

ARTÍCULO ORIGINAL

Determinación de la vida útil de galletas artesanales de maíz nixtamalizado mediante pruebas aceleradas

Determination of the Shelf Life of Artisanal Nixtamalized Corn Cookies Using Accelerated Tests

Yoner Salas-Pastor¹, Alicia Cruzado¹, Kevin Ruiz¹, Jose Sánchez¹, Ronaldo Sánchez¹, Cristy Valera¹,
Max Sangay-Terrones¹, William Minchán-Quispe¹ y Marleny Vásquez¹

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la vida útil en anaquel de las galletas artesanales, marca "Tostis", elaboradas a base maíz nixtamalizado a través del empleo de pruebas aceleradas, en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca. El problema reside en la falta de información precisa sobre la vida útil de las galletas artesanales de maíz nixtamalizado, lo cual es crucial para garantizar la calidad y seguridad del producto durante su almacenamiento y comercialización. Las galletas se sometieron a condiciones de almacenamiento de 35, 47 y 60 °C, a 80 % de humedad en cámaras climatizadas. Se evaluó los parámetros críticos de humedad y acidez durante 27 días; se tomaron como referencia los Límites de Calidad Aceptable de la RM N°1020-2010/MINSA. Los cuales fueron modelados a una reacción de orden cero, utilizando ecuación de Arrhenius, concluyendo que el tiempo de vida útil de las galletas artesanales nixtamalizadas para una temperatura promedio de almacenamiento de 20 °C es 30 días considerando el parámetro crítico acidez (%).

Palabras clave: Arrhenius, vida útil, nixtamalizado, humedad, acidez.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the shelf life of the artisanal cookies, brand "Tostis," made from nixtamalized corn through the use of accelerated tests, in the district, province, and department of Cajamarca. The problem lies in the lack of precise information on the shelf life of nixtamalized corn artisanal cookies, which is crucial to ensure the quality and safety of the product during storage and commercialization. The cookies were subjected to storage conditions of 35, 47, and 60 °C, at 80% humidity in climate-controlled chambers. Critical parameters of moisture and acidity were evaluated over 27 days; the Acceptable Quality Limits of RM N°1020-2010/MINSA were used as a reference. These were modeled to a zero-order reaction using the Arrhenius equation, concluding that the shelf life of nixtamalized artisanal cookies at an average storage temperature of 20 °C is 30 days, considering the critical parameter of acidity (%).

Keywords: Arrhenius, shelf life, nixtamalized, humidity, acidity.

* Autor para correspondencia

1 Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Email: yasalasp@unc.edu.pe, acruzadoa22_1@unc.edu.pe, kruizp22_2@unc.edu.pe, jsanchezc22_3@unc.edu.pe, rsanchezc22_1@unc.edu.pe, cvalerao22_2@unc.edu.pe, msangay@unc.edu.pe, wminchanq@unc.edu.pe, mivasquezz@unc.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La nixtamalización es un proceso de cocción del maíz en una solución alcalina que se ha utilizado ancestralmente en la producción de tortillas, que mejora las propiedades nutricionales y sensoriales del maíz (Bressani, 1990). En los últimos años, este proceso ha sido adaptado para la elaboración de diversos productos, incluyendo galletas artesanales, debido a sus beneficios en la textura y sabor del producto final (González et al., 2018), que además son una alternativa para personas celiacas (Thompson, 2001).

La determinación de la vida útil de productos alimenticios es esencial para garantizar su calidad y seguridad durante el almacenamiento y comercialización, el fabricante requiere estimar la vida útil de su producto de manera rápida y sencilla, mientras, que el consumidor exige que, en la fecha de consumo del producto, este no experimente alteraciones fisicoquímicas como humedad y acidez (Isuiza et al, 2018), microbiológicas o sensoriales que puedan comprometer su salud (Díaz, 2022). Para determinar vida útil utilizando la ecuación de Arrhenius se debe destacar la importancia de identificar los indicadores críticos de deterioro que en galletas son humedad y la acidez (Bustamante, 2015; Salas, 2009). Gavino et al., (2018) determinaron una vida útil de 123, 179 y 271 días para humedad, actividad de agua y dureza instrumental en galletas saladas respectivamente, las que fueron sometidas a ambientes de almacenamiento de 35, 47 y 60 °C. En el caso de las galletas artesanales de maíz nixtamalizado, existe una falta de información precisa sobre su vida útil, lo cual es crucial para asegurar que el producto mantenga sus propiedades organolépticas y nutricionales a lo largo del tiempo. La ausencia de estudios específicos sobre la vida útil de estas galletas en condiciones aceleradas de almacenamiento representa una brecha significativa en la literatura científica y en la industria alimentaria.

