



Cinética de la diferencia de color y croma en el proceso térmico de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Haden

Kinetics of the color difference and chroma in the thermal process pulp mango (*Mangifera indica* L.) Haden variety

Damián Manayay Sánchez^{1,*}, Albert Ibarz², Williams Castillo Martínez¹, Lenin Palacios Ambrocio¹

¹ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Ciudad Universitaria Urb. Bellamar S/N, Nuevo Chimbote Ancash, Perú.

² Departamento de Tecnología de los Alimentos (DTA) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria (ETSEA), Lleida, España.

Recibido 22 junio 2013; Aceptado 25 septiembre 2013.

Resumen

Se ha estudiado 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, a diferentes temperaturas, el ajuste estadístico de la variación de los parámetros colorimétricos L*, ΔE* y ΔC* con respecto al tiempo, 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 claves: Mango Haden, color, cinética, proceso térmico.

Abstract

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, the statistical variation of the colorimetric parameters L*, AE* and ΔC* with respect to time, 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: Haden mango, color, kinetic, 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 del 2011 e inicios del 2012 el 70% de la producción nacional se ha destinado para 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”, “Tomm 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,

* Autor para correspondencia
Email: dmanayay@uns.edu.pe

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 en 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, tienen referentes muy antiguos, sin embargo cobra importancia científica cuando al revisar el estado en que se encuentran estos estudios desde la década del 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 los alimentos como son 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 del 70 hasta la actualidad, destacan el color, que amparado en los modelo principales de la diferencia de color y croma;

$$\Delta E = ((\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2)^{1/2} \rightarrow (1)$$

$$\Delta C = ((\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2) \rightarrow (2)$$

Han sido estudiados y validados en diversos frutos, sin embargo no se ha encontrado para la pulpa de mango por lo menos en los últimos 10 años. Basado en los estudios de Berk y Braverman (1958), Braverman (1980) sostiene: “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 los alimentos como 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 (González *et al.*, 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 *et al.* (1989b), al evaluar la velocidad de pardeamiento no enzimático a temperaturas de 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C y 90°C, a un nivel de probabilidad del 99%, determina 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 *et al.* (1992), al investigar la evolución del color por efecto de la temperatura, en pulpa de ciruela, melocotón y albaricoque, tratadas térmicamente a 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C y 97 °C de temperatura, sostiene que el pardeamiento no enzimático se determina por la variación del color ΔE^* , 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 ligeramente superiores, sin embargo concluyen que la variación de la ΔE^* puede ser descrita mediante una cinética de orden cero:

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

Garza *et al.* (1996), al estudiar la evolución del color, azúcares y HMF en el tratamiento térmico de zumo de manzana, demuestra 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, indica 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 *et al.*, 1998; Ibarz-Martinez *et al.*, 2010), determina 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^* , indica 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, reporta que determinó 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. Refiere también, que el cálculo de la diferencia de color lo realizó 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°C, 20 °C y 37 °C, 50 °C y 65 °C, realizado por (Selen y Karadeniz, 2002), indica que al medir el desarrollo del color por el índice de oscurecimiento a A420 y el sistema CIELAB, 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 °Brix a 75 °Brix de las 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 ΔE) 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 ΔE , 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 ΔE 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 °C y 121 °C. Leandro *et al.* (2007) refiere 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, indica 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 evaluar mediante el método colorimétrico la diferencia de color (ΔE^*) y croma (ΔC^*) 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, luego 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 °C, 85 °C, 90 °C, 95 °C 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, pueden ser descritos por un modelo cinético de orden cero, por mostrar valores del coeficiente de correlación relativa-mente mayores para todas las temperaturas y tiempos estudiados.

