

DETERMINACIÓN DE LA VIDA DE ANAQUEL DE GALLETAS CON HARINA DE ALMENDRA Y CÁSCARA DE MANGO

SHELF LIFE DETERMINATION OF COOKIES WITH ALMOND FLOUR AND MANGO PEEL

López Aranda Erika¹, Cervantes Munguía Christian², Gabilán Linares Eleodoro³, Romero Cruz Anabel⁴

¹ Maestra en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, erika.lopez@itsao.edu.mx, 9531126180, CP 74949.

² Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, christian.cervantes@itsao.edu.mx, 8110152507, CP 74949.

³ Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, eleodoro.gabilan@itsao.edu.mx, 9531113094, CP 74949

⁴ Maestra en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, anabel.romero@itsao.edu.mx, 9531052567, CP 74949.

Resumen -- El propósito de esta investigación fue estimar la vida de anaquel de formulaciones de galletas elaboradas con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de cáscara y almendra de dos variedades de mango (*Mangifera indica L.*), a través de pruebas aceleradas. Se emplearon dos formulaciones, F2 y F4, con 14% y 10% de harina de cáscara de mango criollo y pescado, respectivamente, ambas con un porcentaje fijo (23%) de harina de almendra de mango de cada variedad, además de otros de ingredientes. Las formulaciones se almacenaron a 40 y 50°C, durante 60 días. Se empleó la apreciación general, el porcentaje de humedad e índice de peróxidos como indicadores de deterioro. Se realizaron dos muestreos por cada temperatura y los resultados se emplearon para definir la cinética de esta reacción de deterioro, la cual se asumió como de orden uno. El índice de peróxidos fue el parámetro de calidad más afectado por las condiciones de almacenamiento y, por lo tanto, tiene influencia en el tiempo de vida útil de las galletas; resultando 5.04 y 5.28 meses, el periodo en que las formulaciones de las galletas F2 y F4, tendrán una vida útil, almacenadas a una temperatura de 25°C.

Palabras Clave: Galletas, Anaquel, Indicadores, Calidad, Pruebas aceleradas.

Abstract -- The purpose of this research was to estimate the shelf life of cookies formulations made with partial replacement of wheat flour with peel and almond flours from two varieties of mango (*Mangifera indica L.*), through accelerated tests. Two formulations were used, F2 and F4, with 14% and 10% of mango criollo and pescados peel flour, respectively, both with a fixed percentage (23%) of mango kernel flour of each variety, in addition to other ingredients. The formulations were stored at 40 and 50°C for 60 days. The general appreciation, the percentage of humidity and the peroxide index were used as indicators of deterioration. Two samplings were carried out for each temperature and the results were used to define the kinetics of this deterioration reaction, which was assumed to be of order

one. The peroxide index was the quality parameter most affected by storage conditions and, therefore, has an influence on the shelf life of the cookies; resulting in 5.04 and 5.28 months, the period in which the F2 and F4 cookies formulations will have a shelf life, stored at a temperature of 25°C.

Key words – Cookies, Shelf, Indicators, Quality, Accelerated tests.

INTRODUCCIÓN

La calidad en los alimentos, tal como lo expresan Meléndez-Pastrana *et al.* [1], es la certeza de que un producto satisface las necesidades, gustos y preferencias del consumidor y mientras que, la confiabilidad es aquella que garantiza que el producto permanece en buenas condiciones durante cierto periodo de tiempo, manteniendo el nivel requerido de sus propiedades sensoriales y de seguridad, bajo ciertas condiciones de almacenamiento [2, 3]. La determinación de la confiabilidad de los alimentos procesados en la industria alimentaria permite tener una fecha estimada de vida útil, fecha de consumo preferente y de caducidad, que evitará que existan mermas o pérdidas monetarias [1] al suplir productos y mantenerlos en el mercado sin ningún problema de seguridad o de rechazo por los consumidores [4].

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico [5]. Al finalizar este periodo de vida útil el producto ya no mantiene las cualidades requeridas para que el consumidor final lo utilice.

La vida útil de un producto depende de factores ambientales, de la temperatura de exposición, del proceso térmico al que se somete [8], materia prima, la formulación del producto, el proceso aplicado, las

condiciones sanitarias del proceso, el envasado, el almacenamiento, la distribución y las prácticas de los consumidores [5], aunado a estos, se deben considerar los aspectos microbiológicos que afectan la estabilidad de un alimento después de ser expuesto a técnicas de conservación, simples o combinadas, con la finalidad de eliminar, reducir o prevenir el crecimiento y desarrollo de bacterias así como de hongos o que pueden emplear a los alimentos como vehículo. La influencia de estos factores se verifica en el cambio en las características del alimento que evitan su comercialización, tales como cambios de sabor, color, textura o pérdida de nutrientes [6].