La investigación proporcionará datos confiables sobre la vida útil de las galletas artesanales de maíz nixtamalizado, lo cual permitirá a los productores artesanales optimizar sus procesos de producción, distribución mejorando la calidad y la seguridad alimentaria en la industria de productos artesanales (Fernández et al., 2016) y generando conocimiento científico en este campo.

El propósito de esta investigación fue determinar la vida útil de las galletas artesanales de maíz nixtamalizado, marca “Tostis”, mediante pruebas aceleradas. Este estudio se llevó a cabo en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, y se centró en evaluar los parámetros críticos de humedad y acidez bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestra. La muestra experimental estuvo constituida por 24 paquetes de 18 g de galletas nixtamalizadas, las cuales procedieron del emprendimiento de la marca “Tostis”, ubicado en la ciudad de Cajamarca – Perú. Cada una de las muestras pertenecía a un mismo lote, con las mismas condiciones de proceso y materia prima.

Diseño experimental. Se aplicó la metodología de análisis de supervivencia con pruebas aceleradas. Se tomaron 24 paquetes de galletas artesanales las que se sometieron en cámaras de climatización a 3 temperaturas de almacenamiento (35, 47 y 60 °C) evaluando humedad y acidez. Las evaluaciones se realizaron cada 3 días por un periodo 27 días.

Preparación de las muestras analizadas. Las muestras fueron trituradas y pasaron por un tamiz de 0.5 mm; se tomaron 3 g y 5 g de muestra para determinar humedad y acidez respectivamente. Se realizaron 3 repeticiones por cada temperatura y para cada parámetro fisicoquímico.

Determinación de humedad. Se utilizó el método de estufa de acuerdo con el procedimiento analítico establecido por la NTP 206.011 2018 (INACAL, 2018).

Determinación acidez. Se utilizó el método volumétrico establecido por la NPT 206.013 1981 (INACAL, 1981).

Estimación de vida útil mediante pruebas aceleradas. Se determinó la orden de reacción en función del R^2 al relacionar el valor crítico (A) vs tiempo de almacenamiento (orden cero) y $\ln A$ vs $1/T_a$ (orden uno). Se escogió el orden de reacción que correspondió al mayor R^2 .

$$\frac{dA}{dt} = \pm k A^n \quad \text{Ec. 1}$$

Ecuación de cinética de reacción; donde n: orden de la reacción (0 o 1)

$$\ln A = \ln A_0 \pm kt \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

A: Atributo.

A_0 : Atributo inicial.

k: Constante de cinética de reacción.

t: Tiempo.

Determinación de la E_a y K_{20}

Se determinó la energía de activación (E_a) de la gráfica $\ln k$ vs. $1/T$ abs (°K); donde E_a/R fue la pendiente y $\ln k_0$, la intersección.

$$\ln k = \ln K_0 - \frac{E_a}{RT} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

k_0 : Factor pre-exponencial

Ea: Energía de activación (KJ/mol)

R: Constante universal de los gases (0.008314 KJ/mol K)

T: Temperatura absoluta (K)

Luego se emplearon los valores hallados de Ea y K_0 , para calcular el k_{20} donde la temperatura absoluta fue 293 K; empleando la siguiente ecuación:

$$k = k_0 e^{\frac{-Ea}{RT}} \quad \text{Ec. 4}$$

Conociendo todos los parámetros se determinó el tiempo de vida útil de galletas artesanales nixtamalizadas mediante la Ecuación 2.

RESULTADOS

Determinación del tiempo de vida a partir del porcentaje de humedad

En la Figura 1 se presenta la variación de la humedad de las galletas artesanales nixtamalizadas respecto al tiempo de almacenamiento, para las temperaturas de 35, 47 y 60 °C, observando que a la temperatura de 60 °C la humedad aumenta rápidamente en comparación de las otras dos temperaturas.

Figura 1

Tendencia de los valores del porcentaje de humedad, respecto al tiempo de almacenamiento de las galletas nixtamalizadas a 35, 47 y 60 °C.

