

Effect of fermentation time and days of storage on texture parameters in leavened bread with sourdough

Efecto del tiempo de fermentación y días de almacenamiento sobre los parámetros de textura en pan leudado con masa madre

Paulina, TERRAZAS AVILA^{1*}, Karen, DEL LLANO RIVAS², Heidi María, PALMA RODRÍGUEZ¹, Juan Pablo, HERNÁNDEZ URIBE¹, Ricardo Omar, NAVARRO CORTEZ¹, Apolonio, VARGAS TORRES¹

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Ciudad Universitaria Tulancingo, Av. Universidad Km 1, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México, C.P. 43600 (0000-0001-7174-2747, 0000-0002-2759-1192, 0000-0003-3351-6583, 0000-0001-6664-1749)

²Panadería Maillard, Tulancingo de Bravo Centro, Hidalgo, México, C.P. 43600

Sent date: 12/September/2022 Acceptance date: 30/November/2022

Abstract:

In this study, the effect of fermentation time and storage days on the texture attributes of bread fermented with sourdough was evaluated. Breads were made from sourdough, each with different fermentation times (4, 6 and 8 h fermented at a temperature of 25 °C and 16 h with a cold fermentation of 4 °C). Was used bread leavened with yeast as control. Microbiological analysis was performed to determine the content of lactic acid bacteria (LAB) and yeasts present in the sourdough, obtaining a sourdough with 9.158 ± 0.06 log CFU/g of LAB and 5.2396 ± 0.07 log CFU/g of yeasts at day 6 of fermentation with a final pH of 3.83 ± 0.14 . Texture profile analysis was performed on all formulations at different days of storage, showing a statistically significant increase in the values of hardness, cohesion, elasticity and chewiness at hours 8 and 16 of fermentation, as well as on day 4 of storage. In conclusion, storage increases hardness, elasticity and chewiness in sourdough breads with longer fermentation time.

Keywords: sourdough, bread, texture, storage.

Resumen:

En este estudio se evaluó el efecto del tiempo de fermentación y días de almacenamiento sobre los atributos de textura en pan fermentado con masa madre. Se elaboraron panes de masa madre con diferentes tiempos de fermentación (4, 6 y 8 h a temperatura de 25 °C y 16 h a 4 °C). Fue utilizado un pan leudado con levadura como control. Se realizó el análisis microbiológico para conocer el

contenido de bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras en la masa y el análisis de perfil de textura (TPA) en los panes, obteniendo una masa madre con $9.158 \pm 0.06 \log$ UFC/g de BAL y $5.239 \pm 0.07 \log$ UFC/g de levaduras al día 6 de fermentación con un pH final de 3.83 ± 0.14 . El TPA realizado en todas las formulaciones a diferentes días de almacenamiento, mostró un aumento estadístico significativo en los valores de dureza, cohesión, elasticidad y masticabilidad en las horas 8 y 16 de fermentación, así como en el día 4 de almacenamiento. En conclusión, el almacenamiento incrementa la dureza, elasticidad y masticabilidad en los panes de masa madre con un mayor tiempo de fermentación (8 y 16 h).

Palabras clave: masa madre, pan, textura, almacenamiento.

* Corresponding author. E-mail: te307023@uaeh.edu.mx

1. Introducción

El pan es considerado un alimento tradicional y constituyente básico de la alimentación a nivel mundial. México cuenta con una amplia variedad en producción de pan, alrededor de 2,000 variedades de pan dulce y 300 de pan salado (Calvo-Carrillo et al., 2020). Datos históricos estiman que desde los años 7000 años a.C. se dio inicio a la fermentación de masa madre, de la cual, las levaduras endógenas eran utilizadas para la fermentación del pan, posteriormente se introdujo la levadura procedente de las cervecerías o destilerías (Häggman et al., 2008). Fue a principios del siglo XX cuando dio inicio la producción industrial de pan de trigo después de la introducción de la levadura de panadería como agente de fermentación superando a la masa madre y la levadura de cerveza (Katzi et al., 2021). No obstante, en los últimos años tanto consumidores como productores se han dado a la tarea de buscar alternativas para la elaboración de alimentos con mejores características nutricionales y funcionales. Y una de las tecnologías propuestas con mayor sostenibilidad para la elaboración de pan es la masa madre (Gobbetti et al., 2020). La fermentación del ácido láctico promete ser una herramienta eficaz para garantizar la textura, vida útil y una mejora en las características nutricionales del pan (Arora et al., 2020). Los principales beneficios que se atribuyen a la masa madre son una mayor biodisponibilidad de nutrientes, reducción del índice glucémico, aumento de vida útil, mejor calidad textural y mayor digestibilidad de proteínas (Gobbetti et al., 2020; Katzi et al., 2021; Arora et al., 2020). Dadas las propiedades benéficas que proporciona la fermentación con masa madre se han realizado diversos estudios tanto en función de sus nutrientes como en su calidad de textura. Sin embargo, aún hay pocos estudios en relación a la textura durante el almacenamiento. Por lo que en este estudio se desea conocer el efecto del tiempo de fermentación y los días de almacenamiento, sobre los parámetros de textura de un pan fermentado con masa madre.

