técnica de imagen 3D será necesaria una cantidad de 200 gramos de masa batida para formar un bizcocho sobre un molde metálico de marca Tescoma de dimensiones 11x26x7 cm. En cambio para realizar los análisis de textura y formación de burbujas se utilizan 80 gramos de masa batida sobre moldes de silicona de la compañía La Riqueza S.L. con dimensiones 10x5x3.3 cm. Los moldes metálicos se recubrieron con una lámina de papel de aluminio para evitar la rotura del bizcocho en el desmoldado y en los moldes de silicona se recubre la superficie con una capa de aceite de girasol. Las masas batidas preparadas en sus moldes son horneadas a 175°C durante un tiempo estimado de 30 minutos en un horno eléctrico modelo Sfnattuto Maxi EO32352 de la marca De Longhi.

4. ANÁLISIS REALIZADOS

4.1 CRECIMIENTO DE LA MASA BATIDA

Durante la cocción (horneado) de los bizcochos se realizaron medidas de altura y área del bizcocho utilizando la técnica de imagen 3D. Estas medidas se realizaron en todas las muestras en el centro del bizcocho, donde supuestamente el aumento es mayor.

La técnica de análisis por imagen 3D está basada en luz estructurada (Ivorra et al. 2013). El sistema está compuesto por un láser lineal rojo (Lasiris SNF 410, Coherent Inc. Santa Clara, California (USA)) colocado en un extremo del horno con un ángulo determinado sobre el eje central del horno y una cámara de captura en blanco y negro con índice de protección de 67 (IP67) y resolución de 640x480 píxeles, capaz de trabajar en red (In-Sight 5100, Cognex, Boston, Massachusetts (USA)) colocada sobre el eje vertical de la bandeja del horno sobre la que se colocará la muestra. El sistema de análisis de imagen 3D está basado en la captura de imágenes del láser proyectado sobre la masa. Se produce un desplazamiento del láser provocado por el crecimiento de la masa, el cual queda registrado cada 5 segundos a lo largo del periodo de cocción (30 minutos).

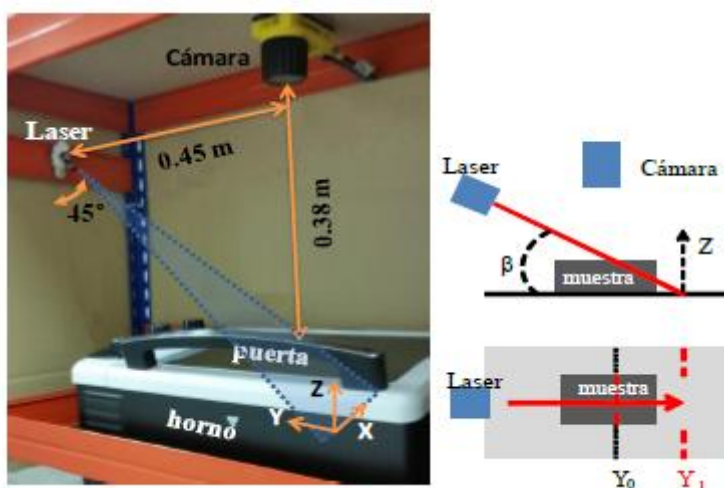


Figura 2. Dispositivo de análisis de imagen tridimensional basado en la luz estructurada (Ivorra et al. 2013).

Conociendo el ángulo de posicionamiento del láser y el desplazamiento del mismo producido por el crecimiento de la masa en función del tiempo se transformaron a datos numéricos, los cuales permitieron hallar el área y altura alcanzada por los bizcochos, así como el tiempo que tardaron en alcanzarlas.

4.2 PÉRDIDA DE PESO

Tras el mezclado y batido se pesó cada masa introducida en los moldes antes del proceso de horneado. Después del horneado se realizó una segunda pesada para hallar el peso perdido. Esta segunda medida se realizó tras 30 minutos de atemperamiento.

4.3 ANÁLISIS TEXTURAL

Realizamos las medidas de textura sobre bizcochos elaborados con los moldes de silicona. Tras la cocción y el atemperamiento se realiza un Análisis del Perfil de Textura (TPA), realizado con un texturómetro Stable Micro Systems, Mod. Texture Analyzer-XR2, Godalming, Surrey UK. Para realizar el análisis primero se cortaron los bizcochos, formando cilindros de 3 centímetros de altura. El objetivo de este proceso es estandarizar todas las muestras, de forma que se realice el análisis sobre muestras homogéneas. En el análisis, las muestras se comprimieron mediante un pistón de compresión (P/75) de 75 mm de diámetro con una velocidad de ensayo de 10.00 mm/s. Con el estudio de los datos obtenidos se determinó la masticabilidad, resiliencia, dureza, elasticidad, cohesividad y gomosidad de las muestras.

4.4 ANÁLISIS DE BIZCOCHOS POR SEGMENTACIÓN DE IMAGEN 2D

Partiendo de los bizcochos realizados con los moldes de silicona utilizados para el Análisis de Perfil de Textura, seccionamos los bizcochos en fragmentos de 1cm, realizando entre 3 y 4 cortes transversales. Cada sección cortada es escaneada por un escáner CanoScan LiDE 50, sobre fondo negro para mejorar la obtención de imágenes.

Para realizar este análisis se utilizó un método de umbral de bandas. En una imagen de baja resolución (8 bits) se distinguen tan solo dos colores, blanco y negro, entendiendo como espacios blancos estructura de la masa y como espacios negros las burbujas de aire. A lo largo del histograma de valores de tono de gris correspondiente a cada píxel, se definen los umbrales con un elevado grado de confianza con el objetivo de distinguir las partes estructurales de las burbujas (Calderón-Domínguez y col., 2008; Gonzales-Barrón y Butler, 2006; Riva y Liviero, 2000; Sapirstein, 1999; Sapirstein y col., 1994; Zayas, 1993). Mediante la medida y suma del espacio de las áreas de los espacios visibles se obtiene el número y tamaño de burbujas en la sección del bizcocho. Esta técnica de análisis está basada en trabajos anteriores (Benlloch y col, 1995; Benlloch y col., 1996^a; Benlloch y col., 1996b).