Para la determinación de la vida útil existe tres métodos de evaluación. Las pruebas de vida útil en tiempo real permiten tener datos puntuales en un lapso de tiempo prolongado que resulta poco práctico para la empresa o investigador, que se ve reflejado en mayores tiempos y gastos asociados [3, 4, 7, 8]. La simulación y la estimación basada en modelos, es una técnica que implica la combinación de expresiones de la sensibilidad del producto, la eficacia del empaque y la severidad del medio ambiente en un modelo matemático [3]. Finalmente, las pruebas aceleradas permiten la obtención de datos en tiempo relativamente cortos [6, 3, 9] y consisten en incubar el alimento bajo condiciones adecuadas y a diferentes temperaturas [9]; en general, las temperaturas consideradas deben ser mayores a la que se tendrían durante el almacenamiento y comercialización para que se aceleren las reacciones de deterioro y se obtenga los resultados en un periodo de tiempo significativamente más corto [3, 6, 9], con respecto a otros métodos.

En los estudios de vida acelerados se incluyen aquellos métodos que puedan ser capaces de evaluar la estabilidad del alimento con base en los datos de los indicadores de vida útil del producto en un periodo más corto que el periodo de vida útil real del producto, entre estos se encuentran: elevado número de microorganismos, oxidación de grasas y aceites, migración de humedad, pérdida de vitaminas y nutrientes, cambios de textura debidos a actividades enzimáticas, degradación de proteínas, pérdida de sabor y color, disminución o aumento de la viscosidad [5], entre otros.

Tal como indica García & Molina [4], para determinar la vida útil de un alimento o producto, primero deben identificarse las reacciones químicas o biológicas que influyen en la calidad y seguridad de este, considerando la composición del alimento y el proceso a que es sometido y se procede a establecer las reacciones más críticas en la calidad. En este sentido, las cinéticas de orden cero, primer y segundo orden se han utilizado para estudiar las reacciones de degradación en productos alimenticios frescos y procesados [3, 7]. Estudios para determinar la vida útil de pasta de tomate [9], pasta de ajonjolí azucarada [7] y mayonesa [4] han empleado cinéticas de orden 0, al ser las más usadas debido a su

fácil manejo y buenos resultados la mayoría de las veces [3, 7], mientras que las de orden uno se ha empleado para determinar la vida útil de una formulación dietética [20], y galletas saladas utilizando [3] pruebas aceleradas. En algunas investigaciones se opta por encontrar la velocidad de degradación (k) a diferentes temperaturas de almacenamiento, prueba a la que se le llama de almacenamiento acelerado [7], que se ha empleado en mayonesa adicionada con aceite de orégano microcapsulado [11]. Usualmente se utiliza el modelo de Arrhenius para describir la dependencia de la temperatura a través de la energía de activación (E_a) de la reacción [12] empleados por Guzmán [7] y Puma *et al.* [3].

Las galletas son productos de panadería no perecederos, lo cual les otorga una vida útil mayor a seis meses. El consumidor se ve atraído a estos productos cuando mantienen su apariencia y sus características sensoriales óptimas [13, 14]. Son almacenadas a temperatura ambiente en empaques flexibles con altas barreras contra el oxígeno y el vapor de agua, durante su almacenamiento este tipo de productos pueden sufrir cambios importantes en sus propiedades sensoriales, físicas, químicas y microbiológicas, que reducen la aceptabilidad del producto [15]. Dentro de sus indicadores de deterioro se encuentran la oxidación de lípidos y pérdida de crujencia debido a los altos contenidos de grasa y la absorción de humedad. Mientras que el deterioro microbiológico no representa problemas durante su vida de anaquel.

Como una alternativa de aprovechamiento del excedente de producción de mango (*Mangifera indica L.*) en la región mixteca poblana y en ausencia de plantas procesadoras de este fruto, se han desarrollado galletas a partir de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de residuos de mango (cáscara y almendra) con el propósito de mejorar su contenido nutrimental y funcional, aumentando su valor agregado.

El objetivo de este estudio fue determinar la vida útil en anaquel de galletas elaboradas con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de cáscara y almendra de dos variedades de mango. Se plantea que las propiedades sensoriales, porcentaje de humedad e índice de peróxidos pueden ser considerados como indicadores de calidad en la determinación de la vida útil de formulaciones de galletas con harina de cáscara y almendra de mango a través de métodos acelerados

Se debe de utilizar la palabra INTRODUCCIÓN en mayúsculas, Times New Roman, 10 pts., negritas y espacio simple el cual viene por defecto en esta plantilla. Este apartado hace mención a los antecedentes del problema. Se describe el estado actual del tema. Se define el problema de la investigación. Se describen los objetivos del trabajo. Se describe la justificación del trabajo.

DESARROLLO

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio Básico Multifuncional, Taller de Industrias Alimentarias y Laboratorio de Microbiología, pertenecientes a la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias del Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio.

