

Estudio de los atributos fisicoquímicos de calidad que influyen en la vida útil de muffins de vainilla

Gálvez-Toledo D. K., Contreras-López E., Jaimez-Ordaz J., González-Olivares L. G. y Pérez-Flores J. G.*

Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo; México, C.P. 42184.

*jesus_perez@uaeh.edu.mx

RESUMEN

Un Muffin es un pastel pequeño redondo sin azúcar. En general, los productos panificados han sido objeto de diversas investigaciones debido a la interacción entre sus componentes y su deterioro. Puesto que en la presente investigación fueron estudiados unos muffins de vainilla con una buena estabilidad microbiológica gracias a los agentes conservantes utilizados en su formulación, el objetivo del presente trabajo fue determinar cuáles son los parámetros fisicoquímicos de calidad con la mayor influencia sobre su vida útil, utilizando el enfoque de pruebas aceleradas, con la finalidad de proponer estrategias para prolongarla. Para ello, los muffins fueron almacenados a diferentes temperaturas. Los cambios en el contenido de humedad, en la actividad acuosa y en el peso, fueron determinados por triplicado. Los resultados fueron ajustados con diferentes modelos matemáticos. La pérdida de peso fue la variable con mayor influencia sobre la vida útil del producto y la ecuación para una cinética de orden cero fue la que mejor describió los cambios ($R^2=0.817\pm 0.308$). En conclusión, el análisis cinético proporciona un criterio fiable para predecir la estabilidad y la vida útil de los muffins, con la información obtenida es posible establecer estrategias que permitan incrementarla.

Palabras claves: envejecimiento del pan, vida útil, muffin, modelado cinético

ABSTRACT

A muffin is a small round cake elaborated without sugar. In general, baked products have been the subject of various investigations due to the interaction between their components and their deterioration. Since vainilla muffins used in this investigation had good microbiological stability due to preservative agents incorporated in their formulation, the objective of this work was to determine which quality physicochemical parameters have the greatest influence on their shelf life, using the accelerated testing approach, in order to propose strategies to prolong it. For this, the muffins were stored at different temperatures. Changes in moisture content, water activity and weight were determined in triplicate. The results were adjusted with different mathematical models. Muffin weight loss was the variable with the greatest influence on product shelf life and was adjusted to the equation of order zero ($R^2=0.817\pm 0.308$). In conclusion, the kinetic analysis provides a reliable criterion to predict the stability and shelf life of muffins, with the information obtained here it is possible to establish strategies to increase shelf life.

Keywords: Bread stealing, shelf life, muffin, kinetic modeling

INTRODUCCIÓN

La palabra Muffin proviene de la antigua palabra francesa *Muffe* o *Moufflet* que significa pastel rápido, mientras que la palabra contemporánea hace referencia a un pastel pequeño redondo sin azúcar (Crick, 2020; Nana, 2007). Las primeras recetas de muffins horneados endulzados comienzan a aparecer en los libros de cocina estadounidenses a principios del siglo XX, elaborado de maíz horneado, generalmente asociado con el sureste de Estados Unidos (Crick, 2020). Actualmente, el muffin es considerado como uno de los postres más populares debido a la versatilidad en sus ingredientes y sus características de fácil consumo (Bhaduri, 2013).

En general, los productos panificados han sido objeto de diversas investigaciones debido a la interacción entre sus componentes (Arp, Correa & Ferrero, 2020). Se ha reconocido el papel del agua en la interacción con los compuestos que se pueden encontrar en la masa del pan; las proteínas, los azúcares, los emulsionantes y los hidrocoloides, por mencionar algunos (Eliasson, 1983). Otro constituyente importante es el almidón, un polisacárido conformado por dos polímeros de glucosa (amilosa y amilopectina) que se encuentra en la mayoría de los cereales (Tako, Tamaki, Teruya & Takeda, 2014). Por lo tanto, la sinergia de estos compuestos hace del proceso de deterioro un fenómeno multifactorial lo que conduce a cambios fisicoquímicos dentro de la matriz alimentaria como la disminución de actividad de agua y humedad (Ji, Zhu, Qian, & Zhou, 2007; Giannone et al., 2016). El fenómeno de envejecimiento toma lugar desde la cocción y durante el periodo de almacenamiento y es el resultado de la restructuración del almidón lo que afecta la vida de anaquel del muffin (Calvel, 2001).

