

# CINÉTICA DE LA DIFERENCIA DE COLOR Y CROMA EN EL PROCESO TÉRMICO DE PULPA DE MANGO (*Mangifera indica* L.) HADEN

KINETICS OF THE DIFFERENCE OF COLOR AND CHROME IN THERMAL PROCESS MANGO PULP (*Mangifera indica* L.) HADEN

*Damián Manayay Sánchez<sup>1</sup>*

*Albert Ibarz Ribas<sup>2</sup>*

*Williams Castillo Martinez<sup>3</sup>*

*Lourdes Esquivel Paredes<sup>4</sup>*

*Lenin Palacios Ambrocio<sup>5</sup>*

Fecha de recepción: 11 noviembre 2013

Fecha de aceptación: 20 mayo 2014

## Resumen

*Perú presenta un excedente no exportable de mango fresco, que es destinado en un 60% al consumo nacional en fresco y entre 20 a 25% a la exportación*

- 1 Adscrito a la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú. [dmanayay@gmail.com](mailto:dmanayay@gmail.com)
- 2 Adscrito al Departamento de Tecnología de los Alimentos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Lleida, España. [aibarz@tecal.udl.cat](mailto:aibarz@tecal.udl.cat)
- 3 Adscrito a la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú. [williamsscm@hotmail.com](mailto:williamsscm@hotmail.com)
- 4 Adscrito al Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Dirección de correo electrónico: [eparedes@crece.uss.edu.pe](mailto:eparedes@crece.uss.edu.pe)
- 5 Adscrito a la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú. [alpa\\_blondí@hotmail.com](mailto:alpa_blondí@hotmail.com)

*en pulpa simple o concentrada y congelada, es aquí donde el manejo de métodos de conservación por calor (procesos térmicos) y sus parámetros cinéticos afectan la degradación de la calidad organoléptica y nutricional de la pulpa de mango, por lo que se convierte en el problema central del presente estudio. Estudiada la cinética de la diferencia de color y croma en el proceso térmico de pulpa simple (16°Brix) y concentrada (28°Brix) del mango Haden, a diferentes temperaturas (80°, 85°, 90°, 95° y 98 °C), el ajuste estadístico de la variación de los parámetros colorimétricos  $L^*$ ,  $\Delta E^*$  y  $\Delta C^*$  con respecto al tiempo (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min), y los resultados de energías de activación mayores en el análisis del efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas, condujeron a concluir que corresponden a una cinética de reacción de orden cero.*

**Palabras clave:** *Cinética, color, mango haden, proceso térmico.*

### **Abstract**

*Peru has a non-exportable surplus of fresh mango, which is assigned to a 60% national consumption fresh and between 20-25% export single or concentrated pulp and frozen, this is where managing heat conservation methods (thermal processes) and their kinetic parameters affect the degradation of organoleptic and nutritional quality of mango pulp, becomes the central problem of this study. We have studied the kinetics of the color difference and chroma in the thermal process simple pulp (16 ° Brix) and concentrate (28 ° Brix) Haden handle at different temperatures (80, 85, 90, 95 y 98 °C), the statistical variation of the colorimetric parameters  $L^*$   $\Delta E^*$  and  $\Delta C^*$  with respect to time (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min), and results in higher activation energy analysis of the effect of temperature on the kinetic constants, leading to the conclusion that correspond to reaction kinetics zero order.*

**Keywords:** *Kinetic, color, haden mango, thermal process*

### **1. Introducción**

En el Perú, las exportaciones de mango fresco han mantenido una trayectoria creciente en los últimos 5 años, de tal forma que entre 2011 y 2012, por exportaciones de mango, los ingresos crecieron en 28.7% más que en el año 2010, destacándose asimismo, que entre finales de 2011 e inicios de 2012 el 70% de la producción nacional se ha destinado a la exportación.

El mango peruano ofrece un alto potencial económico, debido a que su producción se realiza en un trópico seco, donde las lluvias son escasas, permitiendo que el cultivo se maneje con mayor facilidad respecto a otros países.

Las variedades de mayor importancia que se cultivan en el Perú son el *criollo* de Chulucanas y *el chato y rosado* de Ica que se destinan tanto para el mercado interno como para la producción de pulpa y jugos concentrados para exportación, resaltándose que dentro de las variedades que se exportan en estado fresco son el Haden, Kent, Tommy Atkins y Edward.

En este marco de comportamiento de las relaciones comerciales del Perú con el mundo, se ubica el problema de un excedente no exportable de mango fresco, que es destinado en un 60% al consumo nacional en fresco y entre 20 a 25% a la exportación en pulpa simple o concentrada y congelada, es aquí donde el tema del manejo de los parámetros cinéticos de degradación de la calidad organoléptica y nutricional en el proceso térmico de la pulpa de mango, se convierte en el problema central del presente estudio.

La temática referida a la cinética de las variaciones de color en el proceso térmico de pulpas y jugos de fruta, tiene referentes muy antiguos, sin embargo cobra importancia científica cuando al revisar el estado en que se encuentran estos estudios desde la década de los 90 hasta el año 2012, se encuentra que los modelos cinéticos que se han definido son en su mayoría para zumos o jugos filtrados y muy específicas por la naturaleza de la composición del material estudiado, hecho que permite continuar ampliando la discusión de los modelos cinéticos en materiales cuya composición no es un líquido claro sino una suspensión como es el caso de las pulpas, que adicionado a la importancia comercial de la pulpa de mango, genera la necesidad de estudiar el caso de la pulpa de mango Haden, por su marcada importancia comercial a nivel internacional tanto en fresco como en pulpa simple y concentrada.