2. Materiales y métodos

2.1. Fermentación de la masa

Se adquirió harina de trigo blanca e integral en un supermercado de Tulancingo Hidalgo para la fermentación de masa madre, la cual, se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Demirkesen-Bicak et al., (2021) con ligeras modificaciones, se agregaron 100 g de harina de trigo entero y 100 mL de agua potable, se mezclaron hasta obtener una mezcla homogénea para obtener un rendimiento de 200 g de masa. Se repitió el proceso de fermentación con periodos de alimentación (refrescos) cada 24 h. hasta alcanzar la maduración de la masa madre al día 6 de fermentación al alcanzar un crecimiento y pH deseable.

2.2. Caracterización de la masa

Las propiedades microbiológicas de la masa madre se determinaron utilizando el método descrito por Bottani et al., (2018). Donde se analizaron muestras al día 0, 3 y 6 de la fermentación de la masa madre con agar MRS (de Man, Rogosa and Sharpe, Merck, Darmstadt, Alemania) Y SD (Sabouraud dextrosa, Merck, Alemania). Se midió el pH de la muestra desde el día 0 de fermentación hasta la obtención de la masa madre madura (BAL de 9 a 9.47 log UFC/g y levaduras de 5 a 7.69 log UFC/g y pH de 3.5 y 4.3), cada 24 h.

2.3. Elaboración de los panes

Para la elaboración de los panes se llevó a cabo el procedimiento descrito por Katsi et al., (2021) y Demirkesen-Bicak et al., (2021). Se prepararon dos tipos de pan; pan leudado con levadura de panadería (control) y pan leudado con masa madre. El pan control se preparó con 1000 g de harina (800 g de harina blanca y 200 g de harina integral), 700 mL de agua, 2 g de sal y 4 g de levadura de panadería. Para la preparación del pan de masa madre se mezclaron 1000 g de harina (800 g de harina blanca y 200 g de harina integral), 700 mL de agua potable, se agregaron 300 g de masa madre (30 % de la harina total) a la mezcla de harina y 20 g de sal, se dividió la masa en panes de 50 g. Se elaboraron 4 formulaciones distintas de panes (4, 6, 8 horas de fermentación a 25 °C y 16 horas de fermentación a 4 °C) con 3 réplicas para cada determinación.

2.4. Análisis de perfil de textura (TPA)

El análisis del perfil de textura se midió al día 0, 2, 4 y 6 de almacenamiento en cada una de las formulaciones siguiendo la metodología descrita por Li et al., (2021), utilizando un analizador de textura (stable micro systems, TA.XT plus 41109, Reino Unido). Se utilizó una sonda de 36 mm de diámetro para la compresión de dos ciclos. Se dejó que la sonda penetrara

a una presión del 40 %, con una velocidad de 5 mm/s y un tiempo de 5 s entre la primera y segunda compresión.

2.5. *Análisis estadístico*

Se utilizó el programa estadístico SPSS Statistics 25 realizando un análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías. Para encontrar diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$).