En la presente investigación se trabajó con una muestra de muffins de vainilla que ya es estable microbiológicamente gracias a los agentes conservantes incluidos como parte de su formulación. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar cuáles son los parámetros fisicoquímicos de calidad de los muffins de vainilla con la mayor influencia sobre su vida útil, utilizando el enfoque de pruebas aceleradas, con la finalidad de proponer estrategias para prolongarla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras

En esta investigación fueron utilizados unos muffins de vainilla proporcionados por una empresa dedicada a la fabricación de pan, originaria del estado de Hidalgo, México. Las muestras fueron almacenadas a 20, 30 y 50°C durante 21 días en una estufa al vacío, período de tiempo durante el cual fueron monitoreados los atributos de calidad fisicoquímicos que afectan la vida útil del producto.

Análisis fisicoquímico

Actividad de agua

Previo a la medición del aw en las muestras, se realizó una calibración en el AquaLab (DECAGON) con agua. Una vez que se obtenía un valor dentro del rango de 0.997 a 1.003, se colocó la muestra en una de las celdas hasta obtener el resultado indicado por el equipo. Las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Contenido de humedad

Se mantuvieron a peso constante charolas de aluminio (limpias y sin tocar), para lo cual se colocaron en la estufa (Lab-Line) a 65°C durante al menos 4 horas. Una vez a peso constante, fueron adicionados 5g de muestra y distribuidos uniformemente. Las charolas se introdujeron en la estufa a 65°C y permanecieron ahí hasta que el peso final fuera constante. Las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Peso

Para determinar el grado de pérdida de peso de las muestras de muffin de vainilla, éstas fueron pesadas en una balanza analítica (Ohaus) cada 2 días durante 21 días. Las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Análisis cinético

Para obtener información sobre los cambios producidos en los atributos fisicoquímicos de calidad de los muffins durante el almacenamiento, fueron aplicados diferentes modelos matemáticos para ajustar los datos experimentales, *ecs.* (1)-(3) (Dermesonlouoglou, Giannakourou, & Taoukis, 2016; Jaimez-Ordaz *et al.*, 2019; Park, Koh y Kim, 2018).

$$Q = Q_0 \pm kt \quad \text{Ec. 1}$$

$$\ln Q = \ln Q_0 \pm kt \quad \text{Ec. 2}$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_0} \pm kt \quad \text{Ec. 3}$$

Donde Q es el atributo de calidad fisicoquímico monitoreado, k es la constante de velocidad de reacción (días^{-1}) y t es el tiempo de almacenamiento (días).

Análisis estadístico

Fue realizado un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías y una prueba HSD de Tukey post-hoc ($p < 0.05$) para evaluar el efecto del tiempo y de la temperatura de almacenamiento sobre los cambios en los atributos de calidad fisicoquímicos de las muestras de muffins analizadas. Posteriormente, fue realizado un ANOVA de una vía y una prueba HSD de Tukey post-hoc ($p < 0.05$) para identificar diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento del producto durante la prueba. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas con el lenguaje de programación R (v3.4.4) (R Core Team, 2018) y con su entorno de desarrollo integrado RStudio (v1.4.1106) (RStudio Team, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del tiempo y de la temperatura de almacenamiento

Los resultados obtenidos de ANOVA acerca de la evolución de los atributos fisicoquímicos de calidad (Q : peso, humedad y aw) de los muffins en función del tiempo y de la temperatura de almacenamiento se presentan en la Tab. 1.

De acuerdo con la información obtenida, hubo diferencias significativas entre los conjuntos de datos del peso de los muffins en relación con la temperatura de almacenamiento ($p < 0.001$), esto indica que la temperatura de almacenamiento influyó directamente sobre los cambios en el peso durante el almacenamiento. Por otro lado, el tiempo de almacenamiento y la interacción del tiempo con la temperatura de almacenamiento ($T \sim T$) no influyeron en los cambios de peso de los muffins durante la prueba.

Con respecto a los cambios en el contenido de humedad, hubo diferencias significativas entre los conjuntos de datos de la humedad de los muffins en relación con el tiempo y la temperatura ($p < 0.001$), es decir, ambos factores influyeron directamente sobre los cambios en el contenido de humedad en el producto durante la prueba, la interacción entre ambos factores (T~T) no influyó sobre los cambios en el contenido de humedad.