Preparación de formulaciones de galletas

Con base a una formulación F0 se establecieron los ingredientes y sus proporciones a utilizar, para obtener seis formulaciones que incluyeron una proporción fija de harina de almendra de mango y una cantidad variable de harina de cáscara de mango criollo (F1, F2 y F3) y pescado (F4, F5 y F6), respectivamente, además de manteca vegetal, sal, royal, margarina, huevo, vainilla y azúcar (Tabla 1).

Tabla 1. Niveles de sustitución en formulaciones de galletas.

Ingredientes	Porcentaje					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Harina de trigo	67	63	60	67	63	60
Harina de cáscara	10	14	17	10	14	17
Harina de almendra	23	23	23	23	23	23

Fuente: Elaboración propia

Las galletas fueron elaboradas siguiendo las etapas de un proceso previamente estandarizado, horneadas durante 20 minutos a 180 °C; y posteriormente alcanzada la temperatura ambiente fueron envasadas en bolsas de polipropileno conteniendo 6 galletas.

Determinación de formulaciones a evaluar

Para la selección de las dos formulaciones a evaluar su vida útil a través de métodos acelerados a dos temperaturas de almacenamiento, se realizó una evaluación sensorial por categorías de preferencia a través de un panel de catadores conformado por cinco jurados consumidores de galletas, empleando una escala en orden ascendente para poder evaluar la dirección de preferencia. Se tomaron las formulaciones mejor evaluadas para cada variedad, resultando con mayor preferencia las formulaciones F2 y F4, para mango criollo y pescado, respectivamente.

VARIABLES DE RESPUESTA

La evaluación sensorial se realizó con un panel conformado por 5 jurados consumidores de galletas. Se evaluó la apreciación general. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos, en la cual 1 es me disgusta muchísimo y 9 es me gusta muchísimo.

El contenido de humedad se determinó de acuerdo con la NMX-F-428-1982 [16], método de termobalanza. Se

tomaron 5 g de cada formulación y en un mortero con pistilo se trituraron, posteriormente la muestra triturada se colocó en una termobalanza marca VELAB modelo VE-505 y se inició el sacado a una temperatura de 105°C; se reportó el promedio de dos repeticiones en porcentaje de humedad.

El índice de peróxidos está definido como la cantidad (expresada en meq de O₂/kg de grasa) de peróxidos en la muestra causantes de la oxidación del yoduro potásico en las condiciones de trabajo planteadas [7, 8] en esta investigación. La muestra problema se disolvió en una mezcla de ácido acético:cloroformo, posteriormente se trató con solución de yoduro potásico. El yodo liberado se valoró con una solución valorada de tiosulfato de sodio 0.02 M según el método ISO 3960 de la técnica de determinación de IP para bajo los lineamientos de la A.O.A.C. 965.33 [17]. Los ensayos se realizaron triplicado. Finalmente, el IP se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{100(V - V_0)}{m} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde IP (meqO₂/Kg) es el índice de peróxido en aceite, V (cm³) es el volumen de solución de tiosulfato de sodio 0.02M empleado para la determinado, V₀ (cm³) es el volumen de solución de tiosulfato de sodio 0.02M empleado en el blanco, C(mol/L) es la concentración de la solución de tiosulfato, y m (g) es la masa de la muestra.

Metodología y procedimiento experimental

Las formulaciones F2 y F4 empacadas en bolsas de polipropileno fueron almacenadas en estufas de cultivo de la marca ECOSHEL modelo 9082 y se sometieron a dos temperaturas (40 y 50 °C) durante un lapso de 60 días. Se realizaron por duplicado, análisis sensorial, y fisicoquímico (porcentaje de humedad e índice de peróxidos) a los 0, 7, 14, 30 y 60 días.

Diseño experimental

El experimento se empleó un diseño completamente al azar, en un arreglo factorial 2 x 2 x 5, para un total 20 tratamientos, dos formulaciones de galletas, dos condiciones de almacenamiento y evaluados en cinco tiempos de almacenamiento (0, 7, 14, 30 y 60 días).

Análisis estadístico

El análisis para determinar el efecto de la formulación y la temperatura durante la vida de anaquel por el método acelerado se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento de modelos lineales generales (GLM). Para cada uno de los efectos se realizó la comparación de medias empleando la media de comparación de Tukey. Todos los análisis se realizaron

en el paquete estadístico Minitab (Versión 17). En todos los análisis, se consideró un valor de Alpha ≤ 0.05 como efecto significativo.

Determinación del tiempo de vida mediante pruebas aceleradas

Se determino el orden de reacción en función de R^2 al relacionar el valor crítico (C) versus el tiempo de almacenamiento (orden cero) y LnC versus tiempo de almacenamiento (orden uno). Según el indicador de calidad, se eligió el orden de reacción que correspondió al mayor R^2 [1, 3, 4, 5, 10, 12].

