

MONITORIZACIÓN EN CONTINUO DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN DE MASAS PANARIAS MEDIANTE LA TÉCNICA DE VISIÓN 3D BASADA EN EL MÉTODO DE LUZ ESTRUCTURADA



MASTER EN GESTIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Esteban Fuentes Pérez

Raúl Grau Melo
Jose Manuel Barat Baviera
Directores

Samuel Verdú Amat
Director experimental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

Monitorización en continuo de la etapa de fermentación de masas panarias mediante la técnica de visión 3D basada en el método de luz estructurada

Fuentes Esteban¹, Samuel Verdú¹, Eugenio Ivorra², Antonio J. Sánchez², Raúl Grau¹, Jose M. Barat¹,

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue la monitorización de la fase de fermentación de masas panarias mediante el análisis de imagen 3D basado en la Luz Estructurada. Para comprobar la capacidad de la técnica de obtener información del proceso, el dispositivo fue instalado y calibrado dentro de una cámara de condiciones controladas de humedad y temperatura, en la que se realizaron las fermentaciones de tres formulaciones de pan diferentes durante 60 minutos. La primera de ellas fue una fórmula estándar de pan, la segunda fue modificada mediante la sustitución del 5% de la harina por Lino, mientras que la tercera se sustituyó por Chía en la misma proporción.

Con la finalidad de poder interpretar la información obtenida en base a la técnica 3D se realizaron análisis de textura y de segmentación de imagen 2D para evaluar el tamaño de burbuja generado.

Los resultados han mostrado como mediante el análisis de imagen 3D por luz estructurada se puede monitorizar el proceso de fermentación de las masas panarias. Además mediante este análisis se observa como la Chía genera una mayor subida de la masa la cual se produce, según los datos obtenidos por segmentación de imagen 2D por un incremento en burbujas de pequeño tamaño.

RESUM

L'objectiu del present treball va ser la monitorització de la fase de fermentació de masses panaries per mitjà de l'anàlisi d'imatge 3D basat en la Llum Estructurada. Per a comprovar la capacitat de la tècnica d'obtenir informació del procés, el dispositiu va ser instal·lat i calibrat dins d'una cambra de condicions controlades d'humitat i temperatura, en la que es van realitzar les fermentacions de tres formulacions de pa diferents durant 60 minuts. La primera d'elles va ser una fórmula estàndard de pa, la segona va ser modificada per mitjà de la substitució del 5% de la farina per Lli, mentre que la tercera es va substituir per Chía en la mateixa proporció.

Amb la finalitat de poder interpretar la informació obtinguda basant-se en la tècnica 3D es van realitzar anàlisi de textura i de segmentació d'imatge 2D per a avaluar la grandària de la bombolla generada.

Els resultats han mostrat com per mitjà de l'anàlisi d'imatge 3D per llum estructurada es pot monitoritzar el procés de fermentació de les masses panaries. A més per mitjà d'este anàlisi d'observà com la Chía genera una major pujada de la massa la qual es produeix, segons les dades obtingudes per segmentació d'imatge 2D per un increment en bombolles de dimensió reduïda.

Abstract

The aim of this study was the monitoring of bread dough during fermentation phase, using 3D image analysis based on Structured Light. To test the capability of the technique to obtain Information from the process, the device was installed and calibrated inside of a chamber under controlled conditions of humidity and temperature, in which fermentation processes of three different bread formulations were tested during 60 minutes. The first was a standard formulation of bread, second was modified by replacing of 5% Flax meal, while the third was replaced by Chía flour in the same ratio.

In order to interpret the information obtained based on the 3D technique; texture analysis and 2D image segmentation were done to evaluate the generated bubble size.

The results have shown how by analysis of 3D image, through structured light the fermentation process of bread dough's can be monitored, indeed through this analysis is observed how Chía generates higher development of dough, which is produced according to the image segmentation in 2D by an increment of bubbles of small size.

Palabras clave: Luz estructurada, Chía, Lino, Fermentación, Pan.

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de València, España.

²Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Politécnica de València, España. Camino de Vera s/n. 46022. Valencia.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el desarrollo tecnológico y los cambios de costumbres alimenticias de los consumidores han dado como resultado la generación por parte de la industria de una gran variedad en la oferta de productos derivados del trigo tales como el pan. Se ofrece al consumidor en multitud de presentaciones y formulaciones en las cuales se han añadido nuevos ingredientes con el objetivo de mejorar diferentes aspectos nutricionales o efectos fisiológicos. Productos como la Chía que está siendo usada para la elaboración de productos para celíacos debido a que mejora la retención de gas sin aportar gluten (Antruejo et al., 2011; Langman et al., 2006; Salvador-Vega et al., 2010) o el lino que afecta directamente al comportamiento de las masas con un notable aumento de volumen en la fermentación, además de retrasar el envejecimiento del producto (Ö. Menteş., et al. 2008) son un ejemplo de ellos. Esta tendencia ha hecho necesaria una evolución por parte de la industria en cuanto al desarrollo de nuevos ingredientes y fórmulas, así como la aplicación de nuevas tecnologías a la mejora de procesos y control de calidad.