3. Resultados y discusión

3.1 *Análisis microbiológicos y medición de pH*

Los resultados del análisis microbiológico en el presente trabajo respecto a la densidad (log UFC/g) de BAL y levaduras presentes en el cultivo de masa madre a los 0, 3 y 6 días de fermentación presentaron un incremento estadísticamente significativo ($p < 0.05$) del día 0 al día 6 tanto de BAL como de levaduras (de 4.18 ± 0.05 a 9.15 ± 0.06 log UFC/g y 3.76 ± 0.16 a 5.23 ± 0.07 log UFC/g respectivamente), por el contrario, se presentó un descenso del pH de 6.13 a 3.83 con diferencia significancia de $p < 0.05$. Encontrándose dentro de los rangos establecidos para BAL de 9 a 9.47 log UFC/g y para levaduras de 5 a 7.69 log UFC/g (Hammes et al., 2005). Resultados similares fueron reportados por Demirkesen-Bicak et al., (2021) el cual present 9.26 ± 0.09 log UFC/g de BAL en una fermentación con harina de trigo integral a 25 °C, condiciones similares a las que se realizó esta fermentación.

El valor de pH inicial fue de 6.13 ± 0.02 que disminuyó durante los días de fermentación finalizando con un pH de 3.83 ± 0.14 lo que indica la madurez de la masa de acuerdo con Arendt et al., (2007) el pH de una masa madre de trigo que ha alcanzado la madurez fluctúa entre 3.5 a 4.3. Resultados similares se reportaron por Rizzello et al., (2012) en masas madre de harina de trigo ($4.23 \pm 0.02 - 4.2 \pm 0.02$).

La figura 1 muestra que hubo mayor crecimiento de las BAL que de levaduras en el cultivo de masa madre a los días 0, 3 y 6 días de fermentación, esto puede deberse a que las levaduras tienen que soportar un entorno microbiano estresante caracterizado por un pH bajo, baja tensión de oxígeno y posiblemente baja cantidad de carbohidratos (maltosa) (De Vuyst et al., 2016). Por otro lado, las interacciones durante la fermentación que están dadas principalmente por la disponibilidad de azúcares en la harina forman una relación trófica (mutualismo nutricional) entre BAL y levaduras (Oshiro et al., 2021; De Vuyst et al., 2016) lo que favorece el crecimiento de ambas.

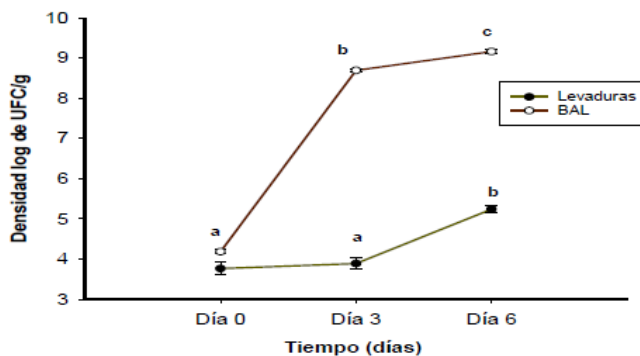


Figura 1. Crecimiento de BAL y levaduras en el cultivo de masa madre en relación al tiempo.

3.2 Análisis de perfil de textura en los panes de masa madre

Las propiedades de textura evaluadas en los panes con diferentes tiempos de fermentación, así como a diferentes días de almacenamiento, (dureza, cohesión, masticabilidad, resiliencia y elasticidad) se muestran en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5. Observándose que los panes con 8 y 16 h presentaron mayor dureza, cohesión, masticabilidad, resiliencia y elasticidad con incremento al día 4 de almacenamiento y una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) en comparación con el pan control.

Tabla 1. Dureza en panes de masa madre a diferentes horas de fermentación y días de almacenamiento □ a 25 y 4°C

Dureza (N)	Fermentación (h)	Tiempo (días)		
		0	2	4
C 1.5	1.5	0.043 ± 0.00 ^{a,3}	69.448 ± 8.30 ^{b,3}	120.214 ± 0.24 ^{c,3}
	4	0.260 ± 0.04 ^{a,1}	64.076 ± 4.70 ^{b,1}	238.636 ± 8.93 ^{c,1}
	6	0.372 ± 0.03 ^{a,1}	93.470 ± 2.63 ^{b,1}	257.703 ± 10.44 ^{c,1}
	8	0.991 ± 0.18 ^{a,1}	116.705 ± 8.08 ^{b,1}	304.265 ± 19.14 ^{c,1}
	16*	0.537 ± 0.07 ^{a,2}	124.942 ± 9.99 ^{b,2}	347.915 ± 4.57 ^{c,2}

□ Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa $p < 0.05$, por efecto de días de almacenamiento. Números diferentes en las filas indican una diferencia estadística significativa de $p < 0.05$, por efecto del tiempo de fermentación. Control (C); Horas (h); * pan fermentado a 4 °C por 16 h

Tabla 2. Cohesión en panes de masa madre a diferentes horas de fermentación y días de almacenamiento □ a 25 y 4 °C

Cohesión	Fermentación (h)	Tiempo (días)		
		0	2	4
C 1.5	1.5	0.587 ± 0.04 ^{a1}	0.519 ± 0.03 ^{a1}	0.422 ± 0.01 ^{a1}

4	0.448 ± 0.08a ¹	0.446 ± 0.00a ¹	0.469 ± 0.01a ¹
6	0.486 ± 0.05a ¹	0.428 ± 0.08a ¹	0.451 ± 0.02a ¹
8	0.641 ± 0.07a ³	0.653 ± 0.00a ³	0.628 ± 0.04a ³
16	0.529 ± 0.07a ²	0.491 ± 0.13a ²	0.589 ± 0.03a ²

□ Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa $p < 0.05$, por efecto de días de almacenamiento. Números diferentes en las filas indican una diferencia estadística significativa de $p < 0.05$, por efecto del tiempo de fermentación. Control (C); Horas (h); * pan fermentado a 4 °C por 16 h

Tabla 3. Masticabilidad en panes de masa madre a diferentes horas de fermentación y días de almacenamiento □ a 25 y 4 °C

Masticabilidad (N)	Fermentación (h)	Tiempo (días)		
		0	2	4
C 1.5	1.5	0.012 ± 0.00a ²	30.280 ± 3.53b ²	43.849 ± 3.93c ²
	4	0.078 ± 0.03a ¹	25.823 ± 1.94b ¹	95.118 ± 14.30c ¹
	6	0.115 ± 0.02a ¹	34.983 ± 5.98b ¹	100.917 ± 5.43c ¹
	8	0.515 ± 0.05a ²	63.648 ± 4.10b ²	160.942 ± 2.70c ²
	16*	0.198 ± 0.06a ²	56.728 ± 19.98b ²	187.764 ± 15.81c ²

□ Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa $p < 0.05$, por efecto de días de almacenamiento. Números diferentes en las filas indican una diferencia estadística significativa de $p < 0.05$, por efecto del tiempo de fermentación. Control (C); Horas (h); * pan fermentado a 4 °C por 16 h

Un comportamiento similar fue reportado por Katzi et al., (2021) donde se evaluó un pan con levadura en comparación con pan de masa madre a diferentes días de almacenamiento, observándose que el pan control tuvo menor dureza (4.06 ± 0.59 N) en comparación con el pan de masa madre (7.15 ± 1.94 N), así también, los dos presentaron un aumento estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en este parámetro durante el almacenamiento.

Teniendo en cuenta que la cohesión es un indicador de la unión entre los enlaces internos que componen la miga del pan (Li et al., 2021), se puede pensar que el aumento en los valores de dureza, cohesión, y masticabilidad para los panes fermentados por 8 y 16 h puede estar relacionado con la estructura interna que presentaron estas muestras ya que se aprecia una estructura más ordenada en comparación a los panes de 4 y 6 h de fermentación, pero con mayor cantidad de alveolos que la estructura del pan control (Figura 2).



Figura 2. Imagen de las migas de los panes por cada tiempo de fermentación.

En un estudio publicado por Hayta & Hendek (2018) en el cual se realizó microscopía electrónica de barrido, se observó en las imágenes que el pan control presentaba una microestructura más compacta formada por una red proteica que incluía gránulos de almidón, en cambio en los panes de masa fermentada se vio afectada la estructurada de los gránulos del almidón, presentándose los gránulos de almidón atrapados dentro de la matriz proteica. Probablemente estos cambios se deban a la acción enzimática de las BAL y su ambiente ácido, ya que se ha comprobado que la generación de ácidos orgánicos, así como el ácido láctico conduce a modificaciones en los gránulos del almidón, que pueden presidir al aumento de almidón resistente al disminuir la hidrólisis del almidón (Deckardt et al., (2014).

La resiliencia mide la capacidad del pan para recuperar su estado físico original después de la primera compresión (Maldonado-Astudillo et al., 2019), los valores en este parámetro no muestran una tendencia específica en relación a los días de almacenamiento, en cambio, si se encontró una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) en la fermentación de 16 h siendo mayor en comparación con las demás formulaciones (Tabla 4).