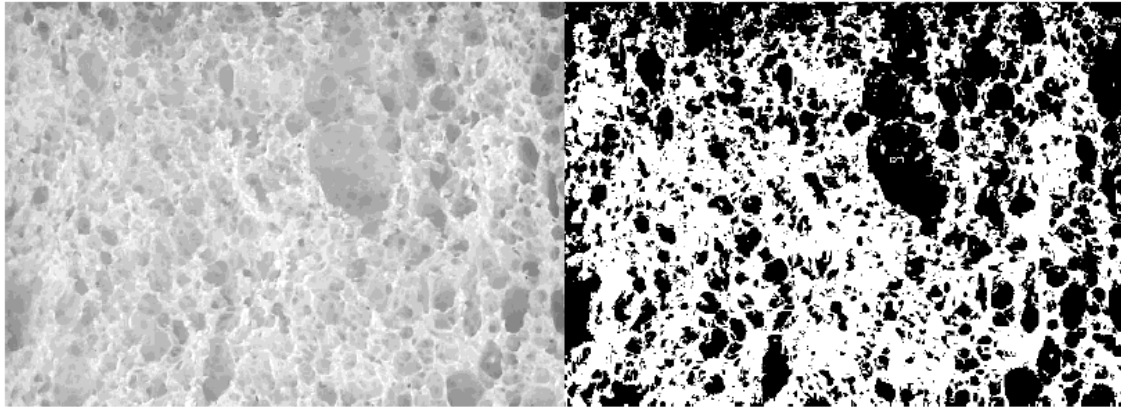


Figura 3. Representación de la segmentación de imagen por el método del umbral de banda. Imagen de la izquierda: áreas oscuras representan burbujas y áreas luminosas la estructura. Imagen de la derecha: imagen segmentada donde pixeles negros representan burbujas y blancos la estructura

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos de los diferentes ensayos, son estudiados con un análisis estadístico de la varianza (ANOVA) con un $p < 0.005$, realizado con el software Statgraphics Centurion XVI.I. El objetivo del estudio es hallar diferencias significativas entre las muestras. Además se ha estudiado la correlación entre las distintas variables con el fin de evaluar la posible relación entre ellas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS DATOS

5.1 CRECIMIENTO DE LA MASA BATIDA

En primer lugar se ha estudiado el crecimiento de la masa batida durante el horneado gracias al sistema de imagen 3D instalado en el horno. Como se ha explicado en el apartado 4.1, del apartado de materiales y métodos, y se observa en la Figura 4, donde se muestra a modo de ejemplo 3 imágenes de captura de la cámara a tres tiempos diferentes (0, 500 y 1500 s), se puede visualizar la subida de la masa durante la cocción, la cual posteriormente se convierte en datos numéricos evaluables.

Lo que se observa en estas tres imágenes es la proyección del láser sobre la superficie del bizcocho, de forma que a medida que éste aumenta su altura y área en función del tiempo, el láser muestra la silueta de la superficie del bizcocho, pudiéndose apreciar tanto el aumento de área, como el de altura y superficie. En la primera imagen, correspondiente al tiempo 0, se puede apreciar cómo el láser está dispuesto horizontalmente sobre la superficie de la base del horno, lo que indica que el bizcocho no ha evolucionado todavía. En la segunda captura correspondiente a tiempo 500 se puede apreciar una ligera curvatura de la línea, por lo que se entiende que la masa ha

empezado a aumentar su área y por último, en la tercera imagen correspondiente al final del horneado se aprecia el estado final del bizcocho con su curvatura característica (Cauvain y Young, 2006).

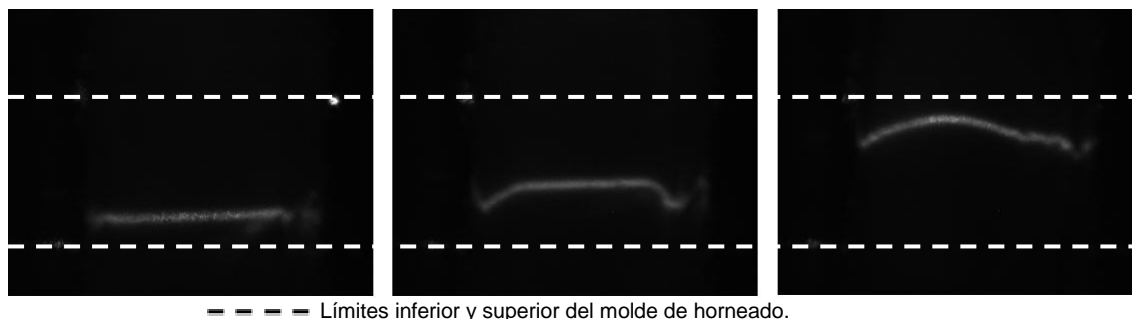


Figura 4. Secuencia de capturas durante el horneado. Tiempos: 0, 500 y 1500 (s).

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestra el crecimiento real de área en los bizcochos en función del tiempo. La curva está compuesta por tres fases características en el horneado de bizcochos. En primer lugar el bizcocho experimenta una fase de latencia, en la que la masa batida comienza a aumentar su temperatura. A continuación tiene lugar la fase exponencial de crecimiento, en la que aumenta rápidamente el área. En esta fase ocurre la formación característica de la masa en conjunto con las burbujas de CO_2 que van expandiendo con el calor. Por último ocurre un cese del aumento del área, en el que encontramos una fluctuación en el área del bizcocho, esto es debido a la liberación de los gases formados. En esta fase ocurre la cocción completa de la masa.

Como se indica en el estudio de Wilderjans et al. (2013), en Khatkar et al. (2002) y Neill et al. (2012), el crecimiento de las masas depende de diversos factores y componentes, entre ellos la gliadina, que es uno de los polisacáridos que conforman el gluten del trigo. Otro de los factores importantes en el crecimiento de las masas es el calor aportado, facilitando y permitiendo la matriz estructural gracias a la desnaturalización del gluten que produce un aumento de la viscosidad de la masa y provocando un mayor crecimiento de área y altura (Cheftel y Cheftel, 1992). Paralelamente el calor aumenta el número de puentes de disulfuro que son capaces de establecer las gliadinas, permitiendo una mayor esponjosidad de la estructura.