El concepto de cinética química, definida como el estudio de la velocidad de las reacciones, es un tema que ha sido estudiada de manera permanente, por la importancia que ésta tiene para la dinámica de evaluación de los procesos de degradación de los conceptos de calidad organoléptica y nutricional de alimentos como las frutas que, por la complejidad de elementos de su constitución orgánica, están dispuestas a responder positiva o negativamente frente a la acción física como la temperatura en el proceso de manufactura y físico química como la concentración por saturación con solutos o por concentración por eliminación del agua.

Entre los parámetros cinéticos que orientan a visualizar los niveles de deterioro de la calidad organoléptica y nutricional de las frutas y pulpas de fruta, cuyos estudios han sido realizados por renombrados investigadores desde la década de los 70 hasta la actualidad, destacan el color, que amparado en los modelo principales de la diferencia de color y croma;  $\Delta E = ((\Delta a^*)^2 +$

$(\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2 \rightarrow \{1\} \Delta C = \{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \rightarrow \{2\}$ ; han sido estudiados y validados en diversos frutos, sin embargo no se ha encontrado para el caso específico de la pulpa de mango por lo menos en los últimos 10 años, período en el que destaca la agroindustria del mango.

Basado en los estudios de 1958 de Berk y Braverman, Braverman (1980), sostiene que además del oscurecimiento de los productos frutícolas debido a las enzimas, durante el tratamiento y almacenamiento ocurren, muy a menudo, numerosos fenómenos de pardeamiento, de naturaleza exclusivamente química. No existe duda de que en las frutas, que son sistemas muy complejos sucedan con frecuencia combinaciones de reacción de Maillard o condensación de melanoidinas, la oxidación del ácido ascórbico y la generación del aldehído activo o hidroximetil furfural (HMF), que al ocasionar variación de sus colores característicos a tonalidades oscuras, se convierten en los principales indicadores del deterioro de las características nutricionales y organolépticas de este tipo de alimentos. En este ámbito se encuentra el estudio teórico de la aplicación de los modelos cinéticos en las reacciones de pardeamiento no enzimático de zumos de fruta, presentado por Gonzales, Ibarz, Esplugas y Vicente (1988), que al mostrar una descripción y análisis de los modelos cinéticos a utilizar en la determinación de la velocidad de formación de color y los factores que influyen en ésta, configura la base más sólida para abordar el tema de cinética de la variación del color en el proceso térmico de la pulpa de mango.

Ibarz, Garza y Pagan (1989b), al evaluar la velocidad de pardeamiento no enzimático a temperaturas de 50°, 60°, 70°, 80° y 90°C, a un nivel de probabilidad del 99%, determinaron que en los concentrados de zumos de frutas, las reacciones de variación del color ocurren con el tiempo pudiendo describirse óptimamente por un modelo cinético de orden cero o de primer orden, asimismo, el análisis de correlación de los valores de las constantes cinéticas a distintas temperaturas a través del modelo de Arrhenius también corresponden a cinéticas de cero y primer orden.

Remacha, Ibarz y Giner (1992), al investigar la evolución del color, por efecto de la temperatura, en pulpa de ciruela, melocotón y albaricoque, tratadas térmicamente a 60°, 70°, 80°, 90° y 97°C de temperatura, sostiene que el pardeamiento no enzimático se determina por la variación del color  $\Delta E^*$ , previa definición de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , resaltando que los valores de las constantes cinéticas de orden cero son mayores a medida que aumenta la temperatura, siendo también más rápida la reacción de Maillard cuanto más alta es la temperatura; asimismo, al comparar las constantes de orden cero y primer orden, encontraron que este último muestra constantes ligeramen-

te superiores, sin embargo concluyen que la variación de la  $\Delta E^*$  puede ser descrita mediante una cinética de orden cero:

$$\Delta E^* = (\Delta E^*)_0 - k^*t \rightarrow \{3\}$$

Garza, Giner, Martin, Costa e Ibarz (1996), al estudiar la evolución del color, azúcares y HMF en el tratamiento térmico de zumo de manzana, demostraron que resulta difícil aseverar si es el modelo cinético de orden cero o de primer orden, el que expresa adecuadamente la cinética de la variación del color; sin embargo, indicaron que los coeficientes de correlación del modelo cinético de primer orden son ligeramente mayores que los de orden cero para la mayoría de las variaciones de temperatura estudiadas.

Al investigar el efecto de los tratamientos térmicos a 80°C, 85°C, 90°C, 95°C y 98°C, sobre un zumo clarificado y despectinizado de pera con 11° Brix, considerando; la evolución de diferentes parámetros colorimétricos (absorbancia relativa a 420 nm, diferencia de color, diferencia de croma y parámetros CIELAB), la evolución de las hexosas (glucosa y fructosa) y la desaparición de sacarosa y formación de 5-hidroximetilfurfural, Ibarz, Garza y Pagan (1998), determinan la velocidad de pardeamiento no enzimático haciendo uso de los modelos cinéticos de cero y primer orden, mientras que para cuantificar el efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas de velocidad de pardeamiento no enzimático utilizaron óptimamente la ecuación tipo Arrhenius. En lo referente a la evolución del color mostraron que, a pesar de que las cinéticas de cero y primer orden describen óptimamente esta evolución, resulta mejor el de primer orden, por encontrarse que los coeficientes de regresión son relativamente superiores. También sostienen, que la variación de la luminosidad con el tiempo de tratamiento térmico disminuye, ajustándose adecuadamente a una cinética de primer orden;

$$(L/L_0 = \exp (Kp1^* t)) \rightarrow \{4\}$$

Respecto al parámetro colorimétrico  $a^*$ , indican que este valor muestra las tonalidades verde y roja para el intervalo de  $-a^*$  y  $+a^*$ , respectivamente; mientras que el parámetro  $b^*$  muestra tonalidades azul y amarillo para  $-b^*$  y  $b^*$ , respectivamente. Asimismo, reportan que determinaron el valor inicial de  $a^*$  de -0.73 con tendencia a ir en aumento hacia valores más positivos, pero sin llegar al cero, mientras que el parámetro  $b^*$  parte de un valor inicial de 20.68 y también tiende a valores mayores. Refieren también, que el cálculo de la diferencia de color lo realizaron a partir de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en la ecuación de Hunter-Scotfield;  $\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \rightarrow \{5\}$  obteniendo que el modelo cinético de orden cero es el que mejor ajuste tiene para los datos experimentales.