Tabla 1

Porcentaje de emulsión de mezclas agua y fases oleosas con EPS producidos en glucosa por bacterias aisladas de agua

T (°C)	t (min)	L*	a*	b*	ΔE*	ΔC*
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

98	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

Tabla 2

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

T (°C)	t (min)	L*	a*	b*	ΔE*	ΔC*
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
	240	61,78	9,27	67,07	26,64	25,65
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
	240	56,23	3,21	66,16	21,32	14,91
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
	240	55,41	9,19	61,86	23,45	21,77
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
	240	57,29	7,62	74,90	20,83	19,82
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
	240	57,44	8,94	67,45	15,23	13,29
240	57,44	8,73	64,59	18,08	16,16	
	56,76	8,73	64,59	18,08	16,16	

Estos 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 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. 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. 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 encuentran en las tablas 3, 4 y 5.

Es importante resaltar que de los ajustes realizados a los datos experimentales de luminosidad (L^*) y croma (ΔC^*) 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, sostiene 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	Temp. (°C)	Cinética de orden cero			Cinética de orden uno		
		$(L^*)_0$	K (min ⁻¹)	r	Ln($L^*)_0$	K (min ⁻¹)	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

Tabla 4Parámetros cinéticos de variación de color (ΔE^*) para pulpa de mango Haden

Muestra	Temp. (°C)	Cinética de orden cero			Cinética de orden uno		
		(ΔE^*) ₀	K (min ⁻¹)	r	Ln(ΔE^*) ₀	K (min ⁻¹)	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)	0,94
Pulpa concentrada (29 °Brix)	80	0,18(±1,56)	0,13(±0,01)	0,981	1,11(±0,37)	0,9(±0,002)	0,88
	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)	0,98	1,33(±0,09)	0,01(±0,08)	0,978

Tabla 5Parámetros cinéticos de variación de croma (ΔC^*) para pulpa de mango Haden

Muestra	Temp. (°C)	Cinética de orden cero			Cinética de orden uno		
		(ΔC^*) ₀	K (min ⁻¹)	r	Ln(ΔC^*) ₀	K (min ⁻¹)	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 concentrada (29°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

En las figuras 1 al 8 se han presentado los resultados experimentales de la variación del color (ΔE^*) y croma (ΔC^*) 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, resultados análogos se ha observado para las otras temperaturas para la cinética de primer orden.

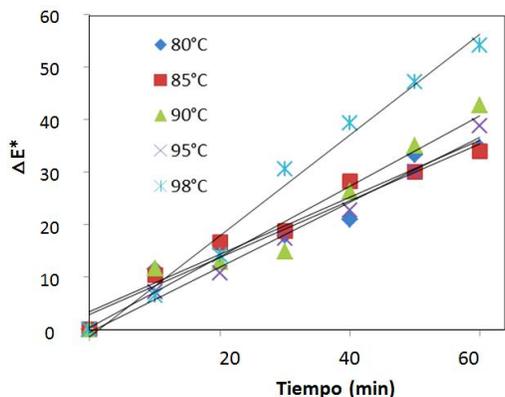


Figura 1. Diferencia de color en pulpa simple, para cinética de orden cero.

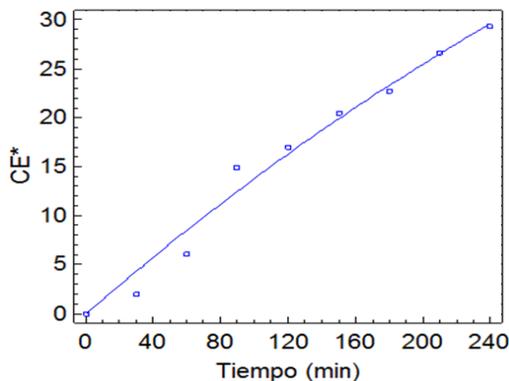


Figura 4. Diferencia de color en pulpa concentrada (28°Brix) a 80°C, para cinética de orden uno.

