

## MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE COMPOTAS DE MANGO Y DURAZNO DURANTE SU ALMACENAMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS

J. G. Pérez-Flores, A. Castañeda-Ovando, J. Jaimez-Ordaz, J. Añorve-Morga,  
L. G. González-Olivares, J. Ramírez-Godinez y E. Contreras-López\*

Área Académica de Química, Ciudad del Conocimiento, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,  
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Mineral de la Reformas, Hidalgo, C.P. 42184.

\*eliclopez@yahoo.com.mx

### RESUMEN:

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo matemático para estimar la vida útil de compotas de mango y durazno en función de la temperatura. Las muestras fueron proporcionadas por una microempresa de alimentos. Estas fueron almacenadas en frascos de vidrio a tres temperaturas diferentes (20, 30 y 40 °C) durante 60 días. El parámetro indicador de calidad para este tipo de producto fue cambio de color, el cual se determinó a partir de los valores Hunter L, a, y b; y la diferencia total de color ( $\Delta E$ ). Los valores de L, a y b disminuyeron durante el almacenamiento. La diferencia total de color ( $\Delta E$ ) fue seleccionada como parámetro crítico de calidad, siguiendo una cinética de degradación de primer orden. La vida útil de las compotas de mango y durazno, estimada a partir de  $\Delta E$ , fue de 3.8 y 4.5 meses respectivamente, almacenadas a 20 °C.

### ABSTRACT:

The aim of this work was to develop a mathematical model to estimate the shelf life of mango and peach compote depending on the temperature model. The samples were provided by a food micro industry. Compotes were stored in glass bottles at three different temperatures (20, 30 and 40 °C) for 60 days. The quality indicator parameter for this type of product was color change, which was determined using the L Hunter values, a, and b; and the total color difference ( $\Delta E$ ). L, a and b values decreased during storage. The total color difference ( $\Delta E$ ) was selected as the critical quality parameter, following a first order degradation kinetic. The shelf life of mango and peach compote, stored at 20°C, estimated from the total color difference was 3.8 and 4.5 months, respectively.

**Palabras clave:** Compotas, color, vida útil.

**Keywords:** Compotes, color, shelf-life.

**Área:** Modelación de Procesos.

### INTRODUCCIÓN

La International Food Information Service (IFIS) define como compotas de fruta, a los productos de puré de fruta, guisado con azúcar o jarabe; y pueden ser preparadas con brandy, ron o licor (IFIS., 2009). A pesar de sus características, durante su almacenamiento, este tipo de productos puede sufrir cambios importantes en el color y el sabor que afectan su vida útil.

Los procedimientos para estimar la vida útil, se basan en la obtención de modelos matemáticos que simulan el deterioro de los alimentos, lo que permite hacer predicciones sobre productos nuevos y/o modificados (Ferrer, 1986). La vida útil está condicionada por los mecanismos de deterioro del alimento, que pueden ser

microbiológicos, físicos o químicos. El final de la vida útil se produce cuando las muestras almacenadas son percibidas como objetables por un grupo de panelistas sensoriales, o a través de la determinación de un parámetro de calidad crítico, denominado "parámetro indicador" (Labuza y Schmidl, 1985).

La estimación de los parámetros cinéticos, permite la definición de modelos de deterioro en los alimentos. Dichos modelos cinéticos son dependientes de la temperatura, por lo tanto el aumento de las temperaturas de almacenamiento, tiene un efecto de aceleración sobre el deterioro del producto. La ecuación de Arrhenius permite la extrapolación de los datos cinéticos a diferentes temperaturas y por lo tanto es una herramienta útil para completar el modelo vida útil (Lai y Heldman, 1982). La Ecuación (1), sirve para estimar la vida útil a diferentes temperaturas (Labuza y Riboh, 1982; Palazón y col., 2009).

$$\log \theta = A - BT \quad (1)$$

Donde  $\theta$  es la vida útil (días, semana, meses) y T es la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Las constantes A y B, se pueden calcular mediante el ajuste de los datos de vida útil obtenidos a diferentes temperaturas, con el método de mínimos cuadrados. Este modelo ofrece una solución a los estudios con varios parámetros indicadores, una vez que se tiene en cuenta el tiempo de vida útil y la contribución de los diferentes parámetros en cada temperatura dada. El tiempo de preservación del alimento, se grafica frente a la temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ , y se obtiene una ecuación de vida útil para ese sistema (Palazón *et al.*, 2009).