Los resultados de investigar la cinética de pardeamiento no enzimático de jugos concentrados de manzana a 65°, 70° y 75° Brix, de las variedades Golden Delicious y Amasya, almacenados a 5°, 20° y 37° C, y 37°, 50° y 65° C, realizado por Selen y Karadeniz (2002), indican que al medir el desarrollo del color por el índice de oscurecimiento a  $A_{420}$  y el sistema CIE-LAB, el nivel de pardeamiento de todos los concentrados de jugo de manzana, muestran un incremento de reacción con una cinética de orden cero, mientras que las energías de activación de los concentrados entre 65° a 75° Brix de la variedades Golden y Amasya variaron desde 21,4 kcal/mol hasta 21 kcal/mol y de 33,7 kcal/mol hasta 32,5 kcal/mol respectivamente.

Por su parte Chutintrasri y Noomhorm (2005), al estudiar la cinética de degradación de color de puré de piña durante el tratamiento térmico entre 70° y 110° C, con la finalidad de cubrir el intervalo de temperaturas que se utilizan en el precalentamiento y la esterilización aséptica de puré comercial de piña, determinaron que los cambios de color asociados a los efectos del tratamiento térmico, fueron evaluados mediante el colorímetro Hunter (L, a, b, la diferencia de color total  $\Delta E$ ) y el índice de pardeamiento por medio de la absorbancia a 420nm. Además refieren los autores, la variación de los parámetros calorimétricos L y b se ajustan adecuadamente a un modelo cinético de primer orden, mientras que  $\Delta E$ , valor "a" y el índice de pardeamiento se ajustan al modelo cinético de orden cero, mientras que la constante de velocidad relacionada con la temperatura, se ajusta a la ecuación del tipo Arrhenius. Asimismo, reportan que los resultados sugieren que  $\Delta E$  y la rapidez basado en la energía de activación, fueron las medidas más sensibles al cambio de color en el intervalo de temperaturas de 70° - 90° C y 95° -110° C, respectivamente.

Al estudiar el efecto del tratamiento térmico en el cambio de color del jugo clarificado de marañón, sometida a temperaturas de entre 88° y 121°C, Leandro, Damasceno, Fernández, Magalhaes y Brito (2007), refieren que resulta apropiado evaluar el cambio en color a través de los parámetros calorimétricos como reflectancia, espectro, diferencia de color y CIELAB, mientras que la medida de la variación en ácido ascórbico, 5-hidroximetilfurfural y contenido de azúcar, permiten evaluar el pardeamiento no enzimático. Asimismo, indican que durante la investigación el jugo fue afectado mayormente por la degradación del ácido ascórbico, por cuanto el contenido de azúcar remanente es constante durante el tratamiento térmico, por lo tanto, no influye en el pardeamiento no enzimático. Menciona además, que al evaluar el efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas, determinó que la ecuación tipo Arrhenius es el apropiado.

Del análisis de la importancia y las diversas investigaciones relacionadas con la presente investigación, se consideró pertinente resolver el problema de la cinética de la diferencia de color y croma en la pulpa de mango Haden cuando es procesada térmicamente a diferentes temperaturas y tiempos, planteando el siguiente objetivo específico: Evaluar mediante el método colorimétrico la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) y croma ( $\Delta C^*$ ) en el proceso térmico de la pulpa simple y concentrada de mango Haden.

## 2. Material y métodos

Se utilizaron frutos de mango con contenidos en sólidos solubles de 15 a 17° Brix, sin presencia de coloraciones negras ni pardas, no se consideró importante el tamaño de la fruta. El material experimental fue lavado en agua clorada y sometido a un escaldado en agua caliente a 85°C por 5 minutos, seguidamente se enfrió hasta temperatura ambiente para el pelado y troceado, finalmente fue pulpeado haciendo uso de un tamiz de 0.5 mm de apertura, luego mediante el uso de un colorímetro Minolta Modelo CR-400 de procedencia Japonesa; se determinaron los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  del sistema Hunter iniciales y a temperaturas de 80°, 85°, 90°, 95° y 98°C, y, tiempos de exposición de 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos para pulpa simple, mientras que para pulpa concentrada a 28°Brix se utilizaron tiempos de exposición de 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 minutos a las mismas variaciones de temperatura.