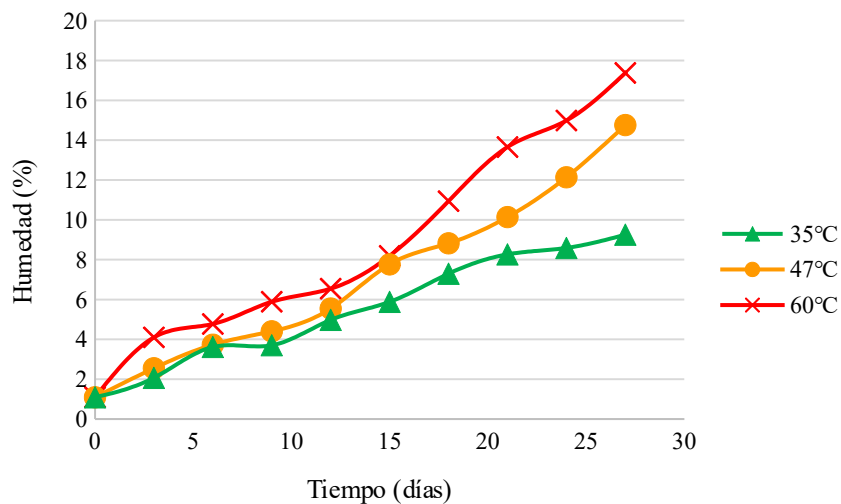


Tabla 2

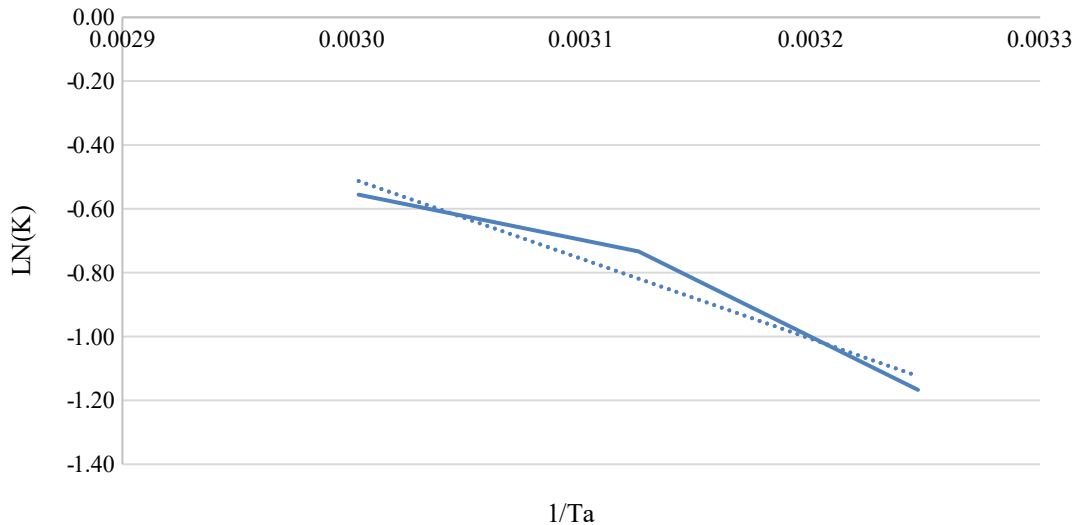
Valores de k para cada temperatura (35, 47 y 60 °C), cinética $n=0$

T(°C)	R ²	Pendiente (K)	Intersección (Q ₀)
35	0.99	0.3113	1.2729
47	0.98	0.4801	1.8406
60	0.97	0.5737	1.0095

Los valores del R^2 establecieron que el orden de reacción es cero para las tres temperaturas (Tabla 2). En la Figura 2 se muestra la regresión lineal usando el logaritmo neperiano de la humedad respecto al tiempo de almacenamiento a las tres temperaturas en estudio.

Figura 2

Relación entre $\ln(\text{humedad})$ en función del tiempo de almacenamiento (días) de las galletas nixtamalizadas a 35, 47 y 60 °C.



Para estimar la vida útil de las galletas artesanales nixtamalizadas, se ha determinado la energía de activación (E_a), k_0 , k_{20} (20 °C) estableciendo un tiempo de 1.717 meses (Tabla 3).