Por último, otro de los componentes importantes para el crecimiento de la masa es el almidón y sus polisacáridos que lo componen, amilosa y amilopectina. El almidón tiene una estructura granular, la cual bajo el sometimiento de la acción del calor se descompone, quedándose en forma gelatinosa y tiene función estructural ya que permite la retención de agua en su estructura.

El objetivo de realizar el estudio sobre harinas pretratadas térmicamente con frío y calor es conocer la respuesta de dichas harinas, por el estado de sus componentes principales, entre ellos el gluten y el almidón (Wilderjans y col., 2008). Tras realizar el estudio estadístico, como se puede observar en la figura 5, no se han encontrado diferencias significativas para los bizcochos elaborados con harinas tratadas con calor y con congelación. Sin embargo, para las harinas prehumectadas a 20%, 25% y 30%, y con pretratamiento con frío (figura 6), si bien no existieron diferencias significativas los bizcochos elaborados presentaron bizcochos con menores alturas. En el caso de las pretratadas con calor, solo las humectadas a 25% generaron bizcochos con menores alturas. Esto puede ser debido a que la humectación provoca una pregelatinización previa en el almidón de la harina, que al no desarrollarse completamente no produce un rendimiento óptimo en el formado del bizcocho.

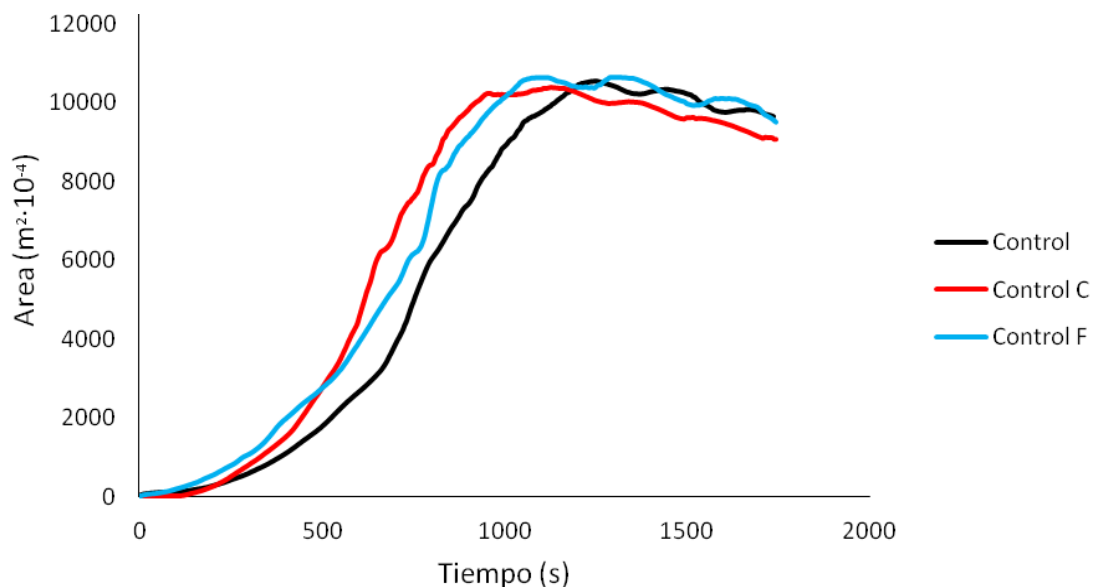


Figura 5. Evolución del área de los bizcochos elaborados con harinas control durante el horneado.

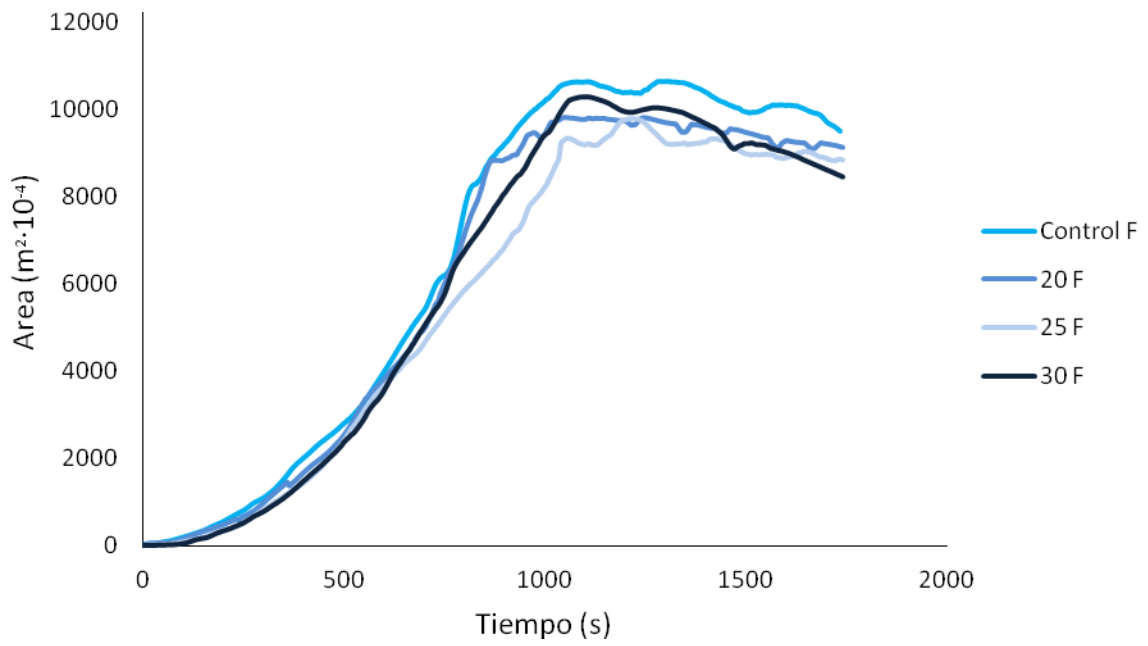


Figura 6. Evolución del área de los bizcochos elaborados con harinas tratadas mediante frío en congelación.