Tabla 4. Resiliencia en panes de masa madre a diferentes horas de fermentación y días de almacenamiento □ a 25 y 4 °C

Resiliencia	Fermentación (h)	Tiempo (días)		
		0	2	4
C	1.5	0.288 ± 0.44 ^{a1}	0.320 ± 0.02 ^{b1}	0.269 ± 0.02 ^{a1}
	4	0.237 ± 0.04 ^{a1}	0.270 ± 0.01 ^{b1}	0.277 ± 0.01 ^{a1}
	6	0.223 ± 0.03 ^{a1}	0.275 ± 0.00 ^{b1}	0.249 ± 0.02 ^{a1}
	8	0.340 ± 0.06 ^{a1}	0.302 ± 0.01 ^{b1}	0.241 ± 0.03 ^{a1}
	16*	0.263 ± 0.04 ^{a2}	0.364 ± 0.06 ^{a2}	0.306 ± 0.00 ^{a2}

□ Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa $p < 0.05$, por efecto de días de almacenamiento. Números diferentes en las filas indican una diferencia estadística significativa de $p < 0.05$, por efecto del tiempo de fermentación. Control (C); Horas (h); * pan fermentado a 4 °C por 16 h

La elasticidad es la capacidad del pan para recuperar su forma original (Katsi et al., 2021; Nasir et al., 2020), en cuanto a esta propiedad, se obtuvieron valores más altos en los panes de masa madre con aumento durante el almacenamiento, siendo significativamente ($p < 0.05$) mayor en la fermentación de 16 h a los 4 días de almacenamiento (0.914 ± 0.01), por otro lado, el pan control exhibió un menor valor de elasticidad al día 0, aumentando durante el almacenamiento de 0.459 ± 0.04 a 0.862 ± 0.04 (tabla 5). Resultados similares se aprecian en el trabajo realizado por Katsi et al., (2021) mostrando un aumento en la elasticidad del pan control de 3.76 ± 0.92 a 5.07 ± 0.70 y una variación de este parámetro en el pan de masa madre durante los días de almacenamiento de 1.74 ± 0.39 a 3.28 ± 0.30 .

Tabla 5. Elasticidad en panes de masa madre a diferentes horas de fermentación y días de almacenamiento □ a 25 y 4 °C

Elasticidad	Fermentación (h)	Tiempo (días)		
		0	2	4
C	1.5	0.459 ± 0.04^{a2}	0.845 ± 0.10^{b2}	0.862 ± 0.04^{c2}
	4	0.649 ± 0.14^{a12}	0.903 ± 0.02^{b12}	0.848 ± 0.10^{b12}
	6	0.641 ± 0.13^{a12}	0.877 ± 0.02^{b12}	0.868 ± 0.03^{b12}
	8	0.821 ± 0.01^{a1}	0.835 ± 0.00^{b1}	0.843 ± 0.00^{b1}
	16*	0.697 ± 0.14^{a12}	0.906 ± 0.02^{b12}	0.914 ± 0.01^{b12}

□ Letras minúsculas diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa $p < 0.05$, por efecto de días de almacenamiento. Números diferentes en las filas indican una diferencia estadística significativa de $p < 0.05$, por efecto del tiempo de fermentación. Control (C); Horas (h); * pan fermentado a 4 °C por 16 h

El parámetro de elasticidad tiene relación con el contenido de gluten y las interacciones con el almidón gelatinizado, por lo tanto, este parámetro podría indicar que, a mayor elasticidad, mayor contenido de gluten, (Nasir et al., 2020; Wanjuu et al., 2018). En general el aumento de dureza y masticabilidad en todas las muestras durante el almacenamiento tiene relación con el proceso de cristalización de amilosa y amilopectina y a la pérdida de humedad, lo que contribuye al envejecimiento (Wanjuu et al., 2018).

4. Conclusión

El crecimiento tanto de BAL como de levaduras contribuyen a la maduración de la masa madre al tiempo que se presenta un descenso del pH en la masa. El almacenamiento incrementó la dureza, elasticidad y masticabilidad en los panes de masa madre siendo significativamente mayor en las fermentaciones de 8 h de fermentación y 16 horas a 4 °C respecto al pan control. Los resultados en este estudio podrían contribuir a entender los comportamientos de textura en panes leudados con masa madre y relacionarlos con la estructura molecular.