Tabla 3

Determinación de la energía de activación (E_a), k_0 , k_{20} (20 °C) y el tiempo de vida con respecto al contenido de humedad de las galletas artesanales nixtamalizadas

$-E_a$ (KJ/mol)	K_0	K_{20}	Hc (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
20.86	1118.67	0,2141	12	51.54	1.718

Nota: Hc, humedad crítica; E_a , energía de activación; k_{20} , constante de cinética de reacción a 20 °C; K_0 , Factor pre-exponencial; t_{20} , tiempo de vida a 20 °C.

Determinación del tiempo de vida a partir de la acidez (%)

En la Figura 3 se presenta la variación de la acidez (%) de las galletas artesanales nixtamalizadas respecto al tiempo de almacenamiento a 35, 47 y 60 °C. Se observa que a 60 °C la acidez aumentó en mayor grado a comparación de las temperaturas de 35 y 45 °C. Además, se observa que los valores obtenidos no se ajustan a una línea recta, por lo cual se determinaron los valores de R^2 (Tabla 4) y se establecieron el orden de la reacción cero para las tres temperaturas.

Figura 3

Tendencia de los valores de acidez respecto al tiempo de almacenamiento de las galletas a 35, 47 y 60 °C.

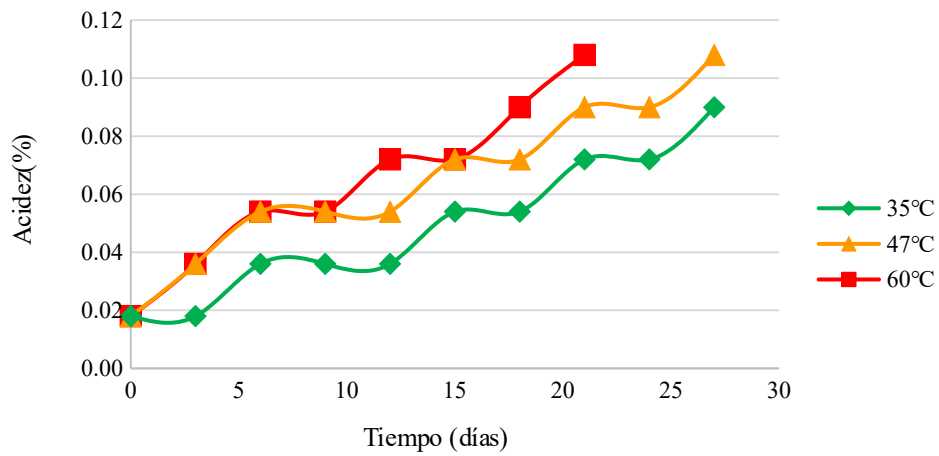


Tabla 4

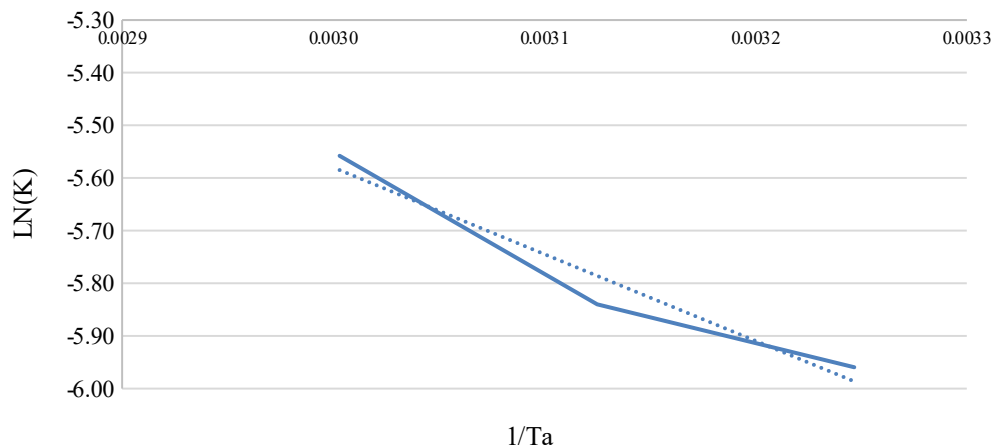
Valores de K para cada temperatura (35, 47 y 60 °C)

T(°C)	R ²	Pendiente (K)	Intersección (Qo)
35	0.95	0.0026	0.0137
47	0.95	0.0029	0.0376
60	0.96	0.0039	0.0225

Nota: Los valores de R², pendiente (k) e intersección de cada temperatura se obtuvieron al modelar los datos a una ecuación linealizada de orden de reacción uno, donde la abscisa fue el tiempo y la ordenada el logaritmo neperiano de la acidez

Figura 4

Relación entre Ln(Acidez) en función del tiempo de almacenamiento (días) de las galletas nixtamalizadas a 35, 47 y 60 °C



Para estimar la vida útil de las galletas artesanales nixtamalizadas, se ha determinado la energía de activación (E_a), k_0 , k_{20} (20 °C) estableciendo un tiempo de 1.02 meses (Tabla 5).