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

$$\frac{dC}{dt} = \pm kC^n \quad \text{Ec. (2)}$$

Ecuación de la cinética de la reacción linealizada para orden uno:

$$\ln C = \ln C_0 \pm kt \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde C es al atributo de calidad, C_0 es el atributo de calidad inicial, K es la constante de cinética de reacción, t es el tiempo.

Determinación de Ea y K_{25}

Se determino la energía de activación (Ea) de la gráfica LnK vs. $1/T(^{\circ}K)$; donde Ea/R fue la pendiente y Ln k_0 , el intercepto.

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde k_0 es el factor pre-exponencial o factor de frecuencia (1/min), K es la constante de velocidad de reacción, Ea es la energía de activación de la reacción (KJ/mol), R es la constante universal de los gases (0.008314 KJ/molK), T es la temperatura absoluta (K).

Puesto que la constante de velocidad de reacción es función de la temperatura, esta dependencia es descrita por la ecuación de Arrhenius. El modelo de Arrhenius describe la relación de la constante de velocidad de reacción con la temperatura según la ecuación (5):

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Al aplicar logaritmos a ambos lados de la ecuación, se obtuvo la ecuación de la línea recta con pendiente Ea/R, tal como lo expresa la siguiente ecuación. Luego se emplearon los valores hallados de Ea y K_0 , para calcular el k donde la temperatura absoluta fue 293 K.

$$\ln k = \ln C - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \text{Ec. (6)}$$

Una vez conocidos todos los parámetros se determinó el tiempo de vida útil de las formulaciones de galletas con

sustitución parcial de harina de trigo con harina de hueso y cáscara de mango criollo y pescado. Los datos fueron procesados en Excel®.

Determinación del Factor Q_{10}

El parámetro Q_{10} , se determinó mediante las constantes de velocidad de reacción a las temperaturas mencionadas, es el cociente de la constante de velocidad a la temperatura T de y la constante de velocidad de reacción a la temperatura de $(T + 10^{\circ}C)$, estas temperaturas se seleccionaron para establecer una diferencia de $10^{\circ}C$ y así poder calcular el valor de Q_{10} [4, 18]. Este no es constante, sino que depende de Ea y la temperatura absoluta T. Este parámetro Q_{10} se calculó de acuerdo con la ecuación (6).

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} = e^{\left(\frac{10E_a}{RT(T+10)}\right)} = \frac{VU_T}{VU_{T+10}} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde k_T es la velocidad de reacción a T_1 , $k_T + 10$ es la constante a $T_2 = T_1 + 10^{\circ}C$, VU_T es la vida útil del producto a T_1 y $VU_T + 10$ es la vida de anaquel a T_2

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de varianza se realizó con el objetivo de resaltar qué indicadores de calidad mostraron una variación significativa durante el almacenamiento a dos temperaturas en las dos formulaciones de galletas (F2 y F4). Para ambas formulaciones, las puntuaciones sensoriales de apreciación general mostraron diferencias significativas ($p=0.00$) con respecto al tiempo y temperatura de almacenamiento, a mayor tiempo de almacenamiento y elevadas temperaturas la percepción sensorial de este indicador de calidad disminuyó por debajo del nivel de aceptación. De igual forma, la humedad e índice de peróxidos tuvieron diferencias significativas ($p=0.00$) entre las formulaciones, a las temperaturas y tiempo de almacenamiento. Las formulaciones sometidas a mayor temperatura y tiempo de almacenamiento tuvieron una disminución por debajo de los niveles crítico aceptables, este comportamiento coincide a lo reportado en la estimación de vida útil de lechuga recién cortada [18].

Determinación del tiempo de vida a partir de apreciación general

En la figura 1 se presenta la variación de la apreciación general de las dos formulaciones de galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina de cáscara y almendra de mango criollo y pescado, para las temperaturas de $40^{\circ}C$ y $50^{\circ}C$, se observa que en el día 30, la apreciación general de las formulaciones presentó una disminución significativa respecto a la valoración inicial, sin importar la temperatura de almacenamiento; de acuerdo a la escala hedónica, las formulaciones se valoraron por debajo del límite crítico (5) en el día 60. Lo anterior indica que a mayor tiempo de almacenamiento y

mayor temperatura este indicador de calidad cambia lo que a su vez disminuye la aceptación por debajo del nivel crítico. Este comportamiento coincide con lo reportado por Cordón [19] en la determinación de la vida de anaquel de una rosquilla hondureña, almacenadas en ambientes a temperatura superior a 40 °C, las cuales mostraron un deterioro significativo. Hay ciertas condiciones que aceleran la descomposición, como la luz, el oxígeno, la temperatura o la humedad.