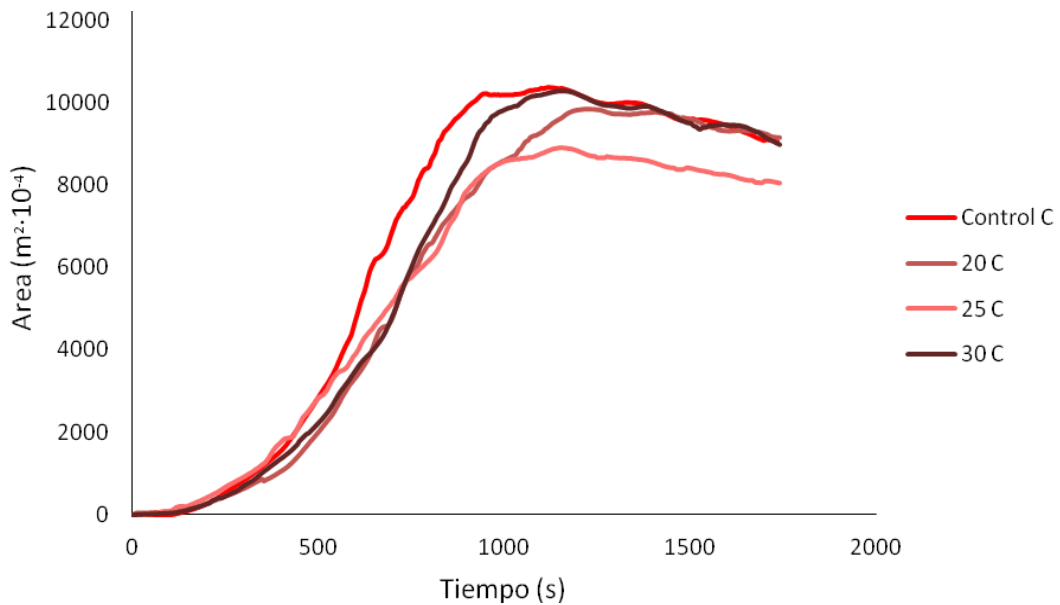


Figura 7. Evolución del área de los bizcochos elaborados con harinas tratadas mediante calor.

5.2 PÉRDIDA DE PESO

Según Gómez y col. (2012) la pérdida de peso en la elaboración de los bizcochos ocurre en el horneado, en concreto, se produce una pérdida de peso debido a la evaporación de agua generada por el calor en el horneado. A medida que aumenta el grado de gelatinización en los gránulos de almidón, aumenta la capacidad de retención de agua de los mismos, por lo que se puede reducir el porcentaje de pérdida de peso en el producto horneado (Zhang y col., 2014). En el presente trabajo se ha estudiado la pérdida de peso de los bizcochos durante el horneado con el objetivo de encontrar diferencias significativas entre las distintas harinas pretratadas. En la Figura 8 se representa el porcentaje de merma para cada tipo de harina utilizada.

En el caso de las harinas tratadas con calor, se observaron diferencias significativas para la harina patrón (sin humectación), la cual presentó una mayor pérdida de peso. En cambio las humectadas y tratadas con calor presentaron la misma pérdida de peso que el control. Por otro lado se han detectado diferencias significativas para los bizcochos realizados con harinas pretratadas mediante congelación, tanto las harinas humectadas como la harina control pretratada. En especial, en ésta última, Control F, se ha detectado un porcentaje de merma inferior al de harina Control del 1% en peso, lo que podría ser muy interesante por la reducción de pérdida de peso gracias a los efectos del frío sobre los gránulos de almidón. La justificación de la disminución de pérdida de peso en los bizcochos podría ser la rotura de los gránulos de almidón durante el proceso de congelación por la presencia de cristales de hielo formados en su estructura, disgregando los gránulos y aumentando la superficie de contacto con el agua libre, facilitando así la gelatinización y retención de agua.

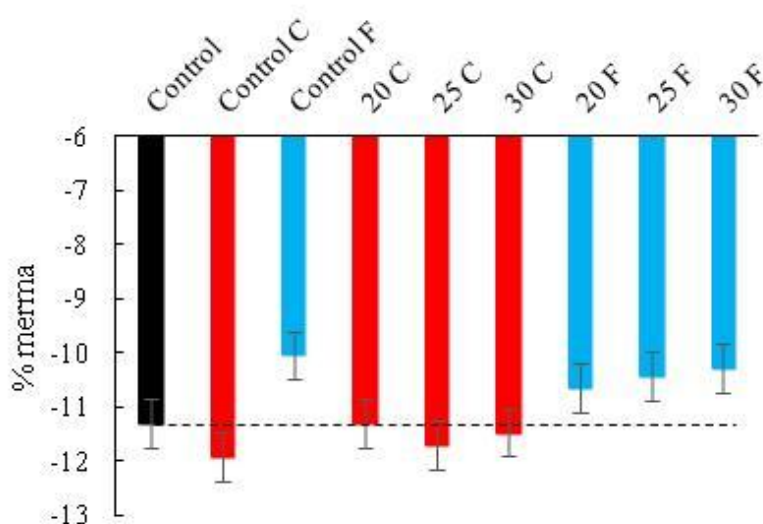


Figura 8. Porcentajes globales de pérdida de peso durante el procesado.

5.3 ANÁLISIS TEXTURAL

La pérdida de peso experimentada por los bizcochos se puede explicar gracias al estudio de Zhang et al. (1998), donde se investiga el uso de tratamientos térmicos sobre harinas con el objetivo de mejorar las características de los productos finales, en este caso de los bizcochos. Es evidente que el preprocesado de las harinas, como el tratamiento térmico que sufre la masa tras ser batida en el horneado, tiene efectos sobre la pérdida de peso del bizcocho, en especial gracias a la modificación que ejercen sobre el almidón y el gluten. Es por ello por lo que se realiza un análisis mecánico (Análisis de Perfil de Textura), para hallar otra relación entre los distintos tratamientos térmicos o humedades realizados sobre las harinas. Es posible que exista una relación entre la pérdida de peso y las características texturales de la masa como estudió Londono et al. (2015), según el cual, el aumento de la concentración de β -glucano provoca un incremento de la dureza y una reducción en la extensibilidad de la masa.