## 3. Resultados y discusión

La pulpa simple y concentrada de mango Haden, muestra una variación de color con el tiempo, que a pesar de no haberse encontrado diferencias significativas entre los coeficientes de correlación estadística de los modelos cinéticos de cero orden (Ecuación 3) y primer orden (Ecuación 4), pueden ser descritos por un modelo cinético de orden cero, por mostrar valores del coeficiente de correlación relativamente mayores para todas las temperaturas y tiempos estudiados, resultados que son concordantes con lo manifestado por Remacha et al. (1992) y Garza et al. (1996) Quienes al investigar la evolución del color por efecto de la temperatura en pulpas de fruta y la evolución del color, azúcares y HMF en el tratamiento térmico de zumo de manzana respectivamente, concuerdan en indicar que resulta difícil aseverar si es el modelo cinético de orden cero o de primer orden, el que expresa adecuadamente la cinética de la variación del color, en su momento Ibarz et al. (1998), al estudiar la evolución del color en el tratamiento térmico de zumo clarificado de pera con 11°Brix, refiere que a pesar de que las cinéticas de cero y primer orden describen óptimamente esta evolución, resulta mejor el de primer orden, por encontrarse que los coeficientes de regresión son relativamente superiores.

Al respecto Lozano (1985), refiere que muchas veces es difícil discernir entre ambos modelos, si no se deja desarrollar la reacción por un tiempo suficiente.

Las tablas 1 y 2 muestran los resultados de la diferencia de color y croma, así como de los parámetros L\*, a\*, b\* determinados tanto para pulpa simple (16°Brix) y concentrada a 28°Brix, observándose disminución permanente de éstos parámetros con la temperatura y tiempo, siendo relativamente más pronunciada a mayores temperaturas y tiempos.

**Tabla 1**

*Parámetros de color para pulpa simple (16°Brix) de mango Haden*

T (°C)	t (min)	L*	a*	b*	$\Delta E^*$	$\Delta C^*$
80	0	81.91	12.85	97.51	0.00	0.00
	10	71.52	8.80	94.78	11.47	4.88
	20	67.45	6.44	94.56	16.09	7.05
	30	66.94	4.17	93.36	17.79	9.62
	40	66.11	3.25	87.75	20.90	13.69
	50	64.08	3.00	71.35	33.15	27.95
	60	63.04	2.16	70.52	34.62	29.03
85	0	79.22	6.50	81.08	0.00	0.00
	10	76.96	6.06	71.02	10.32	10.07
	20	76.42	5.77	64.65	16.68	16.44
	30	75.15	5.38	62.81	18.75	18.31
	40	67.62	5.27	55.37	28.24	25.75
	50	65.63	3.99	54.51	29.95	26.69
	60	61.25	2.44	52.50	34.01	28.87

90	0	79.24	8.50	80.86	0.00	0.00
	10	67.72	6.65	80.68	11.66	1.86
	20	67.00	4.64	79.92	12.87	3.97
	30	65.68	3.92	77.20	14.77	5.86
	40	58.37	3.00	65.73	26.35	16.10
	50	51.43	2.76	60.32	35.04	21.32
	60	47.12	2.08	53.32	42.79	28.28
95	0	71.02	9.62	90.33	0.00	0.00
	10	68.62	7.66	83.84	7.20	6.78
	20	67.31	6.88	80.65	10.73	10.07
	30	63.53	5.52	75.21	17.37	15.67
	40	58.77	5.09	71.88	22.61	19.00
	50	52.21	4.46	67.43	30.08	23.47
	60	47.43	3.75	60.21	38.70	30.68
98	0	65.08	5.88	86.50	0.00	0.00
	10	63.79	4.37	80.36	6.45	6.32
	20	58.54	4.23	74.15	14.07	12.46
	30	51.32	3.67	59.32	30.54	27.26
	40	46.44	3.10	51.98	39.33	34.63
	50	40.42	2.65	46.32	47.25	40.31
	60	38.54	1.99	39.55	54.07	47.11

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2**

*Parámetros de color para pulpa concentrada (28°Brix) de mango Haden*

T (°C)	t (min)	L*	a*	b*	$\Delta E^*$	$\Delta C^*$
80	0	68.95	10.56	92.69	0	0
	30	68.59	10.49	90.77	1.95	1.92
	60	64.61	10.19	88.47	6.07	4.24
	90	64.52	10.04	78.46	14.91	14.24
	120	63.06	10.00	76.83	16.93	15.87
	150	62.77	9.49	73.28	20.40	19.45
	180	62.36	9.43	71.05	22.65	21.67
	210	61.78	9.27	67.07	26.64	25.65
	240	57.86	8.40	65.72	29.24	27.06
85	0	71.47	5.08	80.95	0	0
	30	71.41	4.45	80.35	0.86	0.86
	60	71.22	4.07	79.69	1.63	1.61
	90	70.83	3.88	78.28	3.00	2.93
	120	68.55	3.84	76.72	5.29	4.41
	150	63.42	3.79	73.90	10.79	7.17
	180	63.39	3.23	68.03	15.35	13.05
	210	56.23	3.21	66.16	21.32	14.91
	240	53.44	2.32	59.89	27.87	21.24
90	0	64.13	12.69	83.34	0	0
	30	61.18	10.12	79.21	5.69	4.86
	60	60.93	9.97	72.39	11.73	11.28
	90	59.52	9.95	72.30	12.27	11.38
	120	59.23	9.92	71.74	12.90	11.93
	150	59.22	9.88	70.27	14.24	13.37
	180	57.90	9.31	65.46	19.23	18.20
	210	55.41	9.19	61.86	23.45	21.77
	240	54.31	8.12	59.00	26.64	24.76

95	0	63.70	10.66	94.48	0	0
	30	63.18	10.32	93.14	1.48	1.38
	60	62.50	8.83	89.48	5.46	5.33
	90	61.19	8.73	88.80	6.50	6.00
	120	59.32	8.72	87.45	8.51	7.29
	150	58.68	8.56	80.13	15.35	14.50
	180	58.55	8.30	77.72	17.70	16.93
	210	57.29	7.62	74.90	20.83	19.82
	240	56.72	7.61	74.34	21.54	20.37
98	0	64.87	10.54	80.65	0	0
	30	64.56	9.67	76.41	4.34	4.33
	60	63.90	9.27	75.87	5.04	4.95
	90	60.76	9.23	74.73	7.32	6.06
	120	60.18	9.18	71.33	10.52	9.42
	150	59.86	9.11	70.35	11.54	10.39
	180	58.22	9.02	68.01	14.36	12.73
	210	57.44	8.94	67.45	15.23	13.29
	240	56.76	8.73	64.59	18.08	16.16

Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados de los ajustes realizados para las ecuaciones 1 y 2 correspondientes a la variación de color y croma así como para los modelos cinéticos de cero y primer orden (Ecuaciones 3 y 4), se muestran en las tablas 3, 4 y 5.