En el desarrollo de dichas mejoras es fundamental la comprensión de los fenómenos que suceden en el proceso de panificación, ya que van a determinar no sólo la calidad del producto final, sino también el correcto desarrollo diario de los procesos de fabricación. En particular, es fundamental el conocimiento del comportamiento de las materias primas en las diferentes operaciones que forman el proceso y/o frente a cambios en la formulación. Por lo tanto la información referente a los componentes de las harinas y las propiedades físicas de las masas son cruciales para la perfecta elaboración del producto.

Dentro de los campos de investigación en panificación la fase de fermentación es una de las más estudiadas. Los estudios van encaminados a profundizar en el conocimiento de esta fase para así poder obtener modelos y relaciones en base a los cuales poder optimizar y mejorar el proceso (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003). Dichos estudios se vienen desarrollando en base a diversas tecnologías (Lassoued et al., 2007). Ejemplo de ellas son la microscopía (Jekle et al, 2011, Upadhyay et al 2012, Bache y Donald, 1998), resonancia magnética (van Duynhoven et al., 2003), métodos basados en el análisis de imagen en 2D (Pour-Damanab et al, 2011) y 3D (Eron Steger and Kiriakos N. Kutulakos 2008). Gracias a la aplicación de dichas tecnologías se ha podido mejorar la comprensión de fenómenos fundamentales de la fermentación, tales como la cinética de crecimiento de burbujas y su relación con el volumen total de la masa, así como el desarrollo de esta a lo largo del tiempo. Los conocimientos obtenidos permiten avanzar a su vez dentro del campo de los nuevos ingredientes y su repercusión en cuanto al proceso se refiere. El conocimiento del efecto de determinadas sustancias sobre los factores que

gobiernan el proceso de fermentación resulta muy útil y crucial a la hora de facilitar el desarrollo de nuevos productos.

En el presente trabajo se planteó evaluar la capacidad del equipo de 3D, basado en la técnica de luz estructurada, para monitorizar la cinética de crecimiento de las masas panarias durante su fermentación y la influencia que la chía o el lino pueden ejercer sobre la misma, correlacionando los resultados obtenidos con las características del pan una vez elaborado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Formulación y elaboración de las masas panarias

Todas las masas panarias fueron elaboradas en base a la siguiente formulación:

Harina 56% (parámetros reológicos en la Tabla 1), azúcar granulado 4%, sal 1.5%, agua 35%, aceite de girasol 2%, levadura prensada 2%.

Las masas en las que se incorporó Chía o Lino, un 5% de la harina de trigo fue sustituida por estos. Tanto la Chía como el Lino fueron molidos con la finalidad de reducir el tamaño de partícula de ambos.

TABLA 1. Promedio y desviación estándar (D.S.) del contenido en proteínas, humedad y gluten, así como de los parámetros reológicos basado en el alveómetro de Chopin. (P= presión máxima (mm); L= extensibilidad (mm); W= fuerza (J^{-4}); tiempo de caída) de la harina de trigo usada en el estudio.

Parámetros	Promedio \pm D.S
P	97 \pm 2
L	104 \pm 3
W	373 \pm 12
P/L	0.93 \pm 0.03
Tiempo de caída	413 \pm 6
Humedad	14.28 \pm 0.24
Gluten (%)	31.23 \pm 0.25
Gluten seco (%)	13.51 \pm 0.11

La elaboración de la masa se realizó mediante el equipo de cocina (Thermomix® TM31, Vorwerk, Germany). Para ello los componentes líquidos (agua y aceite), azúcar y sal fueron mezclados durante 4 minutos a 37 °C. Posteriormente las levaduras disueltas en agua fueron añadidas al conjunto, mezclándose durante 30 segundos a 37 °C. Finalmente la harina fue añadida y mezclada con el resto de componentes utilizando un programa específico del equipo para amasar mediante el que se obtuvo una masa homogénea.

Las masas con lino o chía tuvieron el mismo procesamiento, incorporándose estos al mismo tiempo que la harina de trigo.

2.2. Proceso de fermentación y horneado

Este proceso fue llevado a cabo en una cámara con humedad y temperatura controladas (KBF720, Binder, Tuttlingen, Germany), en la que se instaló el dispositivo de luz estructurada (SL) para la monitorización del proceso de fermentación. Las condiciones fueron 40°C y 90% de HR. 450 gramos de la masa fueron dispuestos en una capa de 1 cm de espesor aproximadamente en un molde (8x8x30cm) el cual permaneció en el interior de la cámara durante 60 minutos (tiempo que en estudios anteriores había mostrado la máxima subida de la masa control).

Una vez que el proceso de fermentación concluyó, se colocaron los moldes con la masa fermentada en un horno precalentado a 200°C durante 45 minutos.