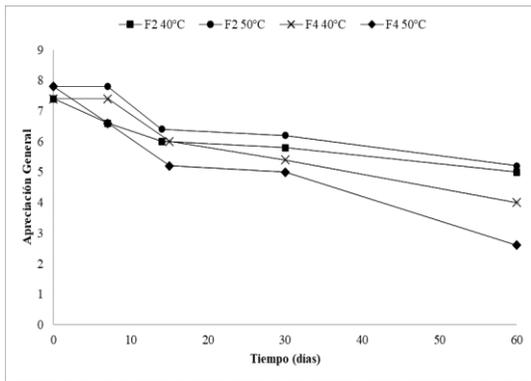


Figura 1. Tendencia de los niveles de aceptación de la apreciación general respecto al tiempo de almacenamiento de las galletas a 40 y 50°C.

Los valores del R² establecieron que el orden de la reacción fue uno para las dos temperaturas, con ambas formulaciones. En la Figura 2 se muestra la regresión lineal usando el logaritmo neperiano del nivel de aceptación de la apreciación general respecto al tiempo de almacenamiento a las dos temperaturas en estudio.

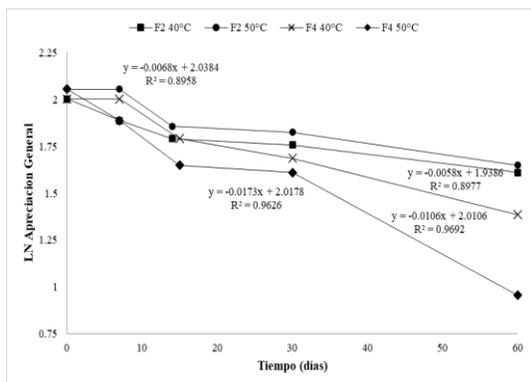


Figura 2. Relación entre Ln (Apreciación General) en función del tiempo de almacenamiento (días) de las galletas a 40 y 50 ° C.

Se utilizó la ecuación de Arrhenius para hallar la constante de velocidad k a 25 °C, y así determinar el tiempo de vida útil de las formulaciones de F2 y F4 de galletas (Tabla 2), obteniendo un k a 25°C de 0.0045 y 0.00648.

Tabla 2. Determinación de la energía de activación (Ea), Ko, k25 (25°) y el tiempo de vida con respecto a la apreciación general de las formulaciones F2 y F4 de galletas.

Formulación	-Ea (KJ /mol)	K ₀	k ₂₅ día ⁻¹	Valor crítico de apreciación general	t ₂₅ Meses	t ₂₅ Años
F2	0.959	0.918	0.0045459	5	6.72	0.56
F4	2.851	0.020	0.0064868	5	10.8	0.90

Ea, energía de activación; k₂₅, constante de cinética de reacción a 25 °C; K₀, Factor pre-exponencial; t₂₅, tiempo de vida a 25°C.

Determinación del tiempo de vida a partir del porcentaje de humedad

Se presentó un aumento en la humedad en base seca (b.s.) de las galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina de cáscara y almendra de mango de dos variedades, respecto al tiempo de almacenamiento (Figura 4), a 50°C se produce un aumento mayor en los primeros 7 días en comparación a la temperatura menor, pues la temperatura es una fuerza impulsora para ganancia de agua a través de la transferencia de masa por difusión de la humedad ambiental [3, 19].

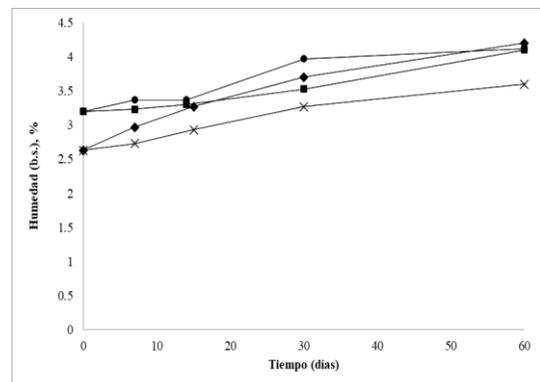


Figura 3. Tendencia del porcentaje de humedad con respecto al tiempo de almacenamiento de las formulaciones de galletas F2 y F4 a 40 y 50°C.

Los valores del R² establecieron que el orden de la reacción fue uno para las tres temperaturas. La Figura 4 presenta los valores de los coeficientes de determinación, pendiente (k) e intercepto de cada temperatura al modelar los datos a una ecuación lineal de orden uno, con el LN porcentaje de humedad (b.s.) en función del tiempo de almacenamiento. Puma *et al.* [3] evaluaron galletas de soda en ambientes de almacenamiento de 35, 45 y 55 °C así como Hao [20] evaluaron galletas en empaques sensibles a la humedad a 20, 25, 30 and 38 °C, ambos investigaciones determinaron que para el aumento de humedad el orden de reacción fue uno, coincidiendo con los resultados de esta investigación.