Es importante resaltar que de los ajustes realizados a los datos experimentales de luminosidad ( $L^*$ ) y croma ( $\Delta C^*$ ) tanto para pulpa simple como para concentrada, se encontró que estos parámetros pueden ser descritos óptimamente tanto por el modelo cinético de orden cero como de primer orden, sin embargo se determinó que las constantes cinéticas del modelo de cero orden para pulpa simple mostraron valores mayores y un comportamiento relativo a incrementarse con la temperatura, lo cual permite sostener que el cambio de luminosidad y croma para pulpa simple puede describirse por un modelo cinético de orden cero, no siendo posible discernir con claridad para el caso de pulpa concentrada. Al respecto Ibarz et al. (1998) al estudiar la evolución del color en el tratamiento térmico de zumo clarificado de pera,

sostienen que la evolución de la luminosidad es descrito óptimamente por el modelo cinético de primer orden al haber mostrado ajustes significativos al 95% de probabilidad, mientras que para la variación del croma, refiere que el modelo de orden cero es el que mejor describe la evolución con la temperatura y tiempo.

**Tabla 3**  
*Parámetros cinéticos de variación de luminosidad (L\*) para pulpa de mango Haden*

Muestra	Temperatura (°C)	Cinética de orden cero			Cinética de orden uno		
		(L*) <sub>0</sub>	K (min <sup>-1</sup> )	r	Ln(L*) <sub>0</sub>	K (min <sup>-1</sup> )	r
Pulpa simple (16°Brix)	80	76.52 (±2.3)	-0.06(±0.06)	0.875	4.34(±0.03)	-0.0037(±0.0008)	0.892
	85	80.90(±1.4)	-0.30(±0.04)	0.962	4.40(±0.02)	-0.0043(±0.0006)	0.958
	90	77.11(±1.9)	-0.49(±0.05)	0.973	4.36(±0.03)	-0.008(±0.0009)	0.972
	95	73.28(±1.4)	-0.4(±0.04)	0.977	4.31(±0.03)	-0.0068(±0.0008)	0.967
	98	66.85(±1.2)	-0.49(±0.03)	0.989	4.22(±0.02)	-0.01(±0.0007)	0.988
Pulpa concentrada (29°Brix)	80	68.57(±0.7)	-0.039(±0.005)	0.947	4.23(±0.01)	-0.0006(±0.00008)	0.947
	85	74.94(±1.7)	-0.078(±0.01)	0.931	4.33(±0.03)	-0.0012(±0.0002)	0.922
	90	63.29(±0.5)	-0.035(±0.004)	0.963	4.15(±0.009)	-0.0006(±0.00006)	0.963
	95	63.86(±0.3)	-0.031(±0.002)	0.986	4.16(±0.005)	-0.0005(±0.00003)	0.987
	98	65.13(±0.4)	-0.37(±0.003)	0.980	4.18(±0.006)	-0.0006(±0.00004)	0.981

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 4***Parámetros cinéticos de variación de color ( $\Delta E^*$ ) para pulpa de mango Haden*

Muestra	Temperatura [°C]	Cinética de orden cero			Cinética de orden uno		
		$(\Delta E^*)_0$	K (min <sup>-1</sup> )	r	Ln( $\Delta E^*$ ) <sub>0</sub>	K (min <sup>-1</sup> )	r
Pulpa simple (16°Brix)	80	5.33(±2.7)	0.49(±0.07)	0.961	2.24(±0.09)	0.02(±0.002)	0.978
	85	6.22(±1.7)	0.48(±0.04)	0.983	2.24(±0.12)	0.02(±0.003)	0.964
	90	0.54(±3.6)	0.67(±0.09)	0.963	2.04(±0.1)	0.03(±0.003)	0.974
	95	-0.96(±1.5)	0.63(±0.04)	0.992	1.72(±0.08)	0.03(±0.002)	0.992
	98	-2.69(±2.8)	0.99(±0.07)	0.989	1.79(±0.29)	0.04(±0.01)	0.940
Pulpa con- centrada (28°Brix)	80	0.18(±1.56)	0.13(±0.01)	0.981	1.11(±0.37)	0.9(±0.002)	0.880
	85	-6.92(±2.21)	0.13(±0.01)	0.931	-0.47(±0.16)	0.02(±0.001)	0.989
	90	3.58(±1.49)	0.09(±0.01)	0.966	1.82(±0.13)	0.01(±0.001)	0.946
	95	-1.63(±1.15)	0.1(±0.01)	0.984	0.67(±0.28)	0.01(±0.002)	0.929
	98	1.74(±0.49)	0.07(±0.003)	0.980	1.33(±0.09)	0.01(±0.08)	0.978

