



Estudio de los parámetros cinéticos en los cambios de color en pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*) durante el tratamiento térmico

Study of the kinetic parameters in changes of color in cocona pulp (*Solanum sessiliflorum*) during the thermal treatment

Nancy Nery Contreras Gutiérrez*; Yolanda Jesús Ramírez Trujillo; Luz Milagros Follegatti Romero

Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Carretera Central km 1.2. Tingo María, Perú.

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo de determinar los parámetros cinéticos en el cambio de color de la pulpa de cocona sometida a diferente tiempo y temperatura de tratamiento térmico. Se recabaron frutos de cocona ovalado del mercado de abastos de la ciudad de Tingo María, se realizó la caracterización física y fisicoquímica de los frutos y se procedió al lavado, pelado y pulpeado y en una proporción de 15 g/tubo fueron sometidos a tratamiento térmico de 60, 70 y 80 °C por tiempos de 5, 10 y 15 minutos. Las fotografías digitales capturadas luego del tratamiento térmico fueron procesadas mediante el software Just Color Picker determinándose los parámetros de color RGB (Rojo, verde, azul), se determinó la variación del color y se determinó la constante de la variación del color arreglada a los diferentes órdenes de reacción. Luego se determinaron los parámetros cinéticos: K, D, $t_{0.5}$, Q_{10} , z y la energía de activación. La variación del color de la pulpa de cocona se adapta a una cinética de orden cero. Los datos cinéticos de la variación del color de la pulpa de cocona pueden ser usados para el diseño de tratamientos térmicos de escaldado o pasteurización.

Palabras clave: parámetros R G B; variación del color; software Just Picker.

ABSTRACT

The research work was carried out with the objective of determining the kinetic parameters in the color change of the cocona pulp subjected to different time and temperature. heat treatment. Oval cocona fruits were collected from the market of supplies from the city of Tingo María, the physical and physicochemical characterization of the fruits under study was carried out, and washing, peeling and pulping were carried out and at a rate of 15 g / tube they were subjected to heat treatment of 60, 70 and 80 °C for 5, 10 and 15 minutes. The digital photographs captured after the heat treatment were processed by the Oval cocona fruits were collected from the market of supplies from the city of Tingo María, the physical and physicochemical characterization of the fruits under study was carried out, and washing, peeling and pulping were carried out and at a rate of 15 g/tube they were subjected to heat treatment of 60, 70 and 80 °C for 5, 10 and 15 minutes. The digital photographs captured after the heat treatment were processed by the Just Color Picker software, determining the RGB color parameters (Red, green, blue), the variation of the color was determined and the constant of the color variation adjusted to the different ones was determined. reaction orders. Then the kinetic parameters were determined: K, D, $t_{0.5}$, Q_{10} , z and the activation energy of the color variation. The color variation of the cocona pulp is adapted to zero order kinetics. The kinetic data of the color variation of the cocona pulp can be used for the design of scalding or pasteurization thermal treatments.

Keywords: parameters R G B; color variation; Just Picker software.

1. Introducción

La Cocona es una fruta que crece en zonas tropicales, principalmente en la Amazonía peruana (Amazonas, Ucayali e Iquitos) además de otras zonas que se encuentran entre Colombia, Ecuador, Brasil y Venezuela. El fruto varía desde casi esférico u ovoide hasta ovalado, color desde amarillo hasta rojizo (Cardona *et al.*, 2011).

El color es una característica sensorial que es posible describir con parámetros físicos cuantificables. En la industria de alimentos la medición instrumental del color sirve como herramienta de control de calidad (ACTA, 2008).

Los consumidores manifiestan una fuerte preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva y el color es el primer atributo que se juzga

de los productos. Por otra parte, los productos vegetales tratados térmicamente, sufren degradación de la clorofila, carotenoides, antocianinas, etc. respondiendo a una cinética de primer orden en diferentes sistemas vegetales (Esqueda y López, 2010).

Entre los factores que influyen en la degradación del color, el efecto de la temperatura fue ampliamente estudiado por muchos investigadores y en numerosos productos. En pulpa de cocona al querer conservarse por más tiempo es conveniente realizar un tratamiento térmico, por tanto, es importante conocer de qué forma varían estos parámetros al tratarse la pulpa a diferente tiempo y temperatura.

En consecuencia, el objetivo principal del trabajo fue estudiar la cinética de la variación del color en la pulpa de cocona sometida a tratamiento térmico.

