

Temperatura y tiempo de tratamiento térmico y el color de la pulpa de ají escabeche (*Capsicum baccatum* L.)

Temperature and time of thermal processing on the color of escabeche chilli paste (*Capsicum baccatum* L.)

Stalin López Díaz¹, Luis Márquez Villacorta², Carla Pretell Vásquez³

RESUMEN

Se evaluó la influencia de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico sobre el color de la pulpa de ají escabeche (*Capsicum baccatum* L.), con el método oficial del color ASTA. La pulpa de ají inicial tuvo sólidos solubles del 8,5 - 9,2 °Brix; pH 4,3 - 4,5 y color 67,1 unidades ASTA. La pulpa se sometió a un tratamiento térmico a 70, 80 y 90 °C durante 10, 20, 30 y 40 minutos. La cinética de degradación térmica del color siguió un modelo de reacción química de primer orden ($R^2 = 0,993$), con una energía de activación de 50,82 kJ/mol. Los tiempos de reducción decimal para la degradación del color fueron 801,28; 434,78; y 300,18 minutos para 70, 80 y 90 °C, respectivamente. El valor de la constante de resistencia térmica fue de 47,38 °C. El análisis de varianza ($p < 0,05$) determinó una influencia significativa del tiempo de tratamiento térmico sobre el color de la pulpa de ají escabeche, pero no de la temperatura. La prueba de comparaciones múltiples de Duncan determinó que el tratamiento a 70 °C y 10 minutos, produjo la menor degradación de color (65,2 color ASTA).

Palabras clave: Pulpa, ají, tratamiento térmico, color.

ABSTRACT

The influence of the temperature and time of thermal processing on the color of escabeche chilli paste (*Capsicum baccatum* L.) was evaluated. The official method of color the American Spice Trade Association (ASTA) was used. The initial chilli paste had: soluble solids between 8,5 - 9,2 °Brix; pH between 4,3 - 4.5 and color of 67,1 ASTA units. The paste was undergone to thermal treatment at 70, 80, 90°C during 10, 20, 30, and 40 minutes. The thermal degradation kinetics of color followed a chemical reaction model of first order ($R^2 = 0,993$), with activation energy of 50.82 kJ/mol. The decimal reduction times for the color degradation were 801,28; 434,78 and 300,18 minutes for 70, 80 and 90 °C, respectively. The thermal resistance constant was 47,38 °C. The variance analysis ($p < 0.05$) determined that there was a significant influence of the thermal processing time on the color of escabeche chilli paste, but not of the temperature. The Duncan multiple comparison test determined that the treatment at 70 °C and 10 minutes) produced the lowest color degradation (65,2 ASTA).

Key words: Paste, chilli, thermal processing, color.

¹ Ingeniero en Industrias Alimentarias, Egresado de la Universidad Privada Antenor Orrego.

² Ingeniero en Industrias Alimentarias, Maestro en Tecnología de Alimentos. Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego (lmarquezv01@yahoo.es).

³ Ingeniera en Industrias Alimentarias, Maestra en Tecnología de Alimentos. Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, el Departamento de La Libertad es el segundo productor de ají escabeche después de Lima. En los últimos años nuestro país ha incrementado su nivel de producción, orientada principalmente al mercado local en fresco (OIA, 2006).

Los ajíes son consumidos en todo el mundo por su color, aroma y pungencia. Los requerimientos de los atributos en el ají varían con la aplicación y gusto del consumidor. El ají es comúnmente procesado como producto deshidratado, lo que degrada el color y el aroma del *Capsicum* fresco. La pulpa es un producto semisólido, que es procesado de manera que retiene el color y el flavor original en un mayor grado (Ahmed y otros, 2002).

El color de los ajíes se debe principalmente a tres tipos de cetocarotenoides: capsantina, capsorubina y criptoxantina. Se conoce la cinética de los principales compuestos carotenoides por la reacción de esterificación. Sin embargo, la cinética de degradación de carotenoides por efecto de calentamiento en el pimiento rojo y otros ajíes todavía no ha sido estudiado al detalle (Shin y otros, 2001).