El objetivo del presente estudio fue desarrollar un modelo matemático para estimar la vida útil de compotas hechas a base de mango y durazno, y almacenadas a diferentes temperaturas (20, 30 y 40  $^{\circ}\text{C}$ ), a través del estudio de la evolución del color con diferentes modelos cinéticos. Los resultados indicaron que las cinéticas de degradación de color siguieron un comportamiento de primer orden. En base a lo anterior, se desarrolló un modelo matemático en función de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para estimar la vida útil de cada una de las compotas. Se obtuvieron valores de vida útil de 3.82 meses para la compota de durazno y de 4.53 meses para la de mango. En conclusión, fue posible establecer un modelo matemático a partir del estudio de cinéticas de color de dos muestras de compotas. Esto permitirá proponer estrategias de conservación de color en este tipo de productos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinación de color en compotas de mango y durazno

Se utilizó un colorímetro portátil (Hunter LAB Miniscan® XE) con un iluminante D65 y un ángulo 10° de posición observador estándar en la superficie del producto. Los valores de color fueron expresados como L (whiteness/brightness/darkness), a (redness/greenness) y b (yellowness/blueness). La diferencia total de color ( $\Delta E$ ), se determinó a partir de las coordenadas Hunter L-, a- y b-, y se utilizó para describir el

cambio de color de las compotas de mango y durazno, durante el almacenamiento (Maskan, 2001; Oliveira *et al.*, 2012).

### Estimación de vida útil

Los datos obtenidos de cada parámetro de calidad (L, a, b y  $\Delta E$ ), se ajustaron a las Ecuaciones (2) y (3), que describen la evolución de éstos parámetros, estas ecuaciones pueden predecir su evolución en función del tiempo, mediante el uso de modelos cinéticos de orden cero y de primer orden (Villota *et al.*, 1980; Labuza, 1982 ; Singh, 1994).

$$Q = Q_0 - kt \quad (2)$$

$$Q = Q_0 e^{-kt} \quad (3)$$

Donde Q es el parámetro (L, a, b y  $\Delta E$ ),  $Q_0$  es Q en las condiciones iniciales,  $k$  es la constante de velocidad y  $t$  es el tiempo (días). A través de la ecuación de Arrhenius (4), es posible desarrollar un modelo cinético-matemático que describe la evolución de los parámetros Q en función del tiempo de almacenamiento, a diferentes temperaturas y a partir de éste, se determinó el factor  $Q_{10}$  (Lai y Heldman, 1982; Palazón y col., 2009).

$$\ln(k) = \ln A - \left( \frac{E_a}{RT} \right) \quad (4)$$

### Estimación de parámetros cinéticos

Se realizó el cálculo de la entalpía de activación  $\Delta H^\ddagger$  ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ) y la de la entropía de activación  $\Delta S^\ddagger$  ( $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ ), según lo descrito por Stavilaet *al.* (2012). *Análisis estadístico.* Las regresiones lineales, se realizaron con el software QtiPlot ®. Las determinaciones se realizaron por triplicado y el % SDE fue menor al 5 % en todas las determinaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Evolución de los parámetros indicadores de calidad.* El valor de los parámetros L, a y b, disminuyó en función del tiempo en las compotas de mango y durazno, esto se observa en los valores negativos de las constantes de velocidad ( $k_0$  y  $k_1$ ), en la Tabla I y II. Un comportamiento similar en los parámetros L, a y b, fue reportado por Maskan (2001) en kiwis y por Barreiro *et al.* (1997) en concentrado de jitomate, ambos sometidos a un tratamiento térmico. Se observó un comportamiento lineal para una cinética de primer orden, de acuerdo con los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Investigaciones previas, muestran que este comportamiento se relaciona en la primer etapa de la curva, con la degradación de pigmentos termolábiles que generan compuestos oscuros que reducen la luminosidad (L); y en la etapa final, con la degradación de los compuestos más estables (Ibarzet *al.*, 1999; Maskan, 2000).