2.3. Monitorización de la fermentación por el método de luz estructurada (SL)

El sistema de visión 3D fue dispuesto específicamente para monitorear la etapa de fermentación. 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 dentro de la cámara de fermentación. El láser se instaló con un ángulo de inclinación β de 0.65 radianes (Figura 1) respecto a la base del molde de fermentación, mientras que la cámara de visión se posicionó verticalmente al molde. La combinación entre la resolución de la cámara y su distancia a la muestra da una resolución que denominamos Z de $1.4 \cdot 10^{-4} \text{m}$ X $2.1 \cdot 10^{-4} \text{m}$. Esta configuración fue establecida para alcanzar el rango de trabajo de 0.1 m en el eje X y de 0.08 m en el eje Z.

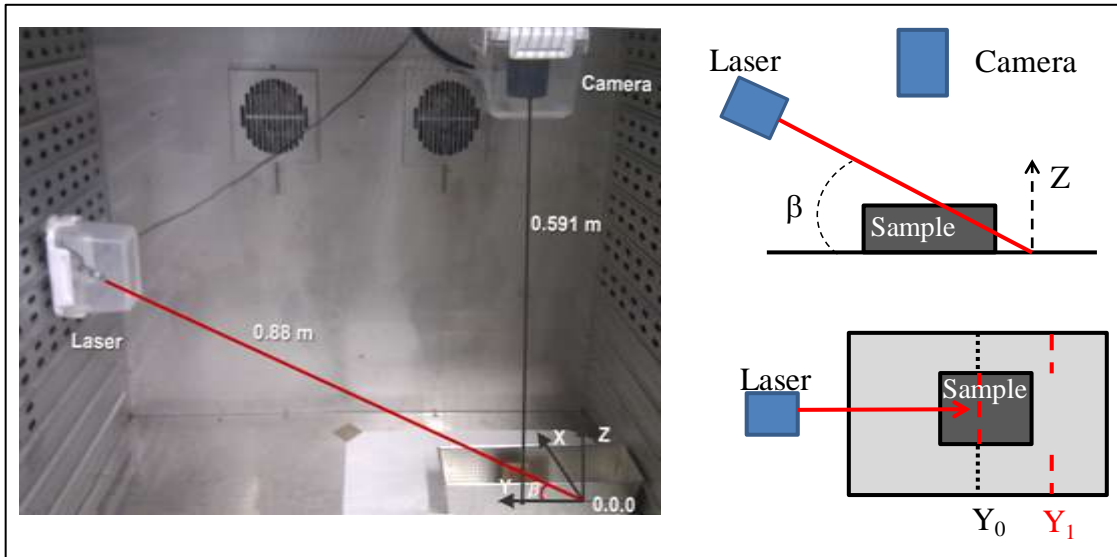


FIGURA 1. Sistema de visión 3D instalado en la cámara de fermentación y sistema de visión esquemática 3D.

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. Como se muestra en la Figura 1, la cámara y el láser se encuentran a una distancia conocida de la muestra. Del mismo modo el ángulo que forma el láser con respecto a la base donde se coloca la muestra es conocido. En base a ello, la posición del láser con respecto a un punto de referencia dentro de cada imagen (el borde izquierdo de la misma) determina la información referente al eje Z gracias a una calibración previa. Dicha calibración se realizó con cuatro cubos de madera de diferentes alturas conocidas (1, 3, 5 y 10 cm) (Figura 2), los cuales se dispusieron irrumpiendo en la trayectoria del láser. Así cada posición del láser generada por estos indica la altura de cada uno de ellos, pudiendo obtener una recta de calibrado para predecir todo el rango de equivalencia entre alturas y posiciones del láser en la imagen.

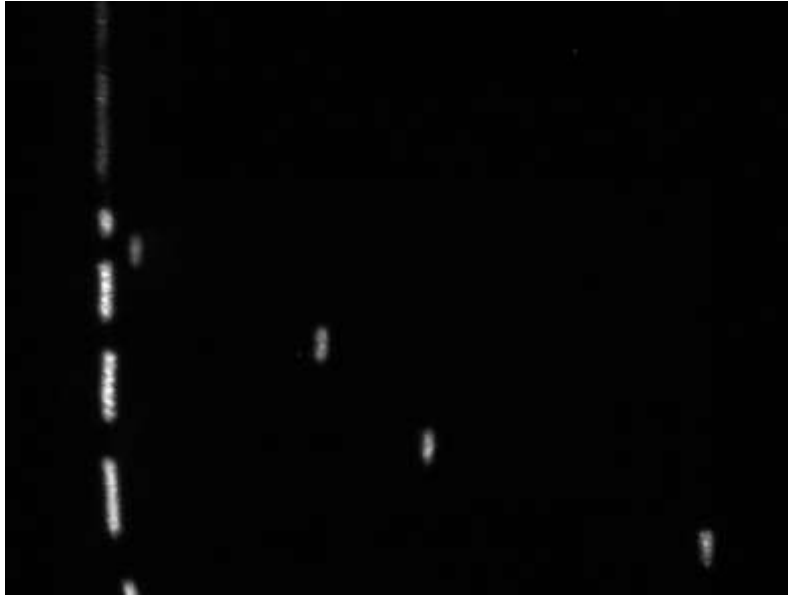


Figura 2. Calibrado del equipo de 3D basado en la luz estructurada.