Los carotenoides comprenden dos grupos estructurales llamados carotenos hidrocarbonados y xantofilas oxigenadas. La estructura básica de un caroteno es la unidad de isopreno, que se enlaza covalentemente para formar

una molécula simétrica. Los carotenos son estables al calor en sistemas con un mínimo contenido de oxígeno. Sin embargo, alimentos ricos en carotenos muestran cambios de coloraciones distintas durante el procesamiento térmico inducido por la reacción de isomerización *cis/trans*. La cinética de pérdida de color es compleja, por lo que es necesario utilizar modelos confiables que permitan predecir con exactitud parámetros cinéticos como: el orden de reacción, constante de velocidad de reacción, tiempo de reducción decimal, constante de resistencia térmica y energía de activación, los cuales son utilizados en muchas aplicaciones de ingeniería, incluida la optimización (Ahmed y otros, 2002).

Los objetivos propuestos para esta investigación son los siguientes:

- Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico sobre el color de la pulpa de ají escabeche.
- Determinar la cinética de degradación de color de la pulpa de ají escabeche.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales fueron realizadas en el Laboratorio de Ciencia de Alimentos de la Escuela de

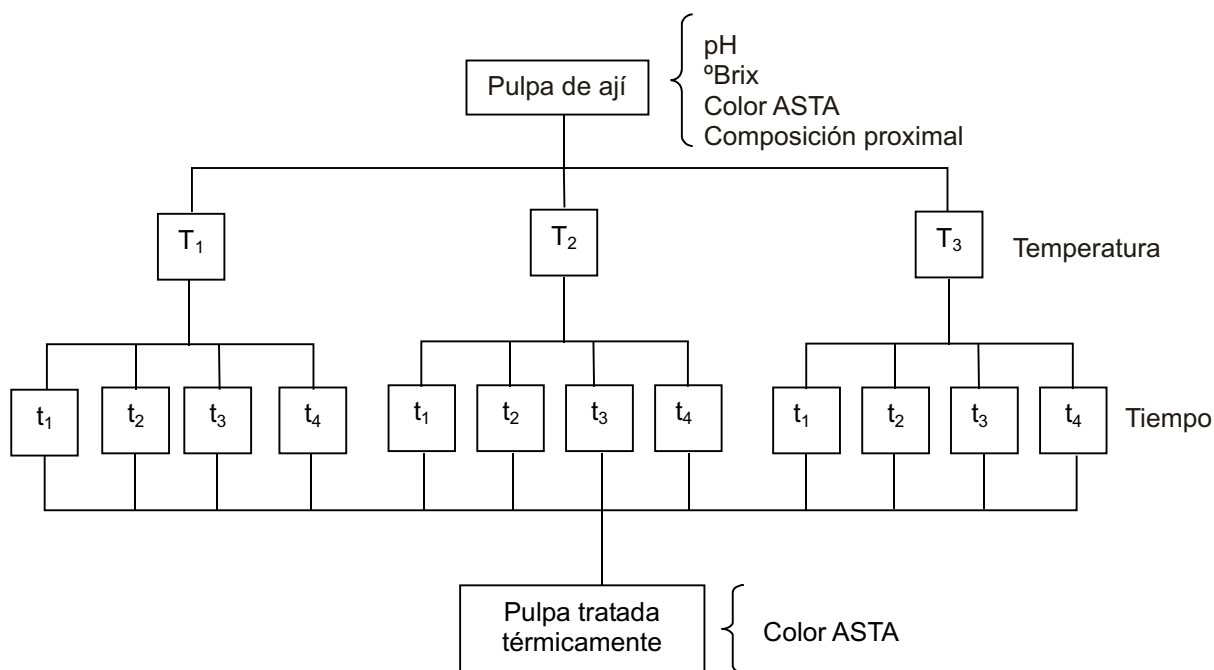


Figura 1. Esquema experimental para la evaluación del color de la pulpa de ají escabeche.

Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

2.2. Materia prima

Ají escabeche (*Capsicum baccatum* L.), procedente del mercado La Hermelinda de Trujillo, Perú.

2.3. Esquema experimental

El esquema experimental de la investigación tuvo como variables independientes tres temperaturas (T_1 , 70°C; T_2 , 80°C; y T_3 , 90°C) y cuatro tiempos de tratamiento térmico (t_1 , 10 minutos; t_2 , 20 minutos; t_3 , 30 minutos; y t_4 , 40 minutos); y como variable dependiente o respuesta el color ASTA en la pulpa de ají, como se muestra en la Figura 1.

2.4. Procedimiento para la obtención de la pulpa de ají escabeche

Ajís en estado fresco fueron seleccionados tomando en cuenta que no presenten daño físico o microbiológico, clasificados de acuerdo al color visual, lavados con agua clorada (40 ppm), cortados manualmente y eliminando el pedúnculo y semillas. Luego, se procedió a un escalado por inmersión en agua caliente a 100 °C durante tres minutos, licuado de 6 minutos, tamizado con una malla N_0 30 (425 μ m). Finalmente, se procedió a la estandarización del pH de la pulpa entre valores de 4,3 - 4,5, y llenado en envases de vidrio de 200 mL.

2.5. Tratamiento térmico

Se realizó de acuerdo a las respectivas combinaciones temperatura-tiempo indicadas en el diseño experimental. Con un equipo baño maría con temperatura graduable, en el que se colocaron los envases de vidrio abiertos, mantenido en agitación constante cada 3 minutos. El registro de penetración de calor se realizó con la ayuda del equipo y software Datatrace.

2.6. Métodos de análisis

2.6.1. Preparación de la muestra para la medida del color ASTA

Las muestras tratadas se colocaron en lunas de reloj en una cantidad aproximada de 10 g por tratamiento para su secado en una estufa de convección a temperatura de 65 °C por 8 horas; a continuación, se realizó la molienda, con la ayuda de un mortero (ASTA, 2002).

2.6.2. Caracterización del color ASTA en la pulpa de ají escabeche

La muestra de pasta seca (70 a 100 mg) se colocó en una fiola de 100 mL y se diluyó con acetona. Se agitó vigorosamente la muestra, se tapó herméticamente y se dejó reposar protegiéndola de la luz por 16 horas. Para la lectura en el espectrofotómetro, se usó como blanco acetona pura, a una longitud de onda de 460 nm. Las siguientes fórmulas fueron usadas:

$$I_f = \frac{\text{Abs declarada de la celda de referencia estándar}}{\text{Abs a 465 nm de la celda de referencia estándar}}$$

Donde:

Abs = absorbancia

I_f = actor de corrección instrumental

$$\text{Color ASTA} = \frac{\text{Abs de la muestra a 460 nm} \times 16.4 \times I_f}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

2.7. Cinética de degradación del color ASTA en la pulpa de ají escabeche

2.7.1. Determinación del orden de reacción

Se utilizó la cinética de reacción química o deterioro, cuando el atributo de calidad disminuye en el tiempo (Casp y Abril, 1999). Las siguientes fórmulas fueron usadas:

$$\frac{dc}{dt} = kc^n$$

Orden cero: $c = c_0 - kt$

Primer orden: $\ln c = \ln c_0 - kt$

Segundo orden: $1/c = 1/c_0 + kt$

c : Color ASTA a un tiempo t

t : Tiempo (min)

k : Constante de la velocidad de reacción (1/min)

n : Orden de reacción

c_0 : Color ASTA en el tiempo cero

2.7.2. Determinación del tiempo de reducción decimal o valor D y la constante de resistencia térmica o valor Z

Para determinar estos parámetros de la cinética de degradación térmica del color en la pulpa de ají escabeche se utilizó las gráficas semilogarítmicas junto al análisis de regresión lineal (Rejano y otros, 2004). Las siguientes fórmulas fueron usadas:

$$\log \%reten - \log \%reten_0 = \frac{1}{D} t$$

%reten : Porcentaje de retención de color ASTA a un tiempo t.