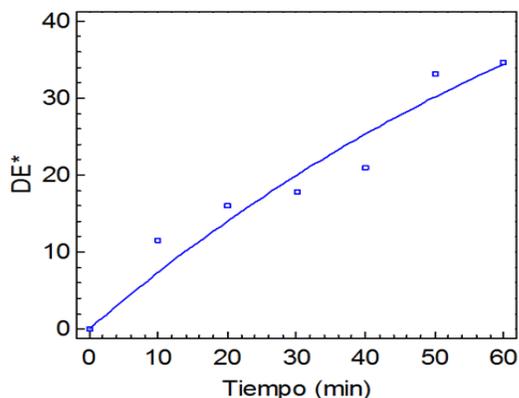


Figura 2. Diferencia de color en pulpa simple a 80°C, para cinética de orden uno.

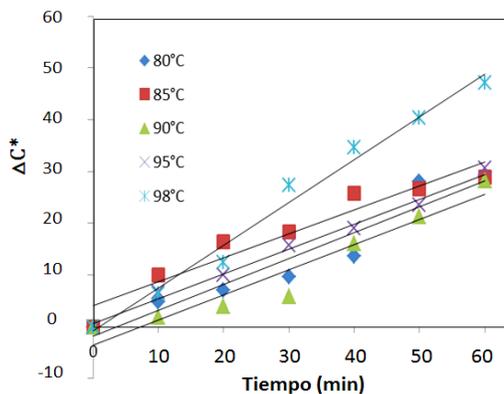


Figura 5. Diferencia del croma en pulpa simple, para cinética de orden cero.

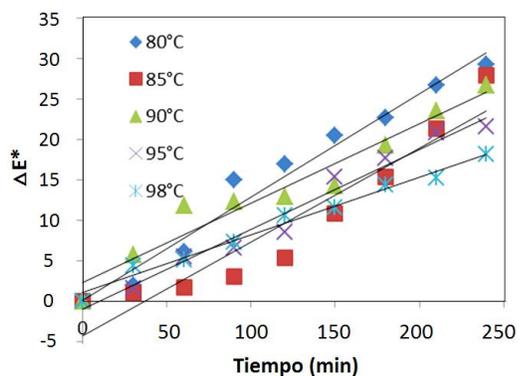


Figura 3. Diferencia de color en pulpa concentrada (28°Brix), para cinética de orden cero.

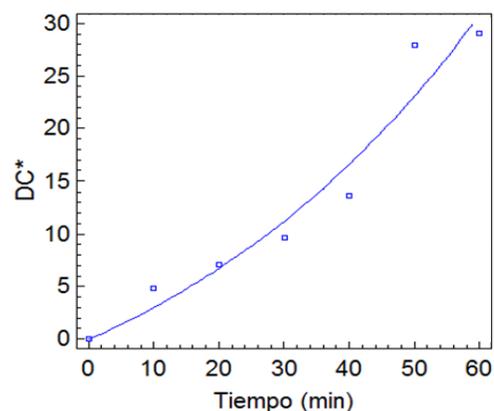


Figura 6. Diferencia del croma en pulpa simple a 80°C, para cinética de orden uno.

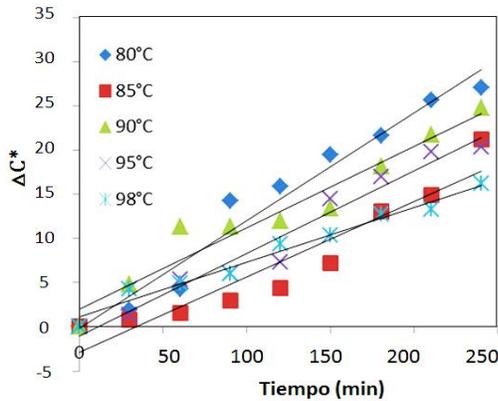


Figura 7. Diferencia del croma en pulpa concentrada (28°Brix), para cinética de orden cero.