En base a ello, los datos correspondientes a las fermentaciones se tomaron con un régimen de captura de la cámara de 1 frame/segundo durante los 60 minutos que duró el proceso. La línea de laser correspondiente a la interacción con la masa se analizó pixel a pixel, con el fin de obtener información de todo el perfil de esta. A partir de la suma de la información de la posición de cada pixel de la línea laser se obtuvo el área de la masa para cada segundo, con el objetivo de analizar la evolución no sólo de un punto concreto sino de toda la sección transversal de la muestra.

2.4. Caracterización del pan elaborado

Análisis de burbujas mediante la técnica 2D de segmentación de imagen.

Con la finalidad de evaluar la influencia de la fermentación sobre el producto terminado se procedió a realizar un análisis del número y tamaño de burbujas que conforman el pan. Para ello y una vez horneado este se procedió a realizar cortes transversales de aproximadamente 1 cm, obteniéndose 3 rebanadas de cada pan.

Para la evaluación de las burbujas se utilizó la técnica de inspección de imagen basada en el modelo de segmentación de imagen (Benlloch *et al.*, 1995; Benlloch *et al.*, 1996). Esta se basa en la aplicación de un algoritmo que analiza el histograma utilizando los niveles de grises extraídos a partir de la información de color del espacio RGB (Red, Green and Blue). La técnica incluye una umbrelación global seguida de un proceso de crecimiento con la

finalidad de cuantificar, mediante el número de píxeles que han conformado dicho segmento el tamaño de la burbuja. La información del espacio de color RGB se obtuvo escaneando las rebanadas de pan mediante un escáner “i-SENSYS MF9280Cdn” de Canon (Ohta-ku, Tokyo 146-8501, Japan) con una resolución de escaneo de 600 x 600 ppp ópticos (4800 ppp interpolados) (Figura 5). Cada rebanada fue escaneada por ambos lados por lo que de cada pan se obtuvieron 6 imágenes.

Análisis de Textura

La textura de las muestras fue analizada en un texturometro Stable Micro Systems, Mod. Texture Analyzer –XR2, Godalming, Surrey UK. Para ello se cortaron cubos de miga de la parte central de los panes de 4cm de lado aproximadamente, los cuales se comprimieron mediante un pistón de compresión (P/75) de 75mm de diámetro con una velocidad de ensayo de 10.00mm/s y deformación del 50%. Se realizaron 8 réplicas para cada formulación.

2.5. Tratamiento estadístico de los resultados

Se realizaron 4 fermentaciones por cada formulación. El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el programa Statgraphics, plus versión 5.1 (2000), realizando un Análisis de la Varianza (ANOVA) utilizando un test de comparación simple, con un nivel de significación del 95% ($p < 0.05$) para evaluar las diferencias entre las distintas formulaciones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Monitorización de la fermentación por el método de luz estructurada (SL)

En la Figura 3 se muestra el resultado del procesamiento de toda la información extraída a partir de las capturas de imagen durante la fermentación de una de las masas. Se trata de una representación tridimensional donde se ve la evolución de la sección transversal de la masa a lo largo del tiempo. La integración de la información de cada píxel de la línea de laser en cada captura permitió representar la evolución de la masa no solo en altura sino también en forma. Se puede apreciar como a tiempo 0 la superficie es horizontal casi por completo, y a medida que avanza el tiempo la altura va aumentando en todos los puntos, especialmente en la zona central debido a que la zonas laterales sufren fuerzas de rozamiento con la pared del envase, formando al final la curvatura clásica del pan de molde.

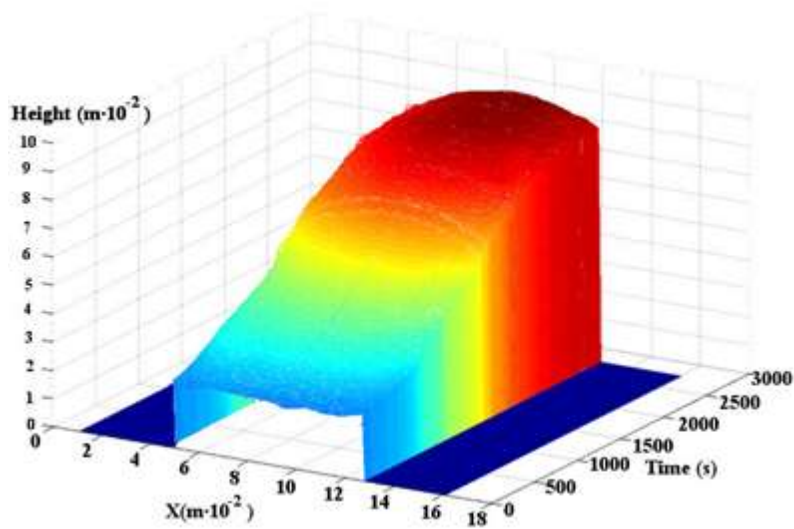


Figura 3. Modelización de los datos obtenidos durante la fermentación del pan.