5. Referencias

- Arendt, E. K., Ryan, L. A., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food microbiology*, 24(2), 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.010>
- Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2020). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 71-83.
- Bottani, M., Brasca, M., Ferraretto, A., Cardone, G., Casiraghi, M. C., Lombardi, G., ... & Silveti, T. (2018). Chemical and nutritional properties of white bread leavened by lactic acid bacteria. *Journal of Functional Foods*, 45, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.030>
- Calvo-Carrillo, M. D. L. C., López-Méndez, O. X., Carranco-Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisumsativum L.*). *Biotecnia*, 22(3), 116-124. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1227>
- De Vuyst, L., Harth, H., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2016). Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.018>
- Demirkesen-Bicak, H., Arici, M., Yaman, M., Karasu, S., & Sagdic, O. (2021). Effect of Different Fermentation Condition on Estimated Glycemic Index, In Vitro Starch Digestibility, and Textural and Sensory Properties of Sourdough Bread. *Foods*, 10(3), 514. <https://doi.org/10.3390/foods10030514>
- Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Polo, A., & Rizzello, C. G. (2020). The sourdough fermentation is the powerful process to exploit the potential of legumes, pseudo-cereals and milling by-products in baking industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(13), 2158-2173. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1631753>
- Häggman, M., & Salovaara, H. (2008). Microbial re-inoculation reveals differences in the leavening power of sourdough yeast strains. *LWT-Food Science and Technology*, 41(1), 148-154.
- Hammes, W. P., Brandt, M. J., Francis, K. L., Rosenheim, J., Seitter, M. F., & Vogelmann, S. A. (2005). Microbial ecology of cereal fermentations. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 4- 11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.010>
- Hayta, M., & Hendek Ertop, M. (2018). Evaluation of microtextural properties of sourdough wheat bread obtained from optimized formulation using scanning electron microscopy and image analysis during shelf life. *Journal of food science and technology*, 55(1), 1-9. [10.1007/s13197-017-2823-1](https://doi.org/10.1007/s13197-017-2823-1)

- Katsi, P., Kosma, I. S., Michailidou, S., Argiriou, A., Badeka, A. V., & Kontominas, M. G. (2021). Characterization of Artisanal Spontaneous Sourdough Wheat Bread from Central Greece: Evaluation of Physico-Chemical, Microbiological, and Sensory Properties in Relation to Conventional Yeast Leavened Wheat Bread. *Foods*, 10(3), 635. <https://doi.org/10.3390/foods10030635>
- Li, X., Guo, Y., Chen, L., Liu, K., & Gong, K. (2021). Texture and bio-functional characteristics of a Chinese steamed bread prepared from lotus root powder partially replacing wheat flour. *Scientific Reports*, 11(1), 1-7.
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Cantú-Guzmán, Á., Salazar, R., & Jiménez-Hernández, J. (2019). Análisis de perfil de textura de frutos partenocarpicos de mango cv. 'Ataúlfo'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1175-1181.
- Nasir, S., Allai, F. M., Gani, M., Ganaie, S., Gul, K., Jabeen, A., & Majeed, D. (2020). Physical, textural, rheological, and sensory characteristics of amaranth-based wheat flour bread. *International Journal of Food Science*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8874872>
- Oshiro, M., Tanaka, M., Momoda, R., Zendo, T., & Nakayama, J. (2021). Mechanistic Insight into Yeast Bloom in a Lactic Acid Bacteria Relaying-Community in the Start of Sourdough Microbiota Evolution. *Microbiology spectrum*, 9(2), e00662-21. <https://doi.org/10.1128/Spectrum.00662-21>
- Rizzello, C. G., Coda, R., Mazzacane, F., Minervini, D., & Gobbetti, M. (2012). Micronized by-products from debranned durum wheat and sourdough fermentation enhanced the nutritional, textural and sensory features of bread. *Food Research International*, 46(1), 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.12.024>
- Wanjuu, C., Abong, G., Mbogo, D., Heck, S., Low, J., & Muzhingi, T. (2018). The physiochemical properties and shelf-life of orange-fleshed sweet potato puree composite bread. *Food science & nutrición*, 6(6), 1555-1563. <https://doi.org/10.1002/fsn3.710>