%reten₀: Porcentaje de retención de color ASTA en el tiempo cero.

D : Tiempo de reducción decimal (minutos).

$$\log D_2 - \log D_1 = \frac{1}{Z} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

T : Temperatura (°C).

Z : Constante de resistencia térmica (°C).

2.7.3. Determinación de la energía de activación

Se determinó según lo descrito por (Ahmed y otros, 2002), donde se asume que la cinética de degradación del color sigue una reacción de primer orden y el valor de la constante (k) dependiente de degradación de la temperatura es representada por la ecuación de Arrhenius. Las siguientes fórmulas fueron usadas:

$$\ln c / c_0 = -kt$$

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

k₀ = Factor de frecuencia (1/min)

E_a = Energía de Activación (kJ/mol)

R = Constante universal de gases (8,314 J/mol.K)

T = Temperatura Absoluta (K)

2.7.4. Método Estadístico

En el análisis del color en la pulpa de ají escabeche se utilizó un diseño bifactorial (3 temperaturas x 4 tiempos) con 2 repeticiones, y el análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%; luego, la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas y, finalmente, la prueba de comparación múltiple de Duncan. El programa SPSS Versión 15.0 para Windows fue utilizado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido del color para la pulpa de ají escabeche

Existieron variaciones en los valores de las medias debido al efecto directamente proporcional de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico sobre la degradación del color en la pulpa de ají escabeche. Esto se puede atribuir a la isomerización *cis/trans* que sufren los carotenos durante el calentamiento, lo cual reduce su contenido debido a la destrucción térmica (Guerra y otros, 2001). La desviación estándar, indicó que existió una baja dispersión entre los tratamientos.

Cuadro 1
MEDIDAS ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS PARA EL COLOR ASTA EN LA PULPA DE AJÍ ESCABECHE

Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Color ASTA	
			Media	D.E.
1	70	0	67,15	7,45
2	70	10	65,20	7,00
3	70	20	63,07	7,55
4	70	30	61,47	6,33
5	70	40	59,85	6,64
6	80	0	67,07	6,40
7	80	10	63,01	5,48
8	80	20	60,07	5,94
9	80	30	57,09	5,81
10	80	40	54,08	5,02
11	90	0	67,08	6,70
12	90	10	61,86	5,67
13	90	20	57,92	6,97
14	90	30	53,18	5,41
15	90	40	49,16	6,68

D.E. : Desviación estándar.

Cuadro 2
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL COLOR ASTA EN LA PULPA
DE AJÍ ESCABECHE

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Tiempo (min)	599,91	4	149,98	3,67	0,028
Temperatura (°C)	152,43	2	76,21	1,86	0,189
Interacción	69,08	8	8,64	0,21	0,984
Error	613,06	15	40,87		
Total	111185,11	30			

Cuadro 3
PRUEBA DE DUNCAN PARA EL COLOR ASTA EN LA
PULPA DE AJÍ ESCABECHE

Respuesta	Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Subgrupo	
				1	2
Color (ASTA) (*)	15	90	40	49,16	
	14	90	30	53,18	53,18
	10	80	40	54,18	54,18
	9	80	30	57,09	57,09
	13	90	20	57,92	57,92
	5	70	40	59,85	59,85
	8	80	20	60,07	60,07
	4	70	30	61,47	61,47
	12	90	10	61,86	61,86
	7	80	10	63,01	63,01
	3	70	20	63,22	63,22
	2	70	10		65,2
		p		0,074	0,076

(*) No incluye el tiempo inicial.