**Tabla I.** Análisis de parámetros de color, para cinéticas de orden cero y primer de reacción, de los parámetros de color, en compotas de mango.

Temperatura (°C)	Parámetro	Modelo orden 0			Modelo 1° orden		
		$k_0$ (días)	$C_0$	$R^2$	$k_1$ (días <sup>-1</sup> )	$C_0$	$R^2$
20	L	-0.0192	16.1909	0.8610	-0.0012	2.7844	0.8675
	a	-0.0113	4.9951	0.8890	-0.0024	1.6089	0.8977
	b	-0.0065	10.0266	0.8561	-0.0007	2.3052	0.8586
	$\Delta E$	0.0232	0.2994	0.8749	0.0145	-0.3794	0.9715
30	L	-0.0106	16.6417	0.8542	-0.0006	2.8119	0.8578
	a	-0.0146	5.6798	0.9545	-0.0028	1.7384	0.9489
	b	-0.0158	10.5870	0.8387	-0.0015	2.3598	0.8444
	$\Delta E$	0.0236	0.2386	0.8920	0.0167	-0.5151	0.9456
40	L	-0.0120	16.5809	0.9093	-0.0006	2.8083	0.9094
	a	-0.0239	5.8802	0.9055	-0.0047	1.7771	0.8761
	b	-0.0162	10.6195	0.9058	-0.0016	2.3628	0.9114
	$\Delta E$	0.0232	0.1367	0.9532	0.0258	-0.7558	0.9629

**Tabla II.** Análisis de los parámetros de color, para cinéticas de orden cero y primer de reacción, de los parámetros de color, en compotas de durazno.

Temperatura (°C)	Parámetro	Modelo orden 0			Modelo 1° orden		
		$k_0$ (días)	$C_0$	$R^2$	$k_1$ (días <sup>-1</sup> )	$C_0$	$R^2$
20	L	-0.0241	15.9023	0.7061	-0.0016	2.7659	0.7156
	a	-0.0103	6.1328	0.7533	-0.0017	1.8132	0.7648
	b	-0.0152	9.3999	0.6799	-0.0017	2.2401	0.6904
	$\Delta E$	0.0303	0.6876	0.7115	0.0078	0.3499	0.9198
30	L	-0.0243	16.3018	0.8481	-0.0015	2.7912	0.8545
	a	-0.0096	6.3868	0.7198	-0.0015	1.8539	0.7298
	b	-0.0153	9.5578	0.7202	-0.0016	2.2569	0.7314
	$\Delta E$	0.0300	0.5109	0.8058	0.0115	0.0869	0.9242
40	L	-0.0300	15.8708	0.8418	-0.0012	2.7645	0.8519
	a	-0.0204	6.1105	0.9269	-0.0037	1.8125	0.9238
	b	-0.0184	9.1307	0.7442	-0.0021	2.2111	0.7575
	$\Delta E$	0.0338	0.5598	0.8513	0.0134	0.2398	0.9454

Los valores de  $R^2$  más altos para un ajuste lineal por mínimos cuadrados, se observaron en  $\Delta E$ , por lo que se consideró como parámetro crítico de calidad para estimar la vida útil de las compotas. El valor de  $\Delta E$  se incrementó en función del tiempo y la velocidad se incrementó en función de la temperatura, como se observa en la Tabla I y II; en donde los mayores valores de velocidad se alcanzaron a 40 °C en  $k_0$  y  $k_1$ . En consecuencia, un aumento de la temperatura implicó un mayor aumento de color. Posteriormente, en función de los valores de  $R^2$ , se determinó que la cinética de degradación es de primer orden. Ibarz y Garza, (1999) reportaron un comportamiento similar de  $\Delta E$  en puré de pera durante un tratamiento térmico y atribuyeron el comportamiento a la formación de melanoidinas y degradación de los pigmentos. Los resultados en la Tabla IV, muestran que se requiere de un mayor

nivel de energía, para producir la degradación de los pigmentos en las compotas de mango que en las de durazno. En la Tabla V, se presentan los valores obtenidos de vida útil de las compotas analizadas, siendo mayor en la compota de durazno a las tres temperatura estudiadas (Tabla V).