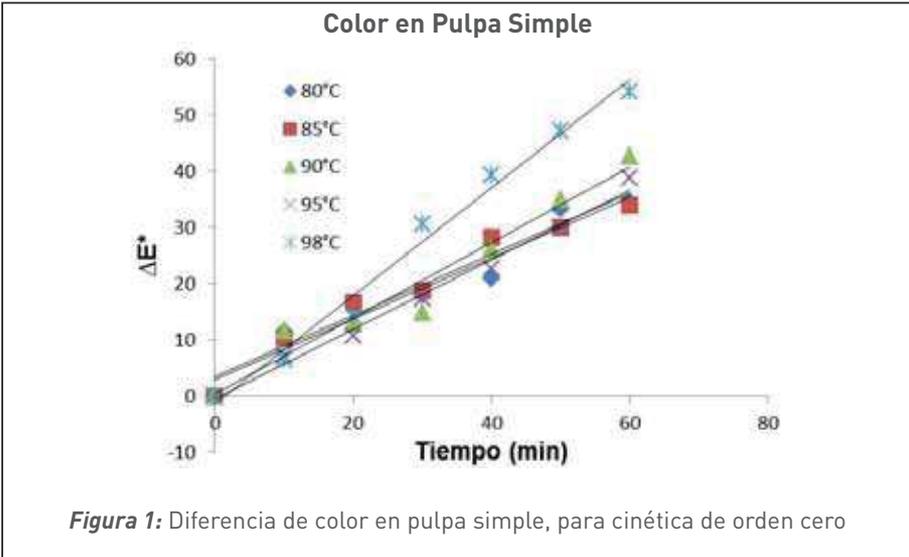
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 5**  
*Parámetros cinéticos de variación de croma ( $\Delta C^*$ ) para pulpa de mango Haden*

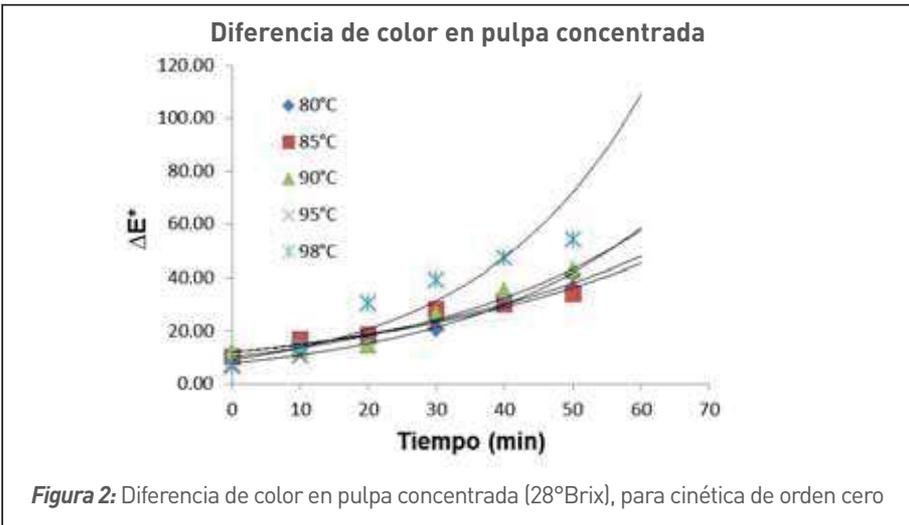
Muestra	Temperatura (°C)	Cinética de orden cero			Cinética de orden uno		
		$(\Delta C^*)_0$	K (min <sup>-1</sup> )	r	Ln $(\Delta C^*)_0$	K (min <sup>-1</sup> )	r
Pulpa simple (16°Brix)	80	-3.38(±3.5)	0.54(±0.09)	0.947	1.18(±0.13)	0.04(±0.003)	0.985
	85	7.80(±1.8)	0.38(±0.05)	0.972	2.28(±0.14)	0.02(±0.004)	0.945
	90	-6.54(±2.59)	0.56(±0.064)	0.974	0.19(±0.21)	0.06(±0.01)	0.982
	95	1.31(±1.1)	0.47(±0.03)	0.993	1.72(±0.09)	0.03(±0.002)	0.987
	98	-1.4(±2.6)	0.84(±0.07)	0.988	1.75(±0.27)	0.04(±0.01)	0.942
Pulpa con- centrada (28°Brix)	80	-0.24(±1.76)	0.12(±0.01)	0.981	0.96(±0.37)	0.01(±0.002)	0.886
	85	-4.71(±1.73)	0.1(±0.01)	0.960	-0.42(±0.13)	0.02(±0.001)	0.989
	90	3.25(±1.45)	0.08(±0.01)	0.964	1.72(±0.16)	0.01(±0.001)	0.931
	95	-1.69(±1.29)	0.1(±0.01)	0.978	0.59(±0.29)	0.01(±0.002)	0.927
	98	1.87(±0.55)	0.06(±0.004)	0.988	1.29(±0.08)	0.01(±0.001)	0.981

Fuente: *Elaboración propia.*

En las figuras 1 a 8, se presentan los resultados experimentales de la variación del color ( $\Delta E^*$ ) y croma ( $\Delta C^*$ ) en pulpa simple (16°Brix) y concentrada (28°Brix) con el tiempo así como las rectas y curvas resultantes del ajuste para las cinéticas de orden cero y uno respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

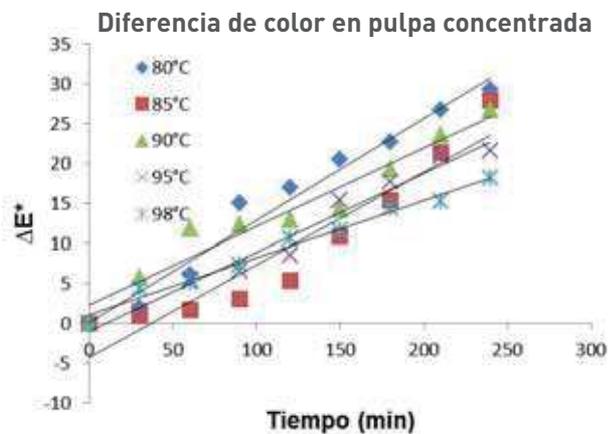


Figura 3: Diferencia de color en pulpa concentrada (28°Brix), para cinética de orden uno

Fuente: Elaboración propia.