Finalmente, los conjuntos de datos de la actividad de agua (aw) mostraron diferencias significativas en función del tiempo y de la temperatura de almacenamiento, e incluso ante la interacción de ambos factores (T~T) ($p < 0.001$), esto indica que estos factores y su interacción influyeron significativamente en la evolución de la aw durante el almacenamiento.

Tabla 1. Prueba ANOVA de dos vías para los atributos de calidad fisicoquímicos (Q) de los muffins en función del tiempo y de la temperatura de almacenamiento.

Variable	Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr (> F) ^I
Peso	Temperatura	2	1038.4	519.2	10.712	0.000121
	Tiempo	8	54	6.8	0.139	0.996989
	^{II} T~T	16	36	2.3	0.047	1.000000
	Residuales	54	2617.4	48.5		
Humedad	Temperatura	2	91.41	45.70	20.923	1.87×10^{-7}
	Tiempo	8	68.83	8.60	3.939	0.000999
	T~T	16	62.42	3.90	1.786	0.057964
	Residuales	54	117.96	2.18		
Actividad de agua	Temperatura	2	0.010638	0.005319	62.099	1.00×10^{-14}
	Tiempo	8	0.015921	0.001990	23.234	6.38×10^{-15}
	T~T	16	0.006655	0.000416	4.856	5.65×10^{-6}
	Residuales	54	0.004625	0.000086		

^IValor de p asociado con el estadístico F de una fuente determinada. ^{II}T~T: interacción del tiempo con la temperatura de almacenamiento.

Los resultados son presentados gráficamente en la Fig. 1.

La interacción del tiempo y la temperatura provocan un reordenamiento en el granulo de almidón, lo que modifica algunas propiedades funcionales como la solubilidad en agua, la viscosidad y la retrogradación. Si bien es cierto que lo anterior favorece la dureza del pan; en alimentos como jaleas,

yogures y emulsiones, le aporta consistencia y estabilidad (Majzoobi, Kaveh & Farahnaky, 2016). Al-Mahsaneh, Aljarrah, Rababah, & Alu'datt (2018) estudiaron el comportamiento del pan pita a temperatura ambiente y a temperatura de congelación donde observaron que a una temperatura de congelación el pan pita conservaba su frescura gracias a la movilidad limitada y las interacciones entre el agua, el almidón y la proteína.

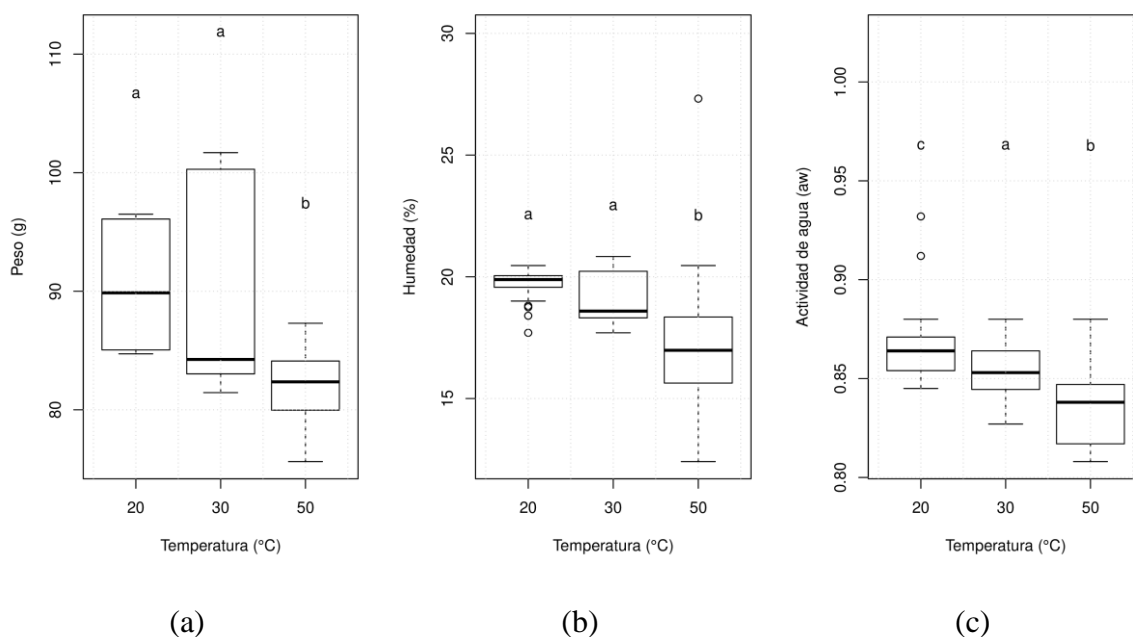


Figura 1. Valores de los atributos de calidad fisicoquímicos de los muffins analizados: (a) peso, (b) humedad y (c) actividad de agua, obtenidos durante el tiempo de almacenamiento a 20, 30 y 50 °C. Los diagramas de caja-bigote con diferentes letras minúsculas indican diferencias entre los conjuntos de datos a las diferentes temperaturas de almacenamiento ($p < 0.05$).