**Tabla IV.** Cálculo de entalpía de activación ( $\Delta H^\ddagger$ ), entropía ( $\Delta S^\ddagger$ ), factor pre-exponencial (A), energía de activación ( $E_a$ ) y factor  $Q_{10}$  para compotas de mango y durazno.

Compotas	$\Delta H^\ddagger/\text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta S^\ddagger/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	$E_a/\text{kJ mol}^{-1}$	A/día <sup>-1</sup>	$Q_{10}$
Mango	19.373	-214.318	21.891	109.649	1.32
Durazno	18.176	-222.820	20.694	39.438	1.30

**Tabla V.** Periodos de vida útil de compotas de mango y durazno almacenadas a 20, 30 y 40 °C.

Compotas	Mango	Durazno
Temperatura (°C)	Vida útil (meses)	Vida útil (meses)
20	3.820	4.534
30	3.313	4.055
40	2.519	2.723

*Desarrollo del modelo de vida útil.* A partir de los datos de la Tabla V se construyó un gráfico de  $\log \Theta$  (días) versus  $t$  (°C), se determinaron las Ecuaciones (5) y (6), para estimar la vida útil de las compotas de mango y durazno, respectivamente.

$$\log \theta_{\text{días}} = 2.2496 - 0.0090T_{\text{°C}} \quad (5)$$

$$\log \theta_{\text{días}} = 2.3758 - 0.0111T_{\text{°C}} \quad (6)$$

## CONCLUSIÓN

Las cinéticas de degradación de color, en las compotas de mango y durazno, siguieron un comportamiento de primer orden. Se determinó la vida útil de las compotas con las ecuaciones de las cinéticas de degradación de color a partir de los valores críticos de L (13.53), a (4.68), y b (7.38). Con los resultados obtenidos, fue posible establecer un modelo matemático en función de la temperatura (°C) para estimar la vida útil de cada una de las compotas, obteniendo valores de vida útil de 3.82 meses para la compota de durazno y de 4.53 meses para la de mango, almacenadas a 20 °C. Estos resultados permitirán proponer estrategias para evitar cambios en el color de las compotas y extender su vida útil.

## REFERENCIAS

- Barreiro, J. A., Milano, M., & Sandoval, A. J. 1997. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33, 359-371.
- Ferrer, M. 1986. Determinación de la vida comercial de un alimento deshidratado. *Alimentaria*, 1, 43-48.
- Ibarz, A., Pagan, J., & Garza, S. 1999. Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 39, 415-422.
- IFIS. (2009). *Dictionary of Food Science and Technology (2nd ed.)*. International Food Information Service. Chichester, U.K.: Wiley-Blackwell. p. 106. ISBN 9781405187404.
- Labuza, T. P., & Riboh, D. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. *Food Technology*, 36(10), 66-74.
- Labuza, T. P., & Schmidl, M. K. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. *Food Technology*, 39(9), 57-62.
- Lai, D., & Heldman, D. R. 1982. Analysis of kinetics of quality changes in frozen foods. *Journal of Food Process and Engineering*, 6(3), 179-200.
- Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Oliveira, F., Sousa-Gallagher, M. J., Mahajan, P. V., & Teixeira, J. A. 2012. Development of shelf-life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 466-473.
- Palazón, M. A., Pérez-Conesa, D., Abellán, P., Ros, G., Romero, F., & Vidal, M. L. 2009. Determination of shelf-life of homogenized apple-based beverage storage at different temperatures using Weibull hazard model. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 319-326.
- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. 1999. Polyphenol oxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64, 42-45.
- Singh, R. P. 1994. Scientific principles of shelf life evaluation. In C. M. D. Man, & A. A. Jones (Eds.), *Shelf life evaluation of foods* (pp. 3-26). London, UK: Blackie Academic & Professional.
- Stavila, V., Volponi, J., Katzenmeyer, A. M., Dixon, M. C., & Allendorf, M. D. 2012. Kinetics and mechanism of metal-organic framework thin film growth: systematic investigation of HKUST-1 deposition on QCM electrodes. *Chemical Science*, 3(5), 1531-1540.
- Villota, R., Saguy, I., & Karel, M. 1980. Storage stability of dehydrated food: evaluation of the literature data. *Journal of Food Quality*, 3, 123-212.