3.2. Efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico sobre el color ASTA en la pulpa de ají escabeche

El tiempo de tratamiento térmico, con un valor $p < 0,05$ mostró evidencia suficiente para afirmar que existió diferencia significativa en la igualdad de las medias del color en la pulpa de ají escabeche. En la variable temperatura, con un valor $p > 0,05$, se indica que no existe diferencia significativa de la temperatura sobre el color en la pulpa de ají escabeche. En la interacción del tiempo y temperatura tampoco existió una marcada influencia. Con la prueba de Levene se observó que existió homogeneidad de varianzas en el color ASTA de la pulpa de ají

escabeche ($p > 0,05$), lo cual valida la aplicación de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan. Esta última demostró la existencia de diferencia estadística significativa entre los tratamientos sobre el color, lo cual se manifestó en la formación de subgrupos (Cuadro 2).

En el cuadro 3 se observa que el tratamiento a temperatura 70 °C y de 10 minutos produjo la menor degradación de color (65,2 color ASTA) con respecto al resto de tratamientos; así mismo, con el tratamiento a 90 °C y 40 minutos se obtuvo el menor promedio de nivel del color (49,16 ASTA). Resultados similares fueron reportados en la cinética de degradación de color en ají rojo y verde por Ahmed y otros (2002).

Cuadro 4
**MEDIAS DE LOS TIEMPOS DE REDUCCIÓN DECIMAL Y
 LA CONSTANTE DE RESISTENCIA TÉRMICA**

Temperatura (°C)	D (min)	Z (°C)
70	801,28	
80	434,78	47,38
90	300,18	

3.3. Cinética de degradación del color de la pulpa de ají escabeche

3.3.1. Determinación del orden de reacción

Se observó que la reacción de primer orden ($R^2 = 0,993$) caracterizó la cinética de degradación térmica del color ASTA en la pulpa de ají escabeche. Resultados similares fueron reportados por Ahmed y otros (2000), en la cinética de degradación del color en pulpa de ají verde; Shin y otros (2001), en la cinética de degradación y efecto del calentamiento en capsantina del paprika; Ahmed y otros (2002), en la degradación térmica del color en pasta y pulpa de ají rojo; Ahmed y otros (2002), en la degradación de color durante el procesamiento térmico en pulpa de ají verde.

3.3.2. Determinación del tiempo de reducción decimal o valor D y la constante de resistencia térmica o valor Z

En el cuadro 4, los valores D, que representan el tiempo necesario para reducir el 90% del contenido de color ASTA en la pulpa de ají escabeche, disminuyeron a medida que incrementa la temperatura. Con estos resultados se puede demostrar que los valores de los parámetros D y Z, correspondientes a la destrucción de constituyentes de alimentos tales como vitaminas, pigmentos, color, cambios en textura, y otros, son generalmente más elevados que los correspondientes a enzimas y microorganismos (Fellows, 1999).

La comparación con otras investigaciones muestra que el valor D para la degradación del color ASTA en la pulpa de ají escabeche a la temperatura de 90 °C (300,18 min); es similar al reportado por Barreiro y otros (1997), en el rango de 70 - 100 °C para la degradación en pulpa de tomate (316 min). Esto corrobora que los valores D para la degradación del color en frutas y vegetales son elevados. En lo referente a la constante de resistencia térmica, que expresa la capacidad relativa de resistencia al calor, por parte del color ASTA en la pulpa de ají escabeche, el

valor de 47,38 °C se asemeja a los valores para la degradación térmica de color en espárrago (41,7 °C), pulpa de guisante verde (45,1 °C), pulpa de manzana (52,2 °C) y pulpa de tomate (53,1 °C) (Hayakawa y Timbres, 1977; Shin y Bhowmik, 1995; Lozano e Ibarz, 1997; Barreiro y otros, 1997).

3.3.3. Determinación de la energía de activación

La energía de activación es la energía mínima para que ocurra la reacción de deterioro (Casp y Abril, 1999). En la ecuación de Arrhenius, energía de activación representa la diferencia de entalpía e indica que las moléculas no pueden reaccionar, por ejemplo degradarse o combinarse a otras moléculas, salvo que adquieran un cierto nivel de energía interna (Cheftel y Cheftel, 1989).