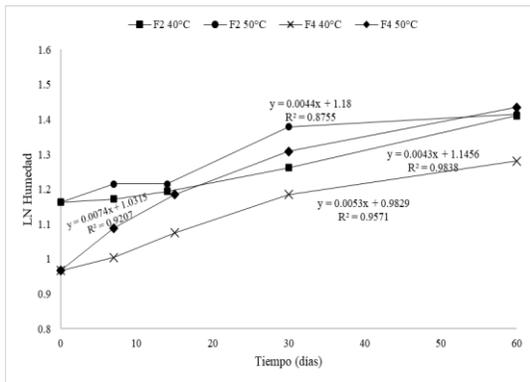


Figura 4. Relación entre Ln (porcentaje de humedad) en función del tiempo de almacenamiento (días) de las galletas F2 y F4 a 40 y 50°C.

Para encontrar la constante de velocidad de deterioro a 25°C, y por ende, determinar el tiempo de vida útil, se utilizó la ecuación de Arrhenius, se obtuvo 0.006352 y 0.0031506, para las formulaciones F2 y F4 (Tabla 3), respectivamente, estos valores son inferiores a lo reportado por Bustamante-Oyague [14] de 0.009 y a 0.0097 publicado por Puma *et al.* [3], ambos resultados a 20°C. Las energías de activación para ambas formulaciones fueron menores a lo reportado por Puma *et al.* (2018) para una galleta de soda, 312897 KJ/mol.

Tabla 3. Determinación de la energía de activación (Ea), Ko, k₂₅ (25°) y el tiempo de vida con respecto al porcentaje de humedad de las formulaciones.

Formulación	-Ea (KJ/mol)	K ₀	k ₂₅ día ⁻¹	Humedad crítica	t ₂₅ Meses	t ₂₅ años
F2	2.28584993	0.010	0.0063252	3.33%	6.2	0.52
F4	27.2608633	188.70	0.0031506	3.05%	8.16	0.68

Ea, energía de activación; k₂₅, constante de cinética de reacción a 25 °C; K₀, Factor pre-exponencial; t₂₅, tiempo de vida a 25°C.

Determinación del tiempo de vida a partir del índice de peróxidos

El comportamiento del índice de peróxidos (IP), meq O₂/Kg de producto, de las formulaciones F2 y F4 durante el periodo de almacenamiento a 40 y 50°C, se presenta en la siguiente gráfica (Figura 5), se observa que existe un aumento del IP con respecto del tiempo de almacenamiento, comportamiento similar fue observado en la evaluación de vida útil de mayonesa [4], pasta de ajonjolí azucarada [8] y jamón de cerdo [7].

A mayor temperatura de almacenamiento, mayor fue el aumento del IP en cada formulación, esta tendencia de los aumentos de IP ocurre debido a que existe una mayor velocidad de deterioro a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento, lo que provoca una elevación de la rancidez del alimento debido a las reacciones principalmente de oxidación que le ocurren a

los lípidos, provocando una velocidad de deterioro mayor. Según Guzmán-Carrillo [7], el desarrollo de los peróxidos comienza en forma lenta y luego se incrementa con mayor velocidad. Los lípidos expuestos al aire reaccionan lentamente en un inicio, pero una vez que la rancidez se ha iniciado la velocidad se incrementa con bastante rapidez. Esto resulta de la formación de aldehídos y cetonas que dan a la grasa el sabor rancio seboso. El comportamiento reportado en esta investigación coincide con lo encontrado por Ancco [13] en determinación de vida de anaquel de galletas enriquecidas con kanihua (*Chenopodium pallidicaule sp.*) por pruebas aceleradas de almacenamiento.

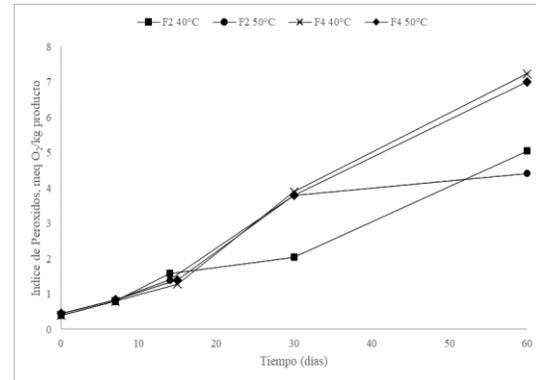


Figura 5. Tendencia del índice de peróxidos con respecto al tiempo de almacenamiento de las formulaciones de galletas F2 y F4 a 40 y 50°C.

La siguiente figura muestra las regresiones lineales a partir de la relación existente entre la LN IP y el tiempo de almacenamiento, a partir de las constantes obtenidas, representadas por las pendientes para las dos temperaturas estudiadas, se aplicó el modelo de Arrhenius para un orden de velocidad uno, para encontrar la constante de velocidad de deterioro a 25°C, y así encontrar el tiempo de vida útil de las formulaciones F2 y F4, considerando IP como indicador de calidad. Los valores obtenidos son 0.0276880y 0.0273403, respectivamente (Tabla 4).