Incidencia de los atributos fisicoquímicos de calidad

Peso

En la Fig. 2 se muestra la evolución de los cambios en los atributos fisicoquímicos de calidad de ellos muffins durante la prueba. Mientras que en la Fig. 2a se muestran los cambios de peso de los muffins durante su almacenamiento a 20, 30 y 50°C, en general el peso disminuyó durante el tiempo de almacenamiento. Estos cambios fueron atribuidos a las propiedades de barrera del envase y la temperatura de almacenamiento. Sang, Shao, & Jin (2015) observaron a partir de unas muestras de pastel de arroz almacenadas durante 4 días a 10, 20 y 30°C, que cuanto más bajas sean las propiedades de barrera de los materiales de empaque y mayor la temperatura de almacenamiento más será la pérdida de agua.

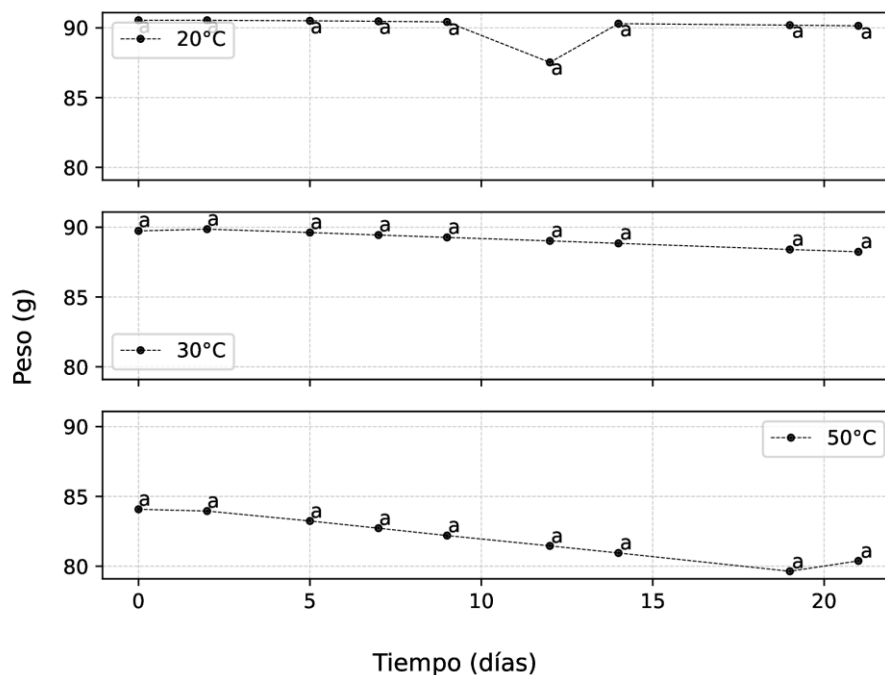
Contenido de humedad

En la Fig. 2b se muestran los cambios en el contenido de humedad de los muffins durante su almacenamiento a 20, 30 y 50°C. Fue observada una disminución en el contenido de humedad de las muestras en función del tiempo de almacenamiento. Estos cambios fueron atribuidos a la relación