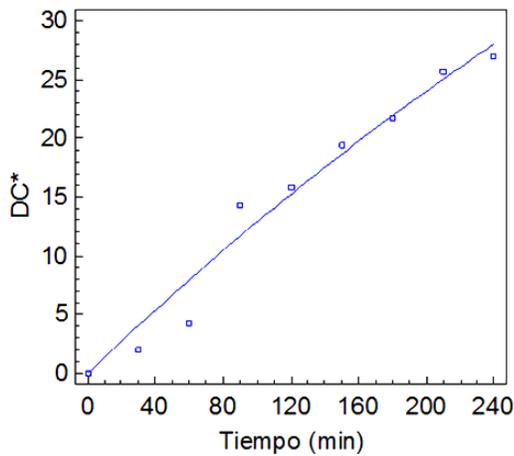


Figura 8. Diferencia del croma en pulpa concentrada (28°Brix) a 80°C, para cinética de orden uno.

Asimismo, se realizaron los ajustes de la evaluación del efecto de la temperatura, tomando de 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 ²	Ea (J/mol)	R ²
Pulpa simple	12,96	0,992	3,07	0,991
Pulpa concentrada	9,56	0,933	2,33	0,934

Tabla 7

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

Muestra	Diferencia de color (ΔE^*)			
	n = 0		n = 1	
	Ea (J/mol)	R ²	Ea (J/mol)	R ²
Pulpa simple	24,49	0,965	6,52	0,969
Pulpa concentrada	27,98	0,861	8,88	0,850

Tabla 8

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

Muestra	Diferencia de croma (ΔC^*)			
	n = 0		n = 1	
	Ea (J/mol)	R ²	Ea (J/mol)	R ²
Pulpa simple	15,24	0,921	4,37	0,925
Pulpa concentrada	28,54	0,823	9,34	0,809

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:

$$\Delta E^* = (\Delta E^*)_0 - Kt \quad \text{y} \quad \Delta C^* = (\Delta C^*)_0 - Kt.$$

Agradecimiento

Se expresa el agradecimiento a la Universidad Nacional del Santa por permitir el uso de sus laboratorios de Operaciones Unitarias e Investigación Agroindustrial para la ejecución de los ensayos experimentales.

Referencias Bibliográficas

- Berk, Z.; Braverman J.B.S. 1958. Some observations on non-enzymatic browning of citrus concentrates. Symposium of Fruit Juice Concentrates. Fruit Juice Union, Bristol.
- Braverman, J. 1980. Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. Editorial Omega, 3ra ed., Barcelona, España.
- Chutintrasri, B.; Noomhorm, A. 2007. Colour degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. Science and Food technology 40: 300-306.
- Garza, S.; Giner, J.; Martin, O.; Costa, E.; 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: Revista de tecnología e higiene de los alimentos 319: 111-122.
- Gonzales, C.; Ibarz, A.; Esplugas, S.; Vicente, M. 1988. Cinética del pardeamiento no enzimático de zumos de frutas. Alimentaria 198: 53-60.
- Ibarz, A.; Casero, T.; Miguelsanz, R.; 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.; Pagan, J. 1998. Evolución del color, HMF y azúcares en zumo clarificado de pera tratado térmicamente. Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos 298: 87-94.
- Ibarz-Martínez, R.; Pagán, J.; Garza, S.; Ibarz, A. 2010. Pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas. Scientia Agropecuaria 1: 7-20.
- Leandro, F.; Damasceno, F.; Fernández, A.; Magalhaes, M.; Brito, E. 2008. Non-enzymatic browning in clarified cashew Apple juice during thermal treatment. Kinetics and process control. Food Chemistry 106: 172-179.
- Lozano, J. 1985. Influencia del pardeamiento sobre las propiedades del jugo de manzana concentrado. Plapiqui, UNS-CONICET. Bahía Blanca, Argentina.
- Remacha, J.; Ibarz, A.; Giner, J. 1992. Evolución del color por efecto de la temperatura en pulpas de fruta. Alimentaria 234: 59-68.
- Selen, H.; Karadeniz, F. 2003. Effect of storage on nonenzymatic of Apple juice concentrates. Food Chemistry 80: 91-97.