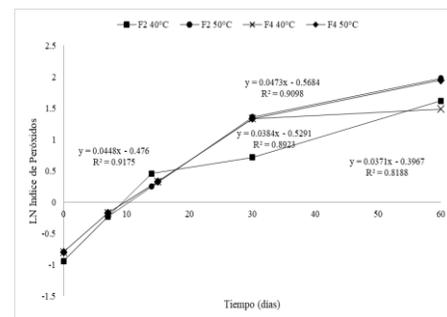


Figura 6. Relación entre Ln (índice de peróxidos) en función del tiempo de almacenamiento (días) de las galletas F2 y F4 a 40 y 50°C.

Tabla 4. Determinación de la energía de activación (E_a), K_0 , k_{25} (25°) y el tiempo de vida con respecto a índice de peróxidos de las formulaciones.

Formulación	$-E_a$ (KJ/mol)	K_0	k_{25} día ⁻¹	Nivel de apreciación crítico	t_{25} Meses	t_{25} años
F2	17.2948	29.665	0.0276880	5 mg/ kg de producto	5.04	0.42
F4	15.8064	16.070	0.0273403	5 mg/ kg de producto	5.28	0.44

E_a , energía de activación; k_{25} , constante de cinética de reacción a 25°C ; K_0 , Factor pre-exponencial; t_{25} , tiempo de vida a 25°C .

En el estudio realizado sobre la estimación de la vida útil de una fórmula dietética en función de la disminución de lisina disponible realizado por Torres [10], indicaron que la energía de activación para reacciones de oxidación de lípidos se encuentra en el ámbito de 41.842 KJ/mol a 104.605 KJ/mol , considerando los resultados obtenidos, las energías de activación de las formulaciones de esta investigación, 17.294 KJ/mol y 15.8064 KJ/mol , para F2 y F4 respectivamente, están por debajo del límite inferior para una reacción de oxidación de lípidos, lo que representa una vida útil prolongada para ambas formulaciones; sin embargo, otros tipos de reacciones pueden ocurrir que provoquen el deterioro de las galletas.

Cálculo de parámetro Q10

Los valores de E_a , R , T y $(T+10)$ se reemplazaron en la ecuación (7) y se despejó Q10, para el caso de la apreciación general, porcentaje de humedad e índice de peróxido.

Para la apreciación general, se encontró valores de 2.13648 y 3.0182 veces para la formulación F2 y F4, respectivamente, estos valores indican que la velocidad de la reacción de deterioro se acelera 2.13648 y 3.0182 veces por cada 10°C de aumento de temperatura o, en otras palabras, considerando este indicador de calidad, la vida útil de formulaciones de galletas decrece 2.13648 y 3.0182 veces por cada 10°C que aumente la temperatura.

Con respecto al porcentaje de humedad, los valores de Q10 para la formulación F2, fue de 1.21225 veces, mientras que la formulación F4 presentó un valor de 1.4288 veces. Estos valores indican que, considerando este indicador de calidad, la velocidad de reacción de deterioro se acelera 1.21225 veces (F2) y 1.4288 veces (F4) por cada 10°C de aumento de temperatura, o lo que es igual, la vida útil de estas formulaciones decrece 1.21225 veces y 1.4288 veces por cada 10°C de aumento de temperatura, para ambas formulaciones, respectivamente.

Los valores de Q10, para el índice de peróxidos, para la formulación F2 fue de 0.79361 veces y 1.23882 veces para F4, estos valores indican al aumentar 10°C la temperatura de almacenamiento, se incrementa la velocidad de deterioro en la formulación F2 en 0.79361 veces mientras que, para las galletas de la formulación F4,

se aumenta en 1.23882 veces. Esto es, la formulación de galletas F2 disminuye 0.79361 veces y la F4 lo hace 1.23882 veces, por cada 10°C de aumento de temperatura.

CONCLUSIONES

A partir de pruebas aceleradas se logró estimar la vida de anaquel de formulaciones de galletas elaboradas con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de cáscara y almendra de dos variedades de mango (*Mangifera indica L.*) de la región mixteca poblana, a través de pruebas aceleradas, considerando como parámetros críticos de calidad a la apreciación general, el porcentaje de humedad y el índice de peróxidos, siendo el índice de peróxidos el que obtuvo el menor tiempo de vida de anaquel para las formulaciones F2 y F4, 5.04 y 5.28 meses a 25°C , respectivamente.