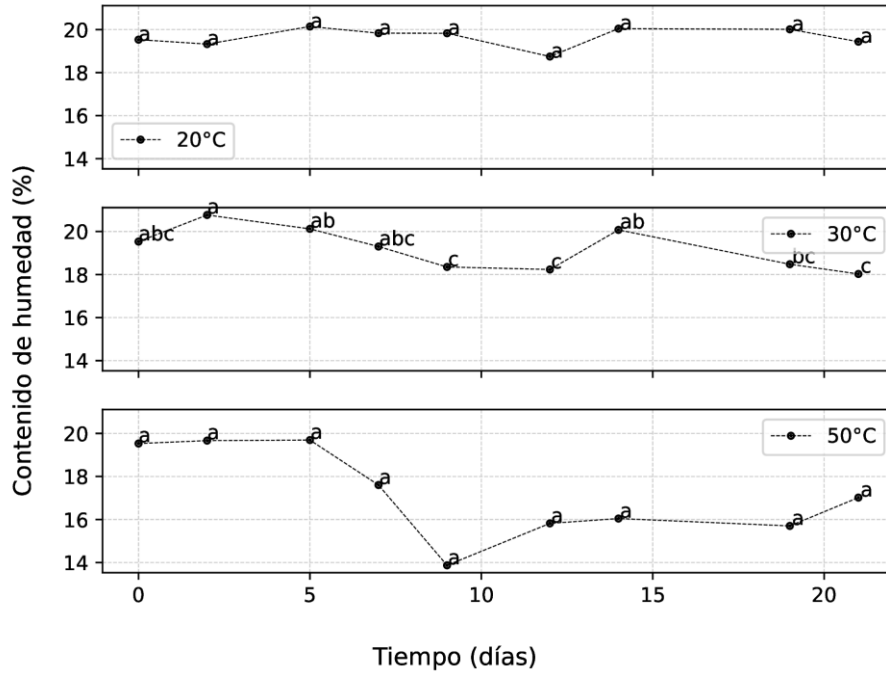
almidón-gluten- agua y la temperatura de almacenamiento. Algunos atributos de la harina pueden disminuir la tasa de envejecimiento: a) un nivel de proteína medio o superior, b) un nivel de almidón dañado superior a la media que permita una mejor absorción de agua y que ayude a las amilasas a lograr una mayor producción de maltosa (Calvel, 2001). Osella, Sánchez, Carrara, de la Torre y Pilar Buera (2005) afirman que el contenido de humedad y las características de unión dentro de la miga son importantes para estudiar el envejecimiento del pan.

Actividad de agua

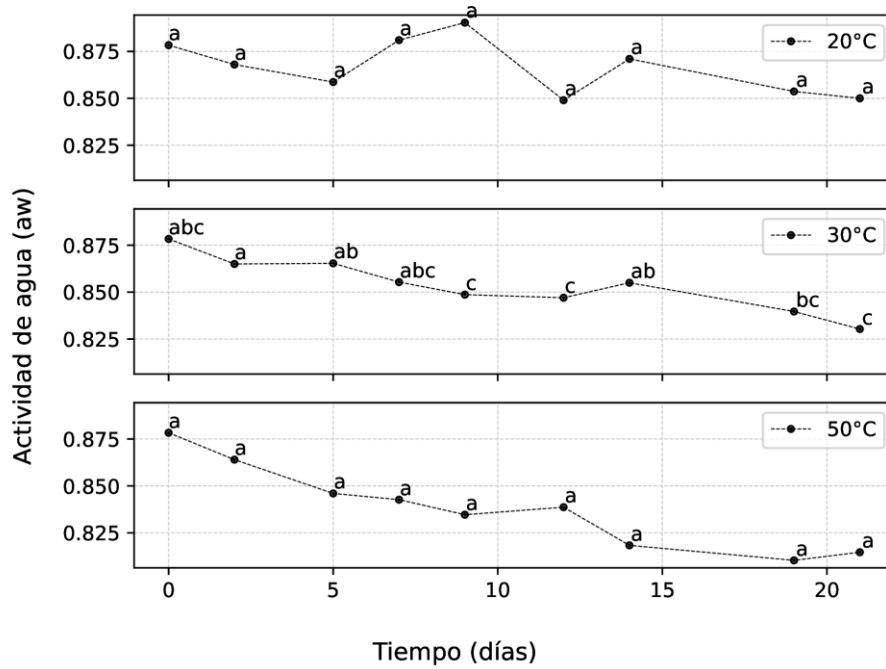
En la Fig. 2c se muestran los cambios en los valores de aw de los muffins durante su almacenamiento a 20, 30 y 50°C. Fue observada una disminución en los valores de aw de las muestras en función del tiempo de almacenamiento. Es interesante mencionar que la aw es una propiedad termodinámica que matemáticamente puede ser definida como la relación que hay de la presión de vapor del agua presente en el alimento (la presión de vapor es producida por la cantidad de agua que logra escapar del alimento) entre la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura (Labuza, 1980). Por lo tanto, debido a que el alimento pierde peso por la pérdida de humedad, la disminución del contenido de agua en el producto afecta directamente a los valores de aw durante el almacenamiento.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Evolución (a) del peso, (b) del contenido de humedad y (c) de la actividad acuosa de los muffins almacenados a 20, 30 y 50°C durante 21 días. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias en los tiempos de almacenamiento ($p < 0.05$).