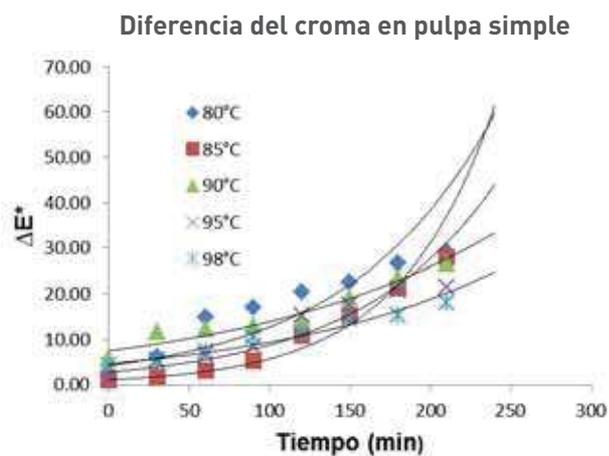
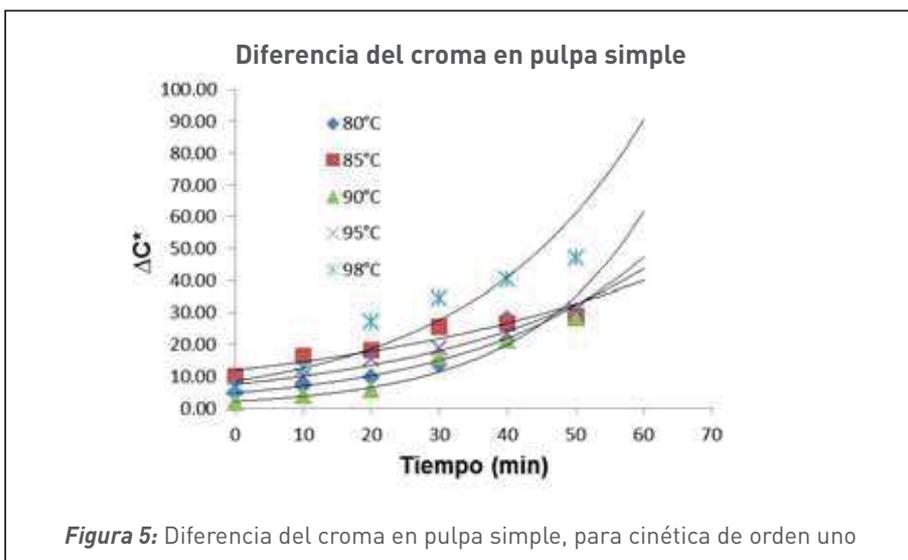
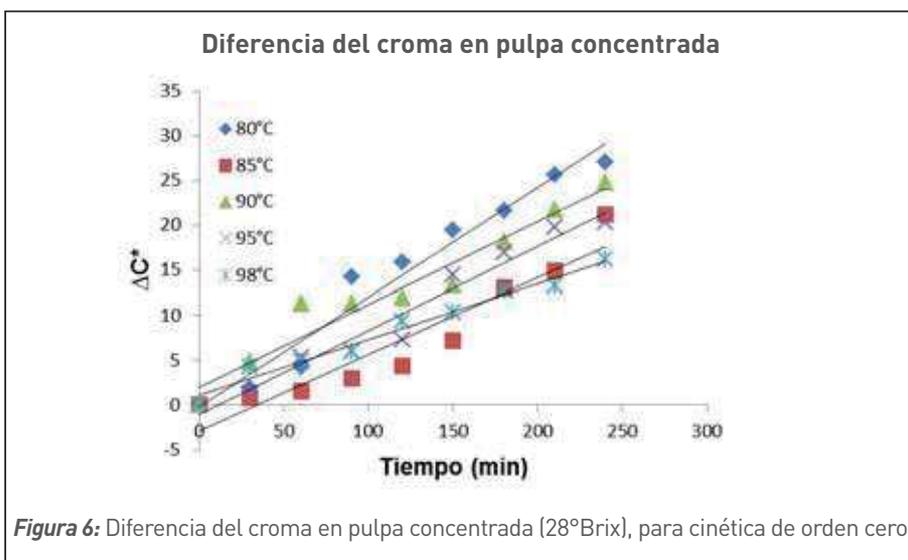