En esta investigación solo se usó la variable temperatura como el medio crítico para acelerar las pruebas de vida de anaquel, sin embargo, se pueden considerar el tipo de empaque, efecto de la luz, actividad del agua, mientras que el recuento de mohos, dureza instrumental y color, se pueden emplear como indicadores de calidad. Estas consideraciones serán importantes para futuras investigaciones que determinen de forma integral la vida de anaquel de la galleta con harina de almendra y cáscara de mango criollo de la mixteca poblana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México y TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, por el financiamiento concedido para el desarrollo de esta investigación y a la Jefatura de la Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Meléndez Pastrana, I. Y., Rodríguez Morachis, M. A., Rodríguez Medina, M. A., & Zorrilla Briones, F. (2021). Determinación de la vida útil de la tortilla de maíz adicionada con aceite esencial de tomillo a través de pruebas de vida acelerada. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23)
- [2] Hough, G. 2010. Sensory Shelf Life Estimation of Food Products. CRC Press, Boca Raton, FL. 264 pp.
- [3] Puma I. G. P., Perez, J. F. L., Sánchez, I. C., Olano, J. C., Salas, W., & Delgado, L. F. V. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. In *Anales Científicos* (Vol. 79, No. 1, pp. 218-225). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [4] García, B. & Molina, C. E. (2008). Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería*, 18(1-2), 57-64.
- [5] Carrillo-Inungaray, M. L., & Reyes-Munguía, A. (2014). Vida útil de los alimentos / Lifetime food. *CIBA Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 2(3), 32 - 56. Recuperado a partir de

<https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/20>

[6] García, B. G., Córdoba, M. E. M., & Valle, G. C. (2011). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2), 31-38.

[7] Guzmán C.L.E., Duque, D. P. M., Zuluaga, D. E. M., Acevedo, D., & Montero, P. M. (2016). Estudio de la vida útil de jamón de cerdo mediante pruebas aceleradas. *Interciencia*, 41(7), 488-491.

[8] Paternina-Sierra, K., Acevedo-Correa, D., & Montero-Castillo, P. M. (2018). Evaluación de la vida útil de una pasta de ajonjolí azucarada mediante pruebas aceleradas. *Información tecnológica*, 29(4), 3-12.

[9] Sánchez-González, J. A., & Pérez Cueva, J. A. (2016). Vida útil sensorial del queso mantecoso por pruebas aceleradas. *Scientia Agropecuaria*, 7(SPE), 215-222.

[10] Torres, A., Guerra, M., & Rosquete, Y. (2001). Estimación de la Vida Útil de una Fórmula Dietética En Función De La Disminución De Lisina Disponible. *Food Science And Technology*, 21, 129-133.

[11] Rojas-Molina, J. O., García, M. A., & Pino, J. A. (2023). Estabilidad de una mayonesa con aceite de orégano microencapsulado durante su almacenamiento acelerado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33(1), 32-40.

[12] Amodio, M.L., Derossi, L, Mastrandrea, A., Colelli, G. (2015). A study of the estimated shelf life of fresh rocket using a non-linear model. *Journal of Food Engineering*. 50, 19-28,

[13] Ancco, V.T. (2008). Determinación de vida en anaquel de galletas enriquecidas con Kañihua (*Chenopodium pallidicaule Sp*) por pruebas aceleradas de almacenamiento. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

[14] Bustamante-Oyague, B. 2015. Estudio de la vida útil de galleta salada mediante la ecuación de Arrhenius (Tesis pregrado). Universidad Nacional del Callao. Lima, Perú.

[15] Correa, L. M. Q., Dioses, O. D. C., Mora, E. O. M., Delgado, F. M. M., & Valarezo, H. M. G. (2019). Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de papa china (*Colocasia esculenta*) sobre las propiedades reológicas de la masa y sensoriales de galletas dulces. *Alimentos Hoy*, 27(47), 49-63.

[16] Secretaría de economía. (1982, octubre 7). Norma oficial mexicana NMX-F-428-1982, Alimentos- Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza. Diario oficial de la federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=691922

[17] AOAC.(2012). Official Method 983.23. Fat in foods. Chloroform-methanol extraction method. In: Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, USA; 2012

[18] Derossi, A., Mastrandrea, L., Amodio, M. L., de Chiara, M. L. V., & Colelli, G. (2016). Application of multivariate accelerated test for the shelf life estimation

of fresh-cut lettuce. *Journal of Food Engineering*, 169, 122-130.

[19] Cordon, O. J. (2007). Determinación acelerada de la vida en anaquel de la rosquilla hondureña. (Tesis de licenciatura). Carrera de Agroindustria Alimentaria, Zamorano, Honduras.

[20] Hao, F; Lu, L. and Wang, J. (2016). Finite element simulation of shelf life prediction of moisture-sensitive crackers in permeable packaging under different storage conditions. *Journal of Food Processing and Preservation* 40: 37-47.

ROLES DE CONTRIBUCIONES

Rol	Autor (es)
Conceptualización Supervisión Escritura - Preparación del borrador original	Erika López Aranda
Metodología Recursos	Christian Cervantes Munguía
Conceptualización Administración del proyecto	Eleodoro Gabilán Linares
Metodología Recursos Validación	Anabel Romero Cruz



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.