La importancia del color como una característica de valoración física y de calidad en los alimentos hace necesario disponer de métodos objetivos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles. El color es afectado por muchos factores, tales como la iluminación, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura y brillo de la muestra analizada. Actualmente por el aumento de las expectativas impuestas en los alimentos en cuanto a normas de calidad y seguridad, surge la necesidad de determinar la calidad precisa, rápida y objetiva. La visión por sistemas computarizados proporciona una alternativa para una técnica automatizada, no destructiva y rentable para lograr estos requisitos.

Thomas Young propuso que el ojo detecta diferentes colores porque contiene tres tipos de receptores, cada uno de ellos sensible a una única tonalidad del color (Badui, 2006). Esta teoría fue denominada la teoría tricromática y fue sugerida por el hecho de que para los observadores humanos cualquier color puede ser reproducido mezclando tres colores, en cantidades variables, acertadamente seleccionadas de distintos puntos del espectro (Badui, 2006). El ojo humano es sensible a un rango limitado de longitudes de onda (λ), llamado espectro de luz visible, el cual constituye sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Se extiende aproximadamente entre 380 y 780 nm.

Los objetos absorben y reflejan la luz de forma distinta dependiendo de sus características físicas, tal como la forma o la composición. El color que se percibe de un objeto es el rayo de luz que rechaza. Los colores de los alimentos se deben a distintos compuestos, principalmente orgánicos, algunos que

se producen durante el manejo y procesamiento y otros que son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos (Badui, 2006).

La visión digital es una nueva tecnología con la generación de imágenes por medio de cámaras digitales o escáneres seguido del procesamiento y análisis de dichas imágenes en computadoras, usando software especial, de modo que el sistema integrado interpreta la información de manera equivalente a lo que hace el ojo y el cerebro humano (Aguilera, 2011). La visión digital ha tenido una gran aplicación en la industria alimentaria en los sistemas de aseguramiento de calidad por su carácter no invasivo y la posibilidad de automatización de los procesos en línea.

El modelo RGB es un modelo de color aditivo que utiliza una luz transmitida para mostrar los colores. Varias proporciones e intensidades de los tres colores primarios (rojo, verde y Azul) se utilizan para acromatizar magenta, amarillo y blanco. Ello se utiliza para la proyección y las pantallas cuyos píxeles coloreados se producen disparando rojo, verde y los cañones de electrones azules en los fósforos en las pantallas. El modelo relaciona el color con la retina. El modelo depende del dispositivo, ya que su rango de colores varía con el dispositivo de visualización (Yam y Papadakis, 2004).

Las ecuaciones cinéticas de la vida en anaquel son específicas para el alimento estudiado y las condiciones ambientales empleadas. De los factores no composicionales que llegan a afectar las reacciones, tales como la temperatura, humedad relativa, presión parcial de los gases envasado, luz y tensiones mecánicas, el único parámetro normalmente incorporado a los modelos de vida en anaquel es la temperatura. Esta afecta intensamente a las velocidades de reacción y es el único factor entre los mencionados que no es afectado por el tipo de material de empaque del alimento (Fennema, 2000).

Labuza (1982) menciona la importancia de la temperatura en las velocidades de reacción y que esto es reconocido por mucho tiempo.

2. Material y métodos

2.1. Material de análisis

La muestra para el análisis fue cocona ovalada (*Solanum sessiliflorum*) obtenida del mercado de abastos de la ciudad de Tingo María.

2.2. Métodos de análisis

Determinación de humedad (AOAC 13.0001/98), determinación de cenizas (AOAC 13.005/98.). Determinación de acidez (AOAC 942.15.2000).

Determinación de grados Brix. pH: método AOAC N° 11032 (AOAC, 1997).

La evaluación del color se realizó según la metodología reportada por Leon et al. (2006), las fotografías digitales capturadas luego del tratamiento térmico fueron procesadas mediante el software Just Color Picker determinándose los parámetros de color RGB (Rojo, verde, azul).

2.3. Metodología experimental

Determinación de los parámetros físicos de la cocona: Se determinaron la longitud, diámetro menor y diámetro mayor, así como el peso de las muestras de cocona.

Se procedió a evaluar las características fisicoquímicas en las muestras de cocona: humedad, ceniza, pH, acidez y sólidos solubles se midieron en las muestras de acuerdo a la Normas de la AOAC; los resultados de acidez y grados Brix fueron expresados en gramos de ácido cítrico/100 g pulpa y °Brix, respectivamente.