Una vez obtenida la información de la evolución de las masas para todas las formulaciones, se analizaron en conjunto para determinar variaciones sobre el comportamiento control. La Figura 4 muestra el modelo de crecimiento del área (mm^2) perteneciente a la sección transversal de las masas para las tres formulaciones.

Aunque se aprecian variaciones en la evolución, el análisis estadístico determinó que no existieron cambios significativos en las áreas finales de las masas. Cabe resaltar que aunque no existan diferencias significativas, como se puede apreciar la muestra control antes de los 60 minutos comenzó a tener un comportamiento asintótico, mientras que las masas con lino y en mayor medida con chía continuaron con una pendiente positiva. Esto nos podría estar indicando que el proceso de fermentación para estas formulaciones podría ser más prolongado y obtener un mayor rendimiento del volumen antes de llegar a la fase asintótica (una mayor subida de la masa).

Estas pequeñas variaciones en el comportamiento se podrían atribuir en gran parte a las diferencias en la composición química de las formulaciones. La chía y el lino aportan fundamentalmente algunas fibras y proteínas que poseen aproximadamente 5 veces más capacidad de retención de agua que las presentes en la harina de trigo (Beltrán-Orozco et al, 2005) por lo que pueden almacenar mayor cantidad de la misma, lo que le da mayor estabilidad y elasticidad a la masa permitiendo una mayor resistencia a la expansión del gas y así un crecimiento más prolongado.

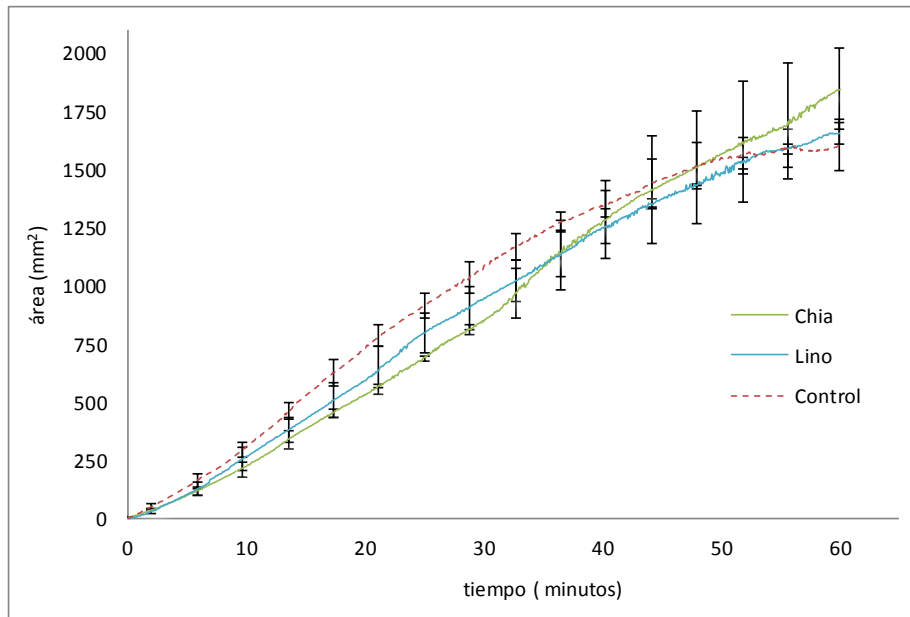


Figura 4. Grafica resultante del monitoreo de masas con visión 3D

Caracterización del pan elaborado.

Análisis de burbujas mediante la técnica 2D de segmentación de imagen.

La figura 5 muestra el resultado de una rebanada de pan escaneada y su imagen segmentada y reconstruida a fin de poderla visualizarla. Es a partir de esta información RGB procedente del escáner con la que se genera la información por agrupación que nos permite determinar el número total de área que representan las burbujas (Figura 6), el promedio teórico del área que representa una burbuja en función del área total de burbujas y el número total de estas (Figura 7), así como el número total de burbujas en función de un rango establecido y el área que representa cada rango (Figura 8).

Mediante esta información, junto con la que se obtuvo con el estudio de la textura (Tabla 2), se evaluó la obtenida mediante la monitorización de la fermentación con la técnica de imagen de luz estructurada.