El primero de los parámetros que se halla en la Figura 9 es la elasticidad, que representa la altura que recupera el bizcocho durante el tiempo que transcurre entre los dos ciclos de compresión y es adimensional. En la gráfica se puede observar que el proceso de congelación no produce diferencias significativas con respecto al bizcocho realizado con harina control, sin embargo sí existen diferencias significativas para los bizcochos realizados con harinas pretratadas con calor. Es posible que la acción del calor sobre los componentes de la harina, tales como el gluten y la amilosa, deteriore las características óptimas. Por otro lado también se pueden observar diferencias significativas para las distintas humedades a las que se encuentran las harinas utilizadas, observándose una disminución de la elasticidad en función del aumento de la humedad, si bien este descenso no es significativo en el caso de los bizcochos elaborados con las harinas pretratadas en congelación.

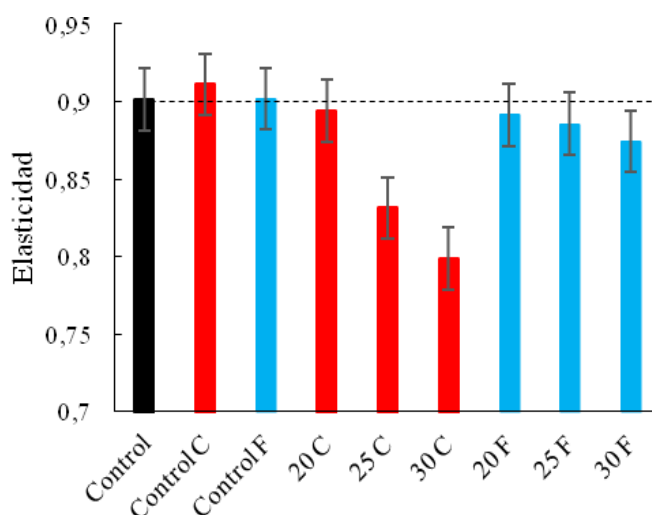


Figura 9. Resultados del parámetro de textura elasticidad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

El siguiente parámetro analizado con el TPA (Figura 10) fue la dureza, que se entiende como la máxima fuerza ejercida en el primer ciclo de deformación, expresada en N o (kg m s^{-2}). En la Figura 10 se observa cómo el efecto del pretratamiento con calor o con frío no genera cambios estadísticos con respecto a los obtenidos con la harina control. En cambio la humectación de las harinas si generaron diferencias. Para las harinas tratadas mediante congelación se observa una disminución de la dureza con el aumento progresivo de la humectación de la harina en el pretratamiento. En cambio, para los bizcochos elaborados con harinas pretratadas mediante calor se produce un aumento de la dureza proporcional a la humedad de la harina.

Cabe destacar que los bizcochos elaborados con calor y humectados presentaban características negativas a simple vista, la estructura del bizcocho no se encontraba compacta sino que se descomponía, y es posible que el tratamiento térmico, junto con la hidratación previa de los gránulos de almidón, hayan provocado la rotura de las estructuras de la amilosa y amilopectina, así como de las gluteninas y gliadinas, impidiendo la formación de la matriz estructural característica de la masa de bizcocho.

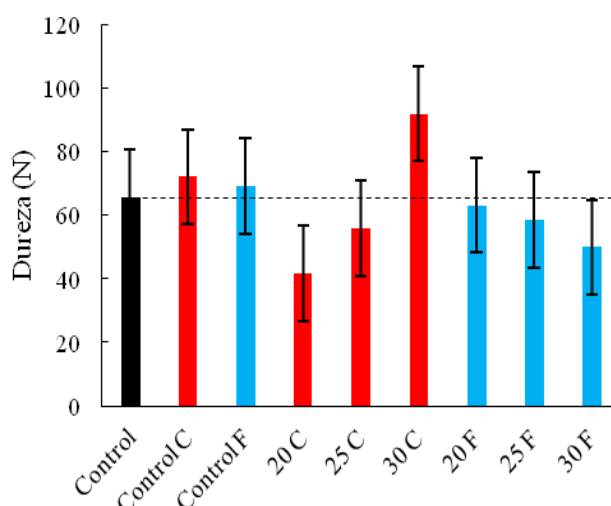


Figura 10. Resultados del parámetro de textura dureza. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

Continuando con los parámetros analizados, en la Figura 11 se muestra la gomosidad, que representa la energía necesaria para descomponer un alimento y ser ingerido, expresado en N o (kg m s^{-2}). Los datos obtenidos indican que el pretratamiento ejercido sobre las harinas no produce ningún efecto significativo sobre los bizcochos, pero en cambio la humectación a niveles 20%, 25% y 30% provoca un aumento progresivo de la energía necesaria para descomponer el bizcocho, es decir, generan una mayor gomosidad.

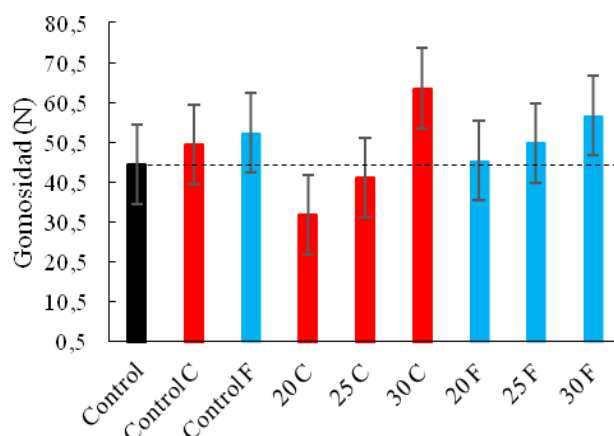


Figura 11. Resultados del parámetro de textura gomosidad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

En la figura 12 se muestran los datos de cohesividad que representa la capacidad de un alimento para soportar una segunda deformación, tras un segundo prensado. Como se puede observar no se han encontrado diferencias significativas para los bizcochos elaborados con harinas congeladas (20F, 25F y 30F) a pesar de que sí se observa una disminución de la cohesividad directamente proporcional al aumento de la humedad inducida a cada tipo de harina. Para los bizcochos elaborados con harinas pretratadas con calor (20C, 25C y 30C) se observa el mismo comportamiento, pero en este caso las diferencias son significativas.