La determinación de los parámetros de color R,G,B fue realizado según el método indicado en el inciso 3.4.

Determinación de la cinética del cambio de color de la pulpa de cocona sometida a diferente tiempo y temperatura de tratamiento térmico: Se preparó tubos con 15 g de pulpa de cocona cada uno, para cada relación temperatura-tiempo. La cinética de variación del color considerando los parámetros R, G y B, sometida a tratamiento térmico de 60, 70 y 80 °C a 5, 10 y 15 min, se calculó según las ecuaciones indicadas a continuación y los datos cinéticos fueron analizados mediante el análisis de regresión, utilizando MS Excel 2010.

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -Kt$$

$$k = A_0 e^{-E_a/RT}$$

$$D = \frac{\ln(10)}{k}$$

$$t_{0,5} = \frac{-\ln(0,5)}{k}$$

$$Q_{10} = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}}$$

$$z = \frac{10 \ln(10)}{\ln Q_{10}}$$

Donde C: concentración de color; k: velocidad constante de reacción expresada en min⁻¹; t: tiempo en minutos; E_a: energía de activación en kcal/mol; R: constante universal de los gases (1,987 cal/mol °K); T: temperatura absoluta en grados kelvin (K); A: constante pre-exponencial; D: reducción decimal; t_{0,5}: tiempo requerido para reducir el 50% la concentración original de color; Q₁₀: cambio de la constante de velocidad de una reacción al aumentar la temperatura en 10 °C; z = constante de resistencia térmica.

3. Resultados y discusión

3.1. Características físicas de la cocona

Los resultados de la determinación de las características físicas de la cocona en estudio, se muestran la [Tabla 1](#).

Tabla 1

Características físicas de la cocona

| Muestra | Longitud (cm) | Diámetro mayor (cm) | Diámetro menor (cm) | Peso (g) |
|----------|---------------|---------------------|---------------------|-------------|
| 1 | 9,1 | 6,7 | 5,4 | 249,0 |
| 2 | 9,0 | 6,4 | 5,5 | 217,0 |
| 3 | 7,6 | 6,9 | 5,5 | 212,3 |
| 4 | 8,3 | 7,0 | 5,6 | 223,5 |
| 5 | 8,5 | 6,7 | 5,3 | 219,0 |
| 6 | 8,4 | 7,3 | 5,6 | 249,0 |
| 7 | 8,8 | 7,1 | 5,6 | 240,0 |
| 8 | 9,1 | 7,4 | 5,8 | 290,0 |
| 9 | 9,0 | 6,4 | 5,5 | 198,3 |
| 10 | 9,0 | 7,1 | 6,0 | 195,0 |
| Promedio | 8,68±0,06 | 6,9±0,05 | 5,58±0,04 | 229,33±0,12 |

La longitud promedio de las muestras de cocona utilizadas tuvieron un valor de 8,68 ± 0,05 cm, ligeramente mayor a lo indicado por Carbajal y Balcazar (2000) quienes reportan cocona con longitudes de 5,218 cm y 8,397 cm. Igualmente. Da Silva et al. (1999) reportan longitudes de cocona mínimo 4,26 y máximo 8,49 pudiendo deberse esto a las variaciones de tamaño obtenidas por mejoramiento de cultivos realizados en cocona (Brack, 2003).

El diámetro de cocona presentó 6,9 y 5,58 cm, al respecto Carbajal y Balcazar (2000), indican diámetros de 4,994 y 7,785 cm, pudiendo deberse a la variedad de cocona utilizada para el análisis. El peso promedio de la cocona analizada estuvo en 229,325 g, dentro del rango reportado por Da Silva (1998), de 20 y 450 g. Igualmente Da Silva et al. (1999) reportan peso mínimo de 47,66 y máximo 292,14 g.

3.2. Características fisicoquímicas de la pulpa de cocona

Los análisis de las características fisicoquímicas de la pulpa de cocona se indica en la [Tabla 2](#).

Tabla 2

Resultados de la evaluación fisicoquímica de la cocona

| Humedad % | Ceniza % | Acidez Titulable* | pH | °Brix |
|---------------|----------|-------------------|-------------|-------|
| 93,050 ± 0,17 | 0,62 | 0,50 | 4,58 ± 0,06 | 6 |

* como g ácido cítrico / 100 g.