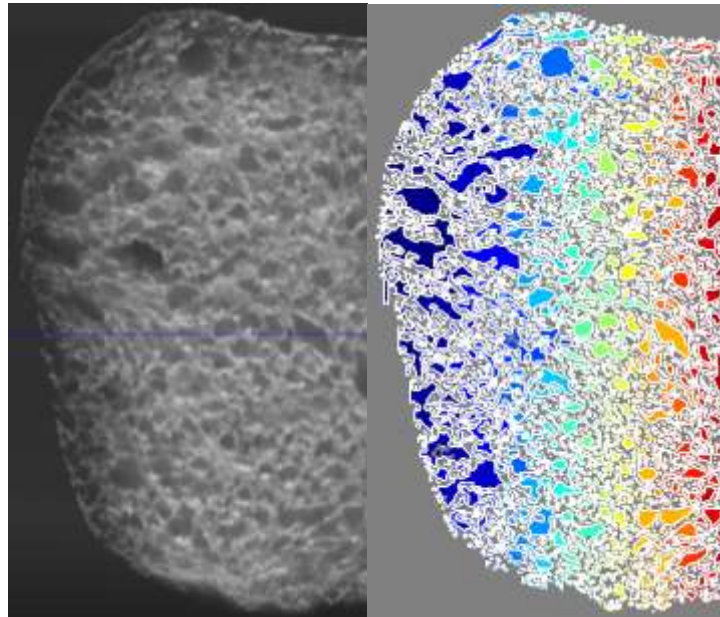


Figura 5. Demostración gráfica de cómo se determina el número y tamaño de burbujas que existen en un sección de pan.

Como se observa en la Figura 6 el área total de burbuja calculado para cada formulación fue mayor para el pan elaborado con chía, posteriormente el elaborado con lino y finalmente el control, si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P < 0.05$). Este comportamiento fue coherente con el obtenido mediante la monitorización de los panes por luz estructurada (Figura 4) en la que las alturas alcanzadas por las masas, aun no siendo estadísticamente diferentes, si presentaron el mismo orden (a mayor subida de la masa mayor presencia de aire y por tanto de burbujas).

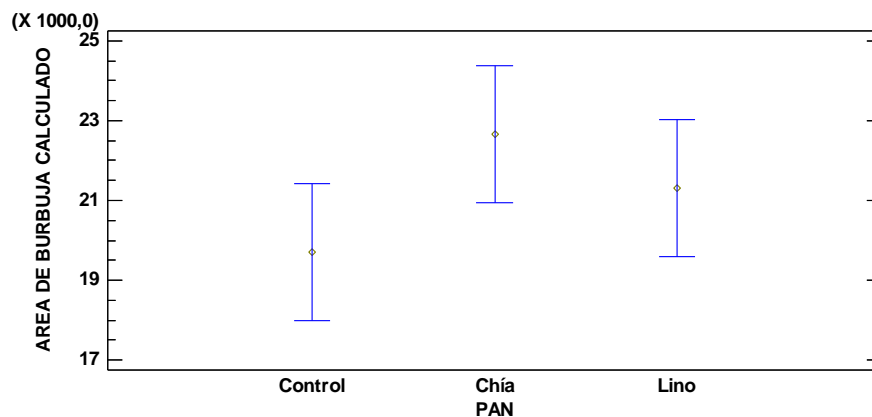


Figura 6. Diferencias entre el area de burbujas calculado según la formulación de la masa.

El estudio del tamaño promedio teórico de burbujas de cada masa evidenció diferencias significativas entre las diferentes masas (Figura 7). Como se puede observar la masa control fue la que presentó un mayor tamaño promedio teórico de burbuja, fenómeno que se podría atribuir a que las paredes de la matriz no soportan la presión del gas y acaban por romperse, uniéndose y formando burbujas de mayor tamaño. En cambio la masa con lino y sobre todo con chía, que presentaron tamaños más pequeños, los tabiques como consecuencia de la acción de las proteínas aportadas por las semillas así como los mucílagos, proporcionaron mayor resistencia permitiendo soportar una mayor presión por parte de la masa y así impedir la coalescencia de las burbujas pequeñas en grandes. Esto quedaría reflejado en la mayor pendiente de la curvas para lino y chía descritas en la monitorización a partir de los 50 segundos en el estudio de luz estructurada (Figura 4) y que mostraría como se ha comentado en dicho apartado la capacidad de estas masas para seguir creciendo a partir de estos 60 minutos de estudio.