Análisis cinético

El análisis cinético fue determinado con la finalidad de elegir el atributo crítico de calidad, es decir, el que tendrá el mayor impacto sobre la vida de anaquel de los muffins de vainilla analizados.

Debido a que en esta investigación fue utilizado el enfoque de pruebas aceleradas de vida útil, la información obtenida se presenta en la Tab. 2. Justo a 50°C se pueden acelerar las reacciones y los cambios, de tal manera que, a través de la constante de velocidad, pueden ser determinados los cambios que sucederán más rápido en el producto durante su almacenamiento. En este caso, la pérdida de peso de los muffins tiene la constante de velocidad más alta ($k = -0.212 \pm 0.072$ días), por lo tanto, esta variable podría ser elegida como una variable crítica de calidad para hacer la estimación de vida útil siempre y cuando el producto mantenga su estabilidad ante el deterioro microbiano gracias a los agentes conservantes utilizados en la formulación del producto. Además, la pérdida de humedad en el producto mostró el menor ajuste lineal por lo que no podrían realizarse cálculos precisos con este parámetro ($R^2 = 0.222 \pm 0.105$).

Tabla 2. Valores de Q_0 , k y R^2 para los cambios en los atributos fisicoquímicos de calidad modelados con la ecuación de orden cero a 50°C.

Q	Q_0	k (días)	R^2
Peso	84.165±3.258	-0.212±0.072	0.817±0.308
Humedad	19.008±2.038	-0.181±0.109	0.222±0.105
Actividad acuosa	0.868±0.001	-0.003±0.00004	0.892±0.016

Por otro lado, una vez que se ha determinado que la pérdida de peso de los muffins son la variable que tiene mayor influencia sobre la vida útil del producto, se determinó mediante el método gráfico qué modelo cinético describe mejor estos cambios en la pérdida de peso, específicamente, fue a través del valor del coeficiente de determinación (R^2). Los resultados fueron reportados en la Tab. 3. A las 3 temperaturas de ensayo, la ecuación de una cinética de orden 0 es la que mejor describe los cambios en la pérdida de peso, de acuerdo con los valores de R^2 .

Tabla 3. Valores de los coeficientes de determinación (R^2) de la evolución del peso del producto almacenado a 20, 30 y 50°C, ajustados a diferentes modelos matemáticos.

	Orden 0	Orden 1	Orden 2
20°C	0.664±0.551	0.663±0.552	0.663±0.552
30°C	0.955±0.064	0.955±0.064	0.955±0.064
50°C	0.817±0.308	0.816±0.308	0.815±0.309

Una vez que ha sido determinado que la pérdida de peso en el producto tiene la mayor influencia sobre la vida útil del producto y que la ecuación de una cinética de orden cero es la que mejor describe esos cambios durante el almacenamiento, es necesario determinar el valor crítico de peso correlacionándolo con parámetros sensoriales o microbiológicos. Por ejemplo, Baik & Chinachoti (2000) reportaron que el contenido de humedad y el envejecimiento del almidón estuvieron estrechamente relacionados. En un sistema cerrado, el agua se equilibraría entre la miga y la corteza durante el almacenamiento impulsado por el gradiente de humedad. Mientras que Calvel (2001) expone que a medida que pasa el tiempo, el almidón gradualmente cambia a un estado cristalino. Este cambio se manifiesta la pérdida de blandura, elasticidad, así como una disminución de su sabor.

Por lo tanto, el análisis cinético respaldado en un análisis estadístico, proporcionan un criterio fiable para predecir la estabilidad de almacenamiento y la vida útil de los productos horneados como los muffins de vainilla estudiados en esta investigación.