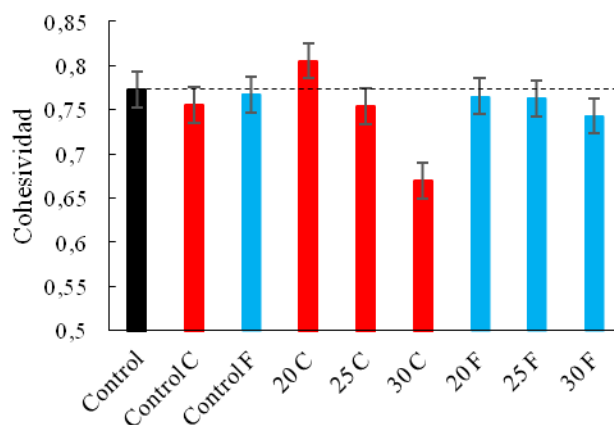


Figura 12. Resultados del parámetro de textura cohesividad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

La Figura 13 muestra los resultados obtenidos para el parámetro masticabilidad, definida como el producto de la cohesividad y la dureza, expresada en kg. Los resultados no muestran diferencias significativas para las harinas pretratadas mediante congelación y calor (patrones), sin embargo, sí se observa un incremento de la masticabilidad con el incremento del pretratamiento con humedad, siendo mayor el valor a mayor valor de humedad, si bien el incremento solo fue estadístico para las muestras pretratadas con calor.

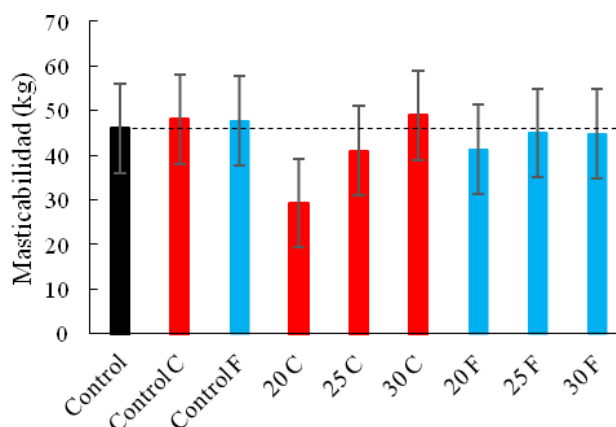


Figura 13. Resultados del parámetro de textura masticabilidad. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

El último parámetro analizado con el TPA es la resiliencia (Figura 14), que expresa la capacidad de un alimento para recuperar su forma inicial (Rizzello et al., 2014). Los resultados mostraron como el pretratamiento con frío (en el caso de los patrones) genera disminuciones en los valores de resiliencia. En cambio cuando las harinas son pretratadas inicialmente con diferentes humedades, es el pretratamiento con calor el que generó los menores valores de resiliencia, siendo estos estadísticamente inferiores con el aumento del grado de humedad de pretratamiento.

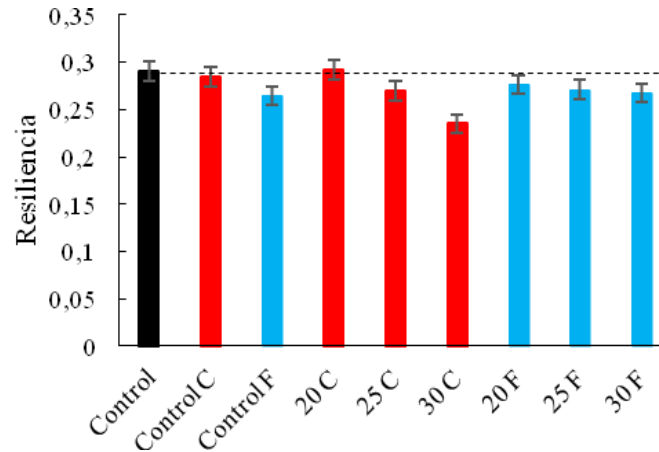


Figura 14. Resultados del parámetro de textura resiliencia. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

5.4 ANÁLISIS DE BIZCOCHOS POR SEGMENTACIÓN DE IMAGEN 2D

En este análisis se estudian dos parámetros, área de burbujas y número de burbujas (Allen y col., 2006). Se entiende por área de burbuja al espacio producido por el CO₂ expulsado durante la cocción, que queda retenido en la matriz estructural. Y por otro lado se entiende por número de burbujas la cantidad de espacios producidos e identificados por el sistema analítico en la matriz estructural.

Upadhyay et al. (2012) estudió el comportamiento de las masas durante el horneado y los efectos producidos sobre la formación de la matriz estructural y las burbujas, afirmando que en función del contenido de agua existen diferencias significativas en cuanto al número y tamaño de las burbujas formadas en la estructura. Es por ello que se realiza un análisis estructural con el objetivo de hallar diferencias entre las distintas harinas pretratadas, en concreto por su diferencia en humedad y el efecto sobre la conductividad térmica (Zúñiga et al. 2009).

En la Figura 15 se encuentra el promedio del área de burbujas, junto con su desviación estándar producida por éstas ($p\text{-value} < 0.05$). Como se observa el pretratamiento con frío (patrón) generó burbujas de mayor tamaño, si bien los cambios más significativos se observaron con el pretratamiento a diferentes humedades, que generaron áreas de burbujas más grandes cuanto mayor fue la hidratación (Upadhyay et al., 2012).