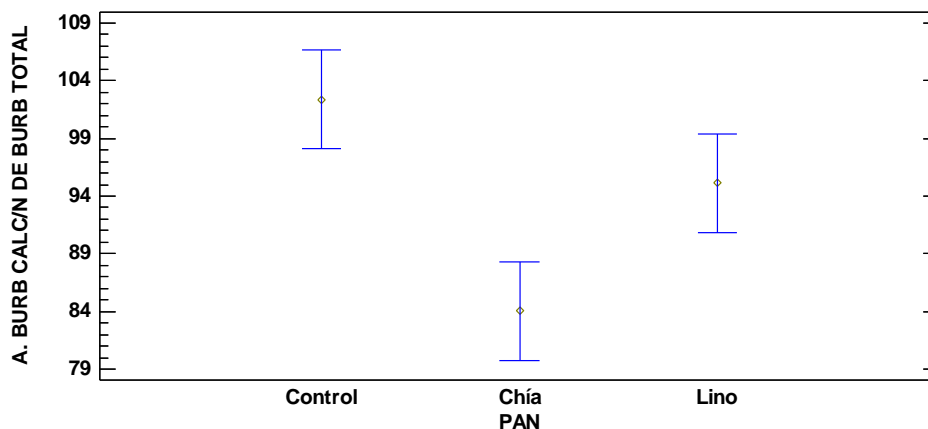


Figura 7. Diferencias equivalentes al área de burbuja por el número de burbujas según la formulación de la masa.

Analizando la población de burbujas a modo de espectro y relacionando el número de estas dentro de rangos de tamaño definidos y el tamaño de área que representa cada rango (Figura 8) se observó como la masa con chía fue la que mayor número de burbujas pequeñas tuvo y como el área que representan estas fue significativo. Así pues se podría afirmar que la mayor subida de la masa observada en la Figura 4 fue debido a una mayor formación de burbujas pequeñas, las cuales podrían aun aumentar y generar una mayor subida de la masa. En el caso de la masa de lino el comportamiento fue similar al de la chía si bien en menor intensidad por lo que cabría esperar que esta masa llegase más pronto al agotamiento durante la fermentación (máxima subida de la masa). Este resultado

quedaría definido por la menor pendiente observada en la curva de monitorización con respecto a la de la masa con chía.

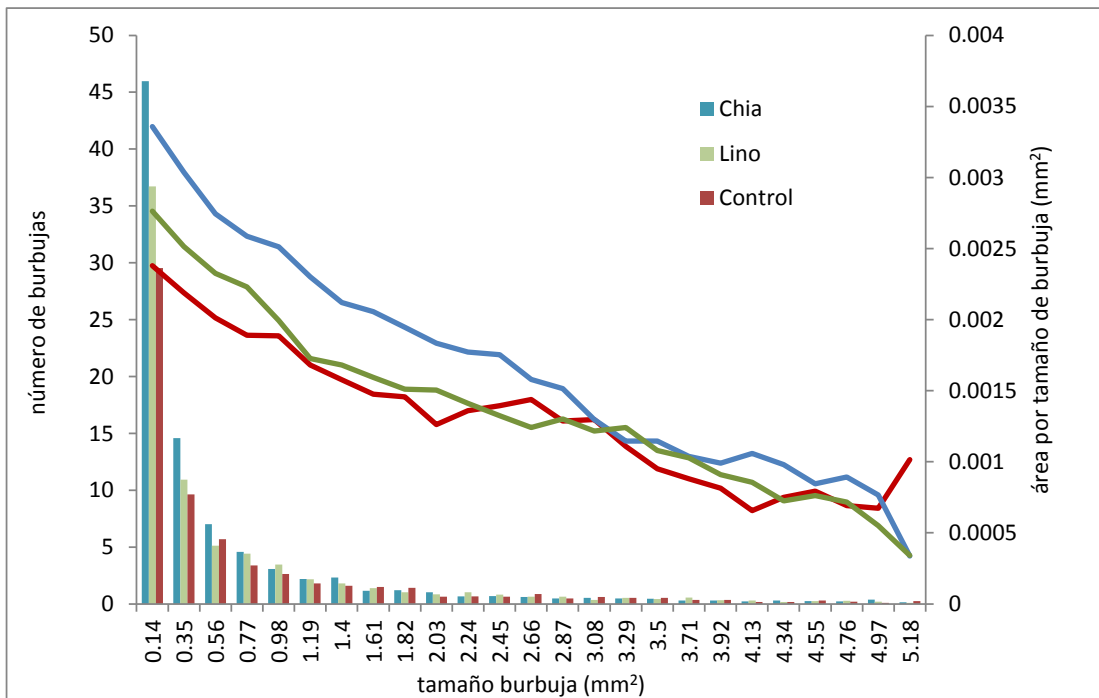


Figura 8. Demostración del número de burbujas y de su tamaño según la formulación de la masa.

Análisis de Textura

El estudio de la textura no evidenció diferencias significativas entre las muestras control y con lino, sin embargo si se puede observar como la resistencia de la masa con chía fue ligeramente mayor que la obtenida por las otras dos masas (Tabla 2). Esto corroboraría lo anteriormente comentado. Así la adición de lino pudo afectar a la masa, aumentando la absorción de agua y el tiempo de desarrollo, mientras que la estabilidad de esta disminuyó así como su extensibilidad (Koca r Anil, 2007). En el caso de la masa con chía, la gran cantidad de mucílago que esta posee y sus interacciones con la red de gluten incrementaría la fuerza de los tabiques, favoreciendo la retención de gas y por tanto su mayor capacidad para la fermentación (Iglesias y Haros, 2007).