Estrategias para extender la vida útil del producto

Dentro de las estrategias que pueden implementarse para extender la vida útil de los muffins, se encuentran las siguientes (Melini & Melini, 2018):

1. Envasado activo
2. Envases Activos con Absorbentes de Oxígeno
3. Envasado activo con sistemas de liberación de agentes antimicrobianos
4. Aplicación de nanotecnología en envases activos para pan

Las principales ventajas de los envases activos para los distribuidores de pan son el aumento de los tiempos del ciclo de rotación de stock y la extensión de la red de distribución geográfica. El consumidor también puede aprovechar el envasado activo, ya que el producto de panadería se puede almacenar sin refrigerar durante más tiempo y estar listo en cualquier momento como comida o refrigerio de sabor fresco.

CONCLUSIÓN

Los resultados del presente proyecto revelaron que los parámetros de calidad en los muffins de vainilla están relacionados a la pérdida de humedad en el producto, lo cual conlleva al deterioro de otras propiedades como la textura, siendo la pérdida de peso la propiedad con mayor influencia sobre la vida útil del producto. Es por ello que sería recomendable realizar pruebas de vida útil también en una cámara de estabilidad con temperatura y con humedad relativa controladas.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Mahsaneh, M., Aljarrah, M., Rababah, T., & Alu'datt, M. (2018). Using MR-FTIR and texture profile to track the effect of storage time and temperature on pita bread staling. *Journal of food quality*, 2018.
- Arp, C. G., Correa, M. J., & Ferrero, C. (2020). Kinetic study of staling in breads with high-amylose resistant starch. *Food Hydrocolloids*, 106, 105879
- Baik, M. Y., & Chinachoti, P. (2000). Moisture redistribution and phase transitions during bread staling. *Cereal Chemistry*, 77(4), 484–488
- Bhaduri, S. (2013). A comprehensive study on physical properties of two gluten-free flour fortified muffins. *Journal of Food Processing and Technology*, 4(8).

- Calvel, R. (2001). Bread Staling. *The Taste of Bread* (pp. 80-85). Springer, Boston, MA. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-6809-1_9
- Crick, F. (2020). *A History of British Baking*. Yorkshire, England: Great Britain
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M., & Taoukis, P. S. (2016). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry. *Food and Bioprocess Technology*, 99, 212–221.
- Eliasson, A. C. (1983). Differential scanning calorimetry studies on wheat starch—gluten mixtures: I. Effect of gluten on the gelatinization of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 1(3), 199–205.
- Giannone, V., Lauro, M. R., Spina, A., Pasqualone, A., Auditore, L., Puglisi, I., et al. (2016). A novel α -amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 381–389.
- Jaimez-Ordaz, J., Pérez-Flores, J. G., Castañeda-Ovando, A., González-Olivares, L. G., Añorve-Morga, J., & Contreras-López, E. (2019). Kinetic parameters of lipid oxidation in third generation (3G) snacks and its influence on shelf-life. *Food Science and Technology*, 39, 136–140.
- Ji, Y., Zhu, K., Qian, H., & Zhou, H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chemistry*, 104(1), 53–58.
- Labuza, T. P. (1980). The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology* (USA).
- M. Tako, Y. Tamaki, T. Teruya e Y. Takeda, Los principios de la gelatinización y retrogradación del almidón, *Ciencias de la alimentación y la nutrición*, vol. 5 N° 3, 2014, págs. 280-291.
- Majzoobi, M., Kaveh, Z., & Farahnaky, A. (2016). Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels. *Food Chemistry*, 196, 720-725.
- Melini, V., & Melini, F. (2018). Strategies to extend bread and GF bread shelf-life: From Sourdough to antimicrobial active packaging and nanotechnology. *Fermentation*, 4(1), 9.
- Nana, C. (2007). Muffins and Bagels. En H. Y. Hui. (Ed.), *Handbook of food products manufacturing*. (pp. 280-281). California, Estados Unidos: Wiley-interscience. Recuperado de https://mastermilk.com/uploads/biblio/handbook_of_food_products_manufacturing.pdf
- Osella, C. A., Sánchez, H. D., Carrara, C. R., de la Torre, M. A., & Pilar Buera, M. (2005). Water redistribution and structural changes of starch during storage of a gluten-free bread. *Starch-Stärke*, 57(5), 208–216.
- Park, J.-M., Koh, J.-H., & Kim, J.-M. (2018). Predicting Shelf-life of Ice Cream by Accelerated Conditions. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(6), 1216–1225.
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- RStudio Team. (2021). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. <http://www.rstudio.com/>
- Sang, W., Shao, X., & Jin, Z. T. (2015). Texture attributes, retrogradation properties and microbiological shelf life of instant rice cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1832–1838.