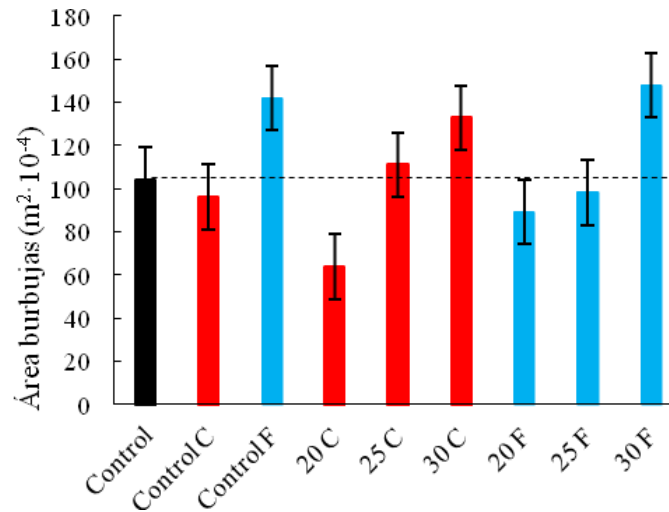


Figura 15. Representación gráfica del área de burbujas formadas en la masa del bizcocho durante el horneado, para las distintas harinas pretratadas. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

Por otro lado, el análisis estadístico realizado sobre el número de burbujas (Figura 16) mostró un comportamiento inverso al observado para las áreas, evidenciándose una disminución del número de burbujas a medida que aumenta la humedad de las harinas pretratadas. Además al igual que en el área de burbujas, el patrón tratado por frío mostró diferencias significativas sobre los otros dos patrones.

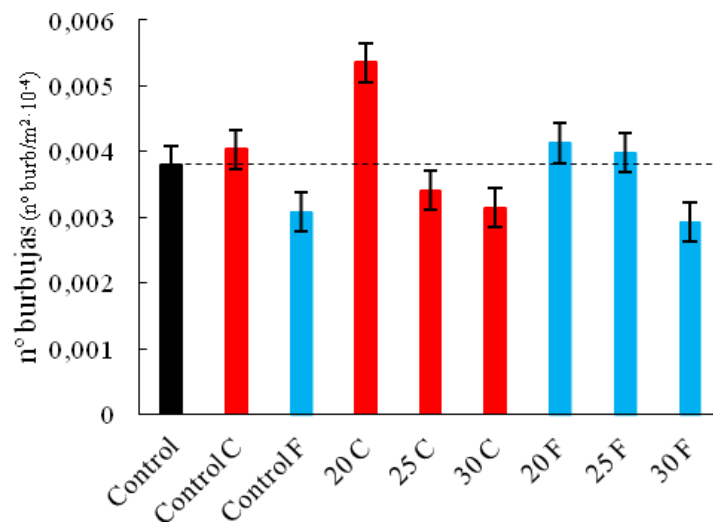


Figura 16. Representación gráfica del número de burbujas formadas en la masa del bizcocho durante el horneado, para las distintas harinas pretratadas. Las barras sobre las columnas muestran la desviación estándar.

Como consecuencia de los resultados obtenidos, en los que el aumento en la humedad de las harinas utilizadas provoca un aumento en las áreas de las burbujas y una disminución en el número de las mismas, se ha realizado una representación gráfica sobre la relación entre ambas variables, obteniéndose un ajuste a una ecuación de segundo orden con un $r^2=0.98$ (Figura 17). Como se puede apreciar, independiente del tipo de pretratamiento y del grado de humedad de las harinas, existe una relación en la que a menor número de burbujas, mayor es el área de estas, dado que la altura final (área) de subida de las masas en el horneado fue muy similar (Figuras 5, 6 y 7).

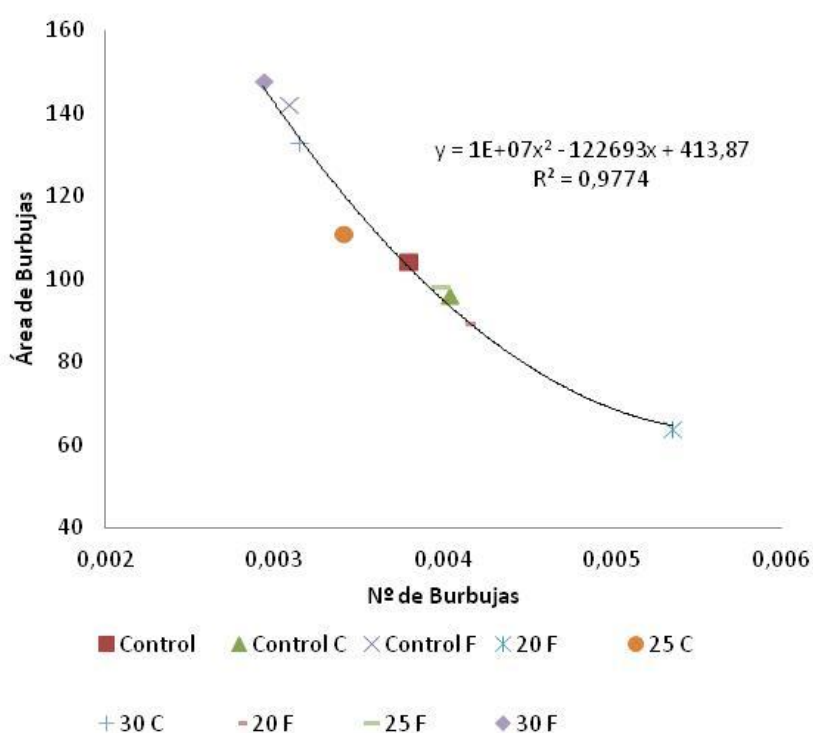


Figura 17. Representación gráfica de la relación entre el número de burbujas y el área de estas.

Finalmente con el objetivo de evaluar correlaciones entre las distintas características, se realizó una correlación de datos para número y área de burbujas en función de las variables: área, pérdida de peso y los distintos parámetros texturales (Tabla 2). Se observaron diferencias significativas para una probabilidad $p < 0.05$, con $N=4$ y $t\text{-student}=2.1318$. Para harinas tratadas con calor se obtuvo una significancia entre área de burbujas y cohesividad, disminuyendo el área de burbuja al aumentar la cohesividad. Por otro lado, para harinas tratadas mediante congelación se obtuvo significancia para la gomosidad y la resiliencia, disminuyendo el área de burbujas, o aumentando el número de burbujas, al aumentar la gomosidad. Efecto inverso se observó para la resiliencia.