Tabla 5

Determinación de la Energía de activación, K_0 , K_{20} y el tiempo de vida respecto a la actividad de agua de las galletas nixtamalizadas.

E_a (KJ/mol)	K_0	K_{20}	Acidez _c (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
13.70	1.89	0.0019	12	30.8	1.02

Nota: Acidez_c, actividad de agua crítica; E_a , energía de activación; k_{20} , constante de cinética de reacción a 20 °C; K_0 , Factor pre-exponencial; t_{20} , tiempo de vida a 20 °C.

DISCUSIÓN

Los valores críticos fueron: 12 % de humedad y 0.10 % de acidez (MINSA, 2010). El valor de la humedad crítica es similar a lo reportado por Gavino et al., (2018) en galletas saladas (6.38 %), quien además menciona que hasta este valor de humedad las galletas son aceptadas por los consumidores, con un nivel más alto disminuye la aceptación, debido al cambio de humedad la que afecta a la crocancia de las galletas.

Los resultados muestran un aumento significativo de la humedad en las galletas almacenadas a 60 °C en comparación con las galletas almacenadas a 35 °C y 47 °C (Figura 1). Estas diferencias sugieren que la temperatura influye directamente en la capacidad de retención de agua del producto, debido a una mayor liberación de humedad desde las capas internas, es decir a temperaturas elevadas se puede observar una reabsorción de humedad de las galletas artesanales nixtamalizadas indicando que a 60 °C son más susceptibles a la degradación acelerada. Esto se traduce en una menor vida útil, ya que una mayor humedad puede influir negativamente en la textura y favorecer la actividad microbiana (Mari et al., 2024), acorde con lo citado por Wodecki et al. (2023) quienes señalan que, a temperaturas elevadas, algunos productos pueden mostrar un aumento temporal de humedad debido a la difusión interna del agua desde capas más profundas hacia la superficie antes de que ocurra la evaporación.

Una pendiente excesiva (E_a/R) significa que la reacción es más dependiente de la temperatura; es decir, a medida que la temperatura se incrementa, la reacción aumenta a una velocidad mayor (Valentas et al., 1997). Además, el contenido de humedad puede influenciar los parámetros cinéticos E_a y K_0 , las concentraciones de los reactantes y en algunos casos el orden de reacción aparente (Chica y Osorio, 2003); lo cual incrementa la facilidad de migración del vapor de agua a través del empaque a la galleta. El tiempo de vida de la galleta artesanal nixtamalizada considerando como característica crítica a la Humedad fue 51 días (Tabla 3), superior al obtenido considerando como parámetro crítico 30 días, pero

inferior a los 45 días reportado por Kurniadi et. al (2019). La diferencia entre el valor experimental y el teórico se debe principalmente a que la unidad experimental evaluada fue un paquete de galletas artesanales, a diferencia de la presentación de las galletas saladas de harina de yuca modificada que tenían un empaque de polietileno secundario que actuaba como barrera al vapor de agua, alargando su tiempo de vida.

Los resultados reportados para la acidez de las galletas artesanales nixtamalizadas almacenadas a 35, 47 y 60 °C (Figura 3) muestran un incremento en la acidez debido a la oxidación de lípidos (Choe y Min, 2007, Isuiza et al, 2018) a lo largo del tiempo, esto tiene relación con la aceleración de reacciones químicas a temperaturas elevadas, lo que coincide con investigaciones previas que destacan cómo la temperatura y la humedad relativa afectan la tasa de deterioro de los productos horneados (Cauvain, 2015). Este comportamiento también se relaciona con la pérdida de frescura y la modificación de las propiedades organolépticas de las galletas a lo largo del tiempo (Meilgaard et al., 2019; Yilmaz, 2017). La vida útil de la galleta artesanal nixtamalizada, tomando en cuenta la acidez como característica crítica, fue de 30,8 días (Tabla 5). Este resultado es superior al parámetro crítico de 30 días, pero menor (45 días) al reportado por Kurniadi et. al (2019). La discrepancia entre el valor experimental y el teórico se debe principalmente a que la unidad evaluada fue un paquete de galletas artesanales, a diferencia de las galletas saladas que contaban con un empaque secundario que actuaba como barrera contra el vapor de agua, prolongando así su vida útil.