Tabla 2. Promedio y desviación estándar de los valores de fuerza máxima (F) obtenidos en el ensayo de textura.

Pan	F (N)
Control	2.03 ± 0.38 ^a
Chía	2.63 ± 0.49 ^b
Lino	1.97 ± 0.53 ^a

*Valores en columna con diferentes letras expresan diferencias significativas (p -value<0.05).

• CONCLUSIONES

El estudio permite comprobar que la técnica de análisis de imagen 3D basada en la luz estructurada es capaz de ofrecer información durante todo el proceso de fermentación de las masas panarias, así como los efectos producidos por variaciones en la formulación de las mismas.

La incorporación de lino y sobre todo chía a la masa provoca una mayor pendiente en la curva de monitorización la cual es relacionada con la mayor capacidad de estas para la fermentación, generándose masas con una mayor incidencia de burbujas pequeñas las cuales, dadas las características de resistencia de los tabiques que las soportan, podrían incrementar su tamaño y por tanto incrementar la subida de la masa.

Así la técnica podría ser una herramienta útil en determinados análisis dentro del campo de desarrollo de nuevos productos y/o aplicaciones en el control de procesos relacionados con el cambio de volumen o forma como es la fermentación de masas panarias.

1. REFERENCIAS.

- Antruejo A, Azcona JO, García PT (2011). Omega-3 enriched egg production: the effect of α -linolenic ω -3 fatty acid sources on laying hen performance and yolk lipid content and fatty acid composition. *Brit Poultry Sci* 52 (6) 750-760
- Bache I.C., and Donald A.M. (1998). *J Cer Sci* 28 127-33. The structure of the gluten network in dough: A study using ESEM
- Baker, J. C. and Mize, M. D. (1941), The origin of the gas cells in bread dough. *Cereal Chemistry*, 18, 19-34.
- Benlloch, JV., 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, JV., Sánchez-Salmerón, AJ., Christensen, S., Walter, M., (1996). Weed mapping in cereal crops using image analysis techniques. *Conference on Agricultural Engineering (AgEng'96)*, 1059-1060. Universidad Politécnica de Madrid
- Beltrán-Orozco MC, Salgado Cruz MP, Cedillo López D. (2005). Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chía (*Salvia hispánica*) y de la fibra dietaria obtenida de la

- misma. Procedente del VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y Tercer Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos;; Guanajuato, Mexico. Pág. 358-366.
- Dobraszczyk, B.J. & Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38(3), 229-245.
- Iglesias E, Haros M. (2007). Mejora del valor nutricional y tecnológico de Productos de panadería por incorporación de Ingredientes a base de chía (salvia hispanica l.) Tesina de Master convocatoria 2007. Universidad Politécnica de València
- Jekle, M. & Becker, T. (2011). Dough microstructure: Novel analysis by quantification using confocal laser scanning microscopy. *Food Research International*, 44(4), 984-991.
- Koca Faik, Anil Munir, (2007). Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Volume 87, Issue 6, pages 1172–1175, 30 April 2007
- Langman L, Carduza FJ, Irueta M, Grigioni G, Gallinger CI (2006). Efecto de la incorporación de semilla de chía (*Salvia hispanica*) en la dieta de pollos sobre el perfil de aroma de la carne. Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, Argentina, 345-346
- Lassoued N, Babin P, Della Valle G, Devaux MF, Reguerre AL. (2007). Granulometry of bread crumb grain: contributions of 2D and 3D image analysis at different scale.
- Ö. Menteş, E. Bakkalbaşı, R. Ercan. (2008). Effect of the Use of Ground Flaxseed on Quality and Chemical Composition of Bread. *Food Science and Technology International* vol. 14 no. 4299-306.
- Pour-Damanab A.R. S, Jafary A. & Rafiee Sh. (2011). Monitoring the dynamic density of dough during fermentation using digital imaging method. *Journal of Food Engineering*, 107(1), 8-13.
- Salvador-Vega L, Gutierrez-Tolentino R, Coronado-Herrera MN, Pérez-González JJ, Ramírez-Vega ML (2010). Adición de aceite de chía (*Salvia hispanica*) como fuentes de ácidos grasos omega 3 en chorizo. En: *Avances en la Investigación de la Alimentación Funcional*. Editado por. Fontecha-Alonso JF. México, 101-108
- Steger Eron and Kutulakos Kiriakos N. (2008). A Theory of Refractive and Specular 3D Shape by Light-Path Triangulation. *Int. J. Computer Vision*, vol. 76, no. 1
- Upadhyay, R., Debjani, G. & Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure Original Research Article. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 104-113.
- van Duynhoven John, Esselink Eddy, Van Aalst Henrie, Maliepaard Manuelle, H.Henderson Thijs, Hoekstra Niko. (2003). Impact of Industrial Dough Processing on Structure: A Rheology, Nuclear Magnetic Resonance, and Electron Microscopy Study. *The Netherlands Pages* 419-423