Figura 4: Diferencia del croma en pulpa simple, para cinética de orden cero

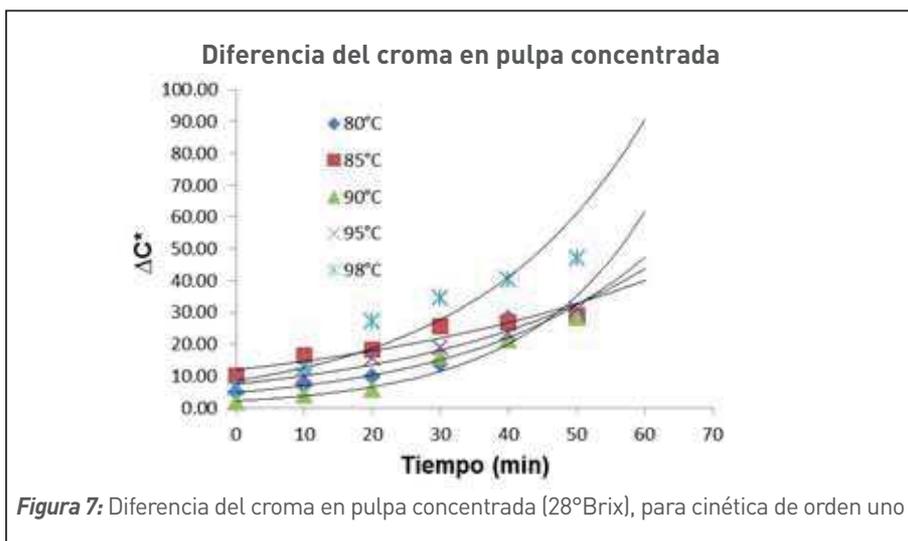
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se realizaron los ajustes de la evaluación del efecto de la temperatura, tomando como base la ecuación de Arrhenius;  $K = K_0 \exp(E_a / RT) \rightarrow (6)$ , cuyos resultados se muestran en las tablas 6, 7 y 8, observándose que el modelo cinético de orden cero tanto para pulpa simple (16°Brix) como concentrada (28°Brix) tiene valores de energía de activación superiores al de orden uno, hecho que permitió concluir que la cinética de orden cero es la que describe óptimamente la variación de color, croma y la pérdida de la luminosidad en pulpa simple y concentrada de mango Haden, resaltándose además que la temperatura tiene mayor efecto de deterioro sobre pulpa simple.

**Tabla 6**

Resultados del ajuste a la ecuación de Arrhenius para cinéticas de orden cero y uno para la luminosidad (L\*)

Muestra	Luminosidad (L*)			
	n = 0		n = 1	
	Ea (J/mol)	R <sup>2</sup>	Ea (J/mol)	R <sup>2</sup>
Pulpa simple	12.96	0.992	3.07	0.991
Pulpa concentrada	9.56	0.933	2.33	0.934

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7**

Resultados del ajuste a la ecuación de Arrhenius para cinéticas de orden cero y uno para diferencia de color ( $\Delta E^*$ )

Muestra	Diferencia de color ( $\Delta E^*$ )			
	n = 0		n = 1	
	Ea (J/mol)	R <sup>2</sup>	Ea (J/mol)	R <sup>2</sup>
Pulpa simple	24.49	0.965	6.52	0.969
Pulpa concentrada	27.98	0.861	8.88	0.850

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8**

Resultados del ajuste a la ecuación de Arrhenius para cinéticas de orden cero y uno para diferencia de croma ( $\Delta C^*$ )

Muestra	Diferencia de croma ( $\Delta C^*$ )			
	n = 0		n = 1	
	Ea (J/mol)	R <sup>2</sup>	Ea (J/mol)	R <sup>2</sup>
Pulpa simple	15.24	0.921	4.37	0.925
Pulpa concentrada	28.54	0.823	9.34	0.809

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

- Luego del análisis de los resultados a los que se arribó en la presente investigación, se concluye que la cinética de la diferencia de color y croma en el proceso térmico de pulpa simple (16°Brix) y concentrada (28°Brix) de mango Haden, corresponde a una cinética de orden cero, cuyos modelos correspondientes son;  $\Delta E^* = (\Delta E^*)_0 - Kt$  y  $\Delta C^* = (\Delta C^*)_0 - Kt$ .

## 5. Referencias

- Braverman, J. (1980). *Introducción a la Bioquímica de los Alimentos*. (3era edición), Barcelona: Editorial Omega. 59
- Chutintrasri, B. y Noomhorm, A. (2005). Colour degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *Revista Science*. Recuperado en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Garza, S., Giner, J., Martín, O., Costa, E. y Ibarz, A. (1996). Colour, sugar and HMF evolution during thermal treatment of Apple juice. *Food Science and Technology International* 2: 101-110.
- Garza, S., Ibarz, A., Boix, J. (2001). Modelos cinéticos de degradación en cremogenado de naranja concentrado y tratado a elevadas temperaturas. *Alimentaria* 1: 111.
- Gonzales, C., Ibarz, A., Esplugas, S. y Vicente, M. (1988). Cinética del pardeamiento no enzimático de zumos de frutas. *Alimentaria*. Diciembre: 53-60.
- Ibarz, A., Casero, T. y Miguelsanz, R. y Pagan, J. (1989). Efecto de la temperatura en la cinética de pardeamiento no enzimático en zumos clarificados de pera con diferentes contenidos de sólidos solubles. *Agroquímica y Tecnología de Alimentos*. 29: 530-537.
- Ibarz, A., Garza, S. y Pagan, J. (1998). Evolución del color, HMF y azúcares en zumo clarificado de pera tratado térmicamente. *Alimentaria* 1: 97.
- Leandro, F., Damasceno, F., Fernández, A., Magalhaes, M. y Brito, E. (2007). Non-enzymatic browning in clarified cashew Apple juice during thermal treatment. Kinetics and process control. *Science*. Recuperado en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Lozano, J. (1985). *Influencia del pardeamiento sobre las propiedades del jugo de manzana concentrado*. Plapiqui, Bahía Blanca: UNS-CONICET.
- Remacha, J., Ibarz, A. y Giner, J. (1992). Evolución del color por efecto de la temperatura en pulpas de fruta. *Alimentaria* 234: 59-68.
- Selen, H. y Karadeniz, F. (2002). Effect of storage on nonenzymatic of Apple juice concentrates. *Scienc*e. Recuperado en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).