CONCLUSIONES

El tiempo de vida útil de las galletas artesanales nixtamalizadas marca “Tostis” mediante pruebas aceleradas, considerando como parámetros críticos a la humedad y acidez, es de 30 días a una temperatura promedio de almacenamiento de 20 °C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustamante Oyague, B. (2015). Estudio de la vida útil de galleta salada mediante la ecuación de Arrhenius. Universidad Nacional del Callao. Lima, Perú.
- Bressani, R. (1990). Nixtamalization of maize. *Food Reviews International*, 6(2), 225-264.
- Chica, B. y Osorio, S. (2003). *Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado* (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Caldas, Colombia
- Choe, E., y Min, D. B. (2007). Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(3), 239-248.
- Cauvain, S. P., y Young, L. S. (Eds.). (2018). *Technology of breadmaking* (3rd ed.). Springer International Publishing.

- Díaz, A. (2022). *Análisis de las metodologías más utilizadas para la determinación de la vida útil de alimentos* (Tesis pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Fernández, A., Rojas, E., García, A., Mejía, J., y Bravo, A. (2016). Evaluación fisicoquímica, sensorial y vida útil de galletas enriquecidas con subproductos proteicos de suero de quesería. *Revista Científica*, 26(2), 71-79.
- Gavino, G., Jhoselyn, ;, Liñan Perez, F., Coavoy Sánchez, I., Coronado Olano, J., Walter, ;, Salas Valerio, F., Fernando, L., y Delgado, V. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. *Anales Científicos*, 79(1), 218–225. <https://doi.org/10.21704/AC.V79I1.1166>
- González, J., Pérez, M., y López, R. (2018). Adaptación del proceso de nixtamalización para la elaboración de galletas. *Journal of Food Science*, 83(4), 1023-1030.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (1981). *NTP 206.013:1981. Bizcochos, galletas, pastas y fideos. Determinación de la acidez*. Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018). *NTP 206.011:2018. Bizcochos, galletas y pastas o fideos. Determinación de humedad*. Lima, Perú: INACAL.
- Isuiza, G. G. P., Perez, J. F. L., Sánchez, I. C., Olano, J. C., Salas, W., y Delgado, L. F. V. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. *Anales Científicos*, 79(1), 218-225. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Kurniadi, M., Khasanah, Y., Kusumaningrum, A., Angwar, M., Rachmawanti, D., Parnanto, N. y Pratiwi, L. (2019). Formulación y predicción de la vida útil de galletas a partir de harina de yuca modificada (Mocaf) en envases flexibles. *Serie de conferencias IOP: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*, 251. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012034>.
- Mari, V., Rossi, M., y Benítez, J. (2024). Water Reabsorption in Baked Goods during Drying Stages: Temperature Effects. *Journal of Food Science and Technology*, 39(2), 215-223.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., y Carr, B. T. (2019). *Técnicas de Evaluación Sensorial*. CRC Press.
- Ministerio de Salud (MINSAL). (2010). *Resolución Ministerial N° 1020-2010-MINSA. Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería*. Lima, Perú: MINSAL.
- Salas, M. (2009). Determinación de la vida útil de productos alimenticios. *Journal of Food Quality*, 32(3), 345-356.
- Thompson, T. (2001). Wheat starch, gliadin, and the gluten-free diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 101(12), 1456-1459. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(01\)00350-1](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(01)00350-1)
- Valentas K.J., Rostein E., Singh R.P. 1997. *Handbook of Food Engineering Practice*. CRC Press. Boca Raton - New York.
- Yilmaz, Y., y Karadeniz, F. (2017). Maillard reaction and caramelization in food products: Mechanisms and impact on product quality. *Food Chemistry*, 225, 263-272.
- Wodecki, M., Zwierz, W., y Figiel, A. (2023). Desarrollos recientes en la hibridación de la técnica de liofilización en la deshidratación de alimentos: una revisión de las cualidades químicas y sensoriales. *Alimentos*, 12(18), 3437 P.