Tabla 2. Correlación de datos para número y área de burbujas en función de las variables: pérdida de peso, área y parámetros texturales. Los valores coloreados indican significancia para cada N=4 y p>0.05.

	CALOR		FRIO	
	nº burbujas	área burbujas	nº burbujas	área burbujas
P. Peso	-0,457	0,363	0,050	-0,044
Área	0,375	-0,285	-0,376	0,392
Dureza	-0,666	0,809	0,214	-0,197
Elasticidad	0,654	-0,735	0,147	-0,129
Cohesividad	0,798	-0,900	0,558	-0,539
Gomosidad	-0,596	0,756	-0,908	0,908
Masticabilidad	-0,603	0,763	-0,676	0,699
Resiliencia	0,708	-0,824	0,874	-0,890

6. CONCLUSIÓN

Los estudios realizados sobre los bizcochos con el dispositivo de análisis de imagen tridimensional han mostrado como éste es capaz de caracterizar el comportamiento de la masa durante el horneado, lo que prueba la eficacia del equipo de imagen 3D como un sistema de control de calidad durante la elaboración de productos de bollería. Así el equipo puede ser apto para la instalación en las líneas de proceso del sector industrial, con el objetivo de garantizar un máximo control sobre el producto terminado.

Por otro lado, los datos obtenidos muestran que ambos factores, tanto el pretratamiento térmico como la humectación de las harinas, producen efectos significativos sobre distintas características tanto en el proceso de elaboración como en el producto terminado. Así la humectación de las harinas genera bizcochos, en los que se produce una disminución del número burbujas y un aumento del área de las mismas, lo que se entiende por una matriz estructural menos esponjosa. Al mismo tiempo el calor provoca características negativas sobre la textura del bizcocho, generando productos más duros y menos elásticos. En cambio el pretratamiento en congelación de las harinas genera cambios positivos disminuyendo la pérdida de peso de los bizcochos durante el horneado.

En general se puede concluir que las técnicas de imagen estudiadas son aptas para el control de productos de bollería como el bizcocho. Del mismo modo se ha evidenciado los efectos negativos de la humectación de las harinas y del pretratamiento mediante calor de las mismas sobre la calidad de este producto. En cambio el pretratamiento en congelación de las harinas se ha mostrado como un proceso que genera características positivas en el producto terminando.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, E.; LUCK, P.J.; DAVIS, J.P. (2006). Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocolloids*, 20: 284–292.

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

BENLLOCH, J.V.; AGUSTI, M.; SÁNCHEZ, A.; RODAS, A. (1995). Colour segmentation techniques for detecting weed patches in cereal crops. *Proc. of Fourth Workshop on Robotics in Agriculture and the Food-Industry*, 30-31.

BENLLOCH, J.V.; SÁNCHEZ, A.; AGUSTI, M.; ALBERTO, P. (1996b). Weed Detection in Cereal Fields Using Image Processing Techniques, *Precision Agriculture. Precision agricu 3*, 903-90. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

BENLLOCH, J.V.; SÁNCHEZ-SALMERÓN, A.; CHRISTENSEN, S.; WALTER, M. (1996a). Weed mapping in cereal crops using image analysis techniques. *Conference on Agricultural Engineering (AgEng '96)*, 1059-1060. Universidad Politécnica de Madrid.

CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; CHANONA-PÉREZ, J.; RAMOS-CRUZ, A.L.; LÓPEZ-LARA, A.I.; TLAPALE-VALDIVIA, A.D.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G.F. (2008). Fractal and image analysis of Mexican sweet bread bubble distribution; influence of fermentation and mixing time. In: CAMPBELL, G.M.; SCANLON, M.; PYLE, L.; NIRANJAN, K. (Eds.), *Bubbles in Food 2: Novelty, Health and Luxury* American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.

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

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. (1992). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen 1*. Traducción: Francisco López Capont. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 404 pp.

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

GÓMEZ, M.; DOYAGÜE, M.J.; DE LA HERA, E. (2012). Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 46: 142-147.

GONZALES-BARRÓN, U.; BUTLER, F. (2006). A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74(2): 268–278.

IGARZA MARTÍNEZ, D.; GRAU, R.; AMAT, S.V. (2014) *Uso de técnicas de imagen en el control del proceso de elaboración de productos de bollería*. Universitat Politècnica de València.

IVORRA, E.; AMAT, S.V.; SÁNCHEZ, A.J.; BARAT, J.M.; GRAU, R. (2014). Continuous monitoring of bread dough fermentation using a 3D vision Structured Light technique. *Journal of Food Engineering*, 130: 8–13.

KHATKAR, B.S.; FIDOT, R.J.; TATHAM, A.S.; SCHOFIELD, D. (2002). Functional Properties of Wheat Gliadins. II. Effects on Dynamic Rheological Properties of Wheat Gluten. *Journal of Cereal Science*, 35: 307-313.

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

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.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Diagnóstico y Análisis Estratégico del Sector Agroalimentario Español. (2003)

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Panel de Consumo (2013).

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.

RIVA, M. y LIVIERO, S. (2000). Image analysis approach to characterize the bread cooking kinetic. *Industrie Alimentarie*, 39(395): 593–660.

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.

SAPIRSTEIN, H. D. (1999). The imaging and measurement of bubbles in bread. In: G. M. Campbell, C. Webb, S. S. Pandiella, & K. Niranjana (Eds.), *Bubbles in food* (pp. 233–244). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.

SAPIRSTEIN, H.D.; ROLLER, R.; BUSHUK, W. (1994). Instrumental measurement of bread crumb grain by digital image analysis. *Cereal Chemistry*, 71(4): 383–391.

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

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.; BRIJS, K.; DELCOUR, J.A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30: 6-15.

ZAYAS, I. Y. (1993). Digital image texture analysis for bread crumb grain evaluation. *Cereal Foods World*, 38(10): 760–766.

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.

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.