El valor promedio de la energía de activación para la degradación del color ASTA en la pulpa de ají escabeche fue de 51,94 kJ/mol, mayor al de la degradación del color en pulpas de ají verde (25,02 kJ/mol) y rojo (24,80 kJ/mol), (Ahmed y otros, 2002), pero semejante al de la degradación en pulpa de durazno (45,10 kJ/mol) y pulpa de tomate (42,80 kJ/mol), (Lozano e Ibarz, 1997; Barreiro y otros, 1997). Entonces, se puede precisar que la degradación del color ASTA en la pulpa de ají escabeche manifiesta una menor sensibilidad al efecto de la temperatura de calentamiento, si se compara con otras investigaciones realizadas en pulpas de ají.

IV. CONCLUSIONES

- Existió influencia significativa del tiempo de tratamiento térmico sobre el color ASTA en la pulpa de ají escabeche, más no se encontró influencia significativa de la temperatura.
- La cinética de degradación térmica del color ASTA en la pulpa de ají escabeche se caracterizó por una reacción de primer orden, con una energía de activación de 50,82 kJ/mol.

- Los valores del tiempo de reducción decimal para la degradación del color ASTA para las temperaturas de 70, 80 y 90 °C, fueron de 801,28, 434,78 y 300,18 min, respectivamente.
- La constante de resistencia térmica para la degradación del color ASTA en la pulpa de ají escabeche fue de 47,38 min.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed J, Shivhare U, y Debnath S. 2002. Color degradation and rheology of green chilli puree during thermal processing. *International Journal of Food Science and Technology* 37:57-63.
- Ahmed J, Shivhare U, y Ramaswamy H. 2002. A fraction conversion kinetic model for thermal degradation of color in red chilli puree and paste. *Journal of Food Science and Agricultural Chemistry* 35:497-503.
- ASTA 2002. American spice trade association. Method 1.0: Preparation of sample. Washington, USA.
- ASTA 2002. American spice trade association. Method 20.0: Extractable color in Capsicum. Washington, USA.
- Barreiro J, Milano M, y Sandoval A. 1997. Kinetics of color change in double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33:359-371.
- Casp A, y Abril J. 1999. Procesos de conservación de alimentos. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España.
- Cheftel H, y Cheftel J. 1989. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen I. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Fellows P. 1999. Tecnología del procesado de los alimentos. Principio práctico. Edit. Acribia S.A. Zaragoza - España.
- Guerra-Vargas M, Jaramillo-Flores M, Dorantes-Alvarez L, y Hernández-Sánchez H. 2001. Carotenoid retention in canned pickled jalapeño peppers and carrots as affected by sodium chloride, acetic acid, and pasteurization. *Journal of Food Science* 66: 620-626.
- Hayakawa K, y Timbers G. 1977. Influence of heat treatment on the quality of vegetables: changes in visual green color. *Journal of Food Science* 42:778-781.
- Lozano J, y Ibarz A. 1997. Colour changes in concentrated fruit pulps during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering* 34:365-373.
- OIA, 2006. Oficina de información agraria. Ministerio de agricultura. producción de ají escabeche. Trujillo, Perú.
- Rejano L, Castro A, Sánchez A, Casado F, y Montaña A. 2004. Thermal kinetics of pungency loss in relation to the quality of pickled garlic. *International Journal of Food Science and Technology* 39:311-317.
- Shin S, y Bhowmik S. 1995. Thermal kinetics of color changes in pea puree. *Journal of Food Engineering* 24:77-86.
- Shin J, Chung H, Seo J, Sim J, Huh C, Kim S, y Baek Y. 2001. Degradation kinetics of capsanthin in paprika (*Capsicum annuum* L.) as affected by heating. *Journal of Food Science* 66:15-19.