Según los resultados obtenidos, el porcentaje de humedad de la cocona en estudio fue de 93,050±0,17%, catalogado como un fruto succulento,

el valor obtenido es similar a lo reportado por [Andrade et al. \(1997\)](#). El porcentaje de ceniza de las muestras estuvo en 0,62% menor a lo reportado por [Pahlen \(1997\)](#), 0,9% y [Villachica \(1996\)](#); 0,7%. La acidez titulable fue de 0,50 g de ácido cítrico / 100 g de pulpa, menor a lo reportado por [Fugita \(2011\)](#), quién obtuvo 1,23 g ácido cítrico / 100 g de pulpa, pudiendo deberse esto a las variedades diferenciadas por los suelos. El pH de los frutos de cocona en estudio fue de $4,58 \pm 0,06$, menor a lo reportado por [Fugita \(2011\)](#) quién indica 3,18 de pH en frutos antes del inicio del almacenamiento.

Los resultados de grados Brix (6), similar a lo indicado por [Fugita \(2011\)](#), 6,13, los valores de grados Brix de cocona, están influenciadas por el tipo de suelo.

3.3. Resultados de la determinación de los parámetros R, G y B de la pulpa de cocona.

Los resultados de la determinación de los parámetros de color R, G y B, en tratamiento térmico a 60 °C mediante las fotografías digitales capturadas luego del tratamiento térmico y procesado mediante el software Just Color Picker se muestran en la [Tabla 3](#).

Tabla 3

Valores promedio R, G y B en pulpa de cocona en tratamiento térmico a 60 °C

| Tiempo | Rep. | R | Prom | G | Prom | B | Prom |
|--------|------|-----|-------|-----|-------|----|------|
| 0 | 1 | 160 | | 114 | | 39 | |
| | 2 | 157 | 159,3 | 119 | 117,3 | 36 | 39,7 |
| | 3 | 161 | | 119 | | 44 | |
| 5 min | 1 | 174 | | 124 | | 39 | |
| | 2 | 151 | 163,3 | 107 | 115,3 | 32 | 34,3 |
| | 3 | 165 | | 115 | | 32 | |
| 10 min | 1 | 184 | | 133 | | 52 | |
| | 2 | 187 | 179 | 132 | 127,7 | 45 | 43,3 |
| | 3 | 166 | | 118 | | 33 | |
| 15 min | 1 | 157 | | 113 | | 38 | |
| | 2 | 170 | 167,3 | 122 | 119,7 | 42 | 37,7 |
| | 3 | 175 | | 124 | | 33 | |

De los resultados obtenidos se puede observar que, con el tratamiento térmico, existe mayor tendencia hacia el color Rojo (66,61%) de los 255 que sería el color puro Rojo, seguido del color Verde (47,41%), de los 255 que sería el verde puro y en menor proporción el color Azul (15,07%) de los 255 que correspondería al color azul puro.

Considerando que, de manera usual, la intensidad de cada una de los componentes se mide según una escala que va del 0 al 255 y cada color es definido por un conjunto de valores escritos entre paréntesis (correspondientes a valores "R", "G" y "B") y separados por comas, se puede indicar que

existe mayor porcentaje de color rojo en cocona y menor porcentaje de tonalidad azul. De un valor inicial (159,3; 117,3; 39,7) aumenta a los 5 minutos la tonalidad roja y disminuyen las tonalidades verde y azul (163,3; 115,3; 34,3), a los 10 minutos (179; 127,7; 43,3) hay aumento de las tonalidades rojo, verde y azul y, a los 15 minutos (167,3; 11,7; 37,7) disminuyen las tres tonalidades. De inicialmente un verde brillante en espárragos, indica ([Francis y Clydesdale, 1985](#)), el calentamiento adicional hizo cambiar el color de los espárragos a marrón oliva que se atribuye a la feofilización. El aumento de las tres tonalidades hasta los 10 minutos, podría deberse al acomodo de las células dentro de la matriz de la pulpa, toda vez que se tiene semilla incluida dentro de ella. La disminución de las tres tonalidades al llegar a tratamiento térmico de 15 minutos, podría deberse al efecto adicional que se ha producido, como indica [Woolfe \(1979\)](#), la expulsión de aire entre las células que conducen a un cambio en las propiedades de superficie.

Los resultados de la determinación de los parámetros de color R, G y B, en tratamiento térmico a 70 °C mediante las fotografías digitales capturadas luego del tratamiento térmico y procesado mediante el software Just Color Picker se muestran en la [Tabla 4](#).

Tabla 4

Valores promedio R, G y B en pulpa de cocona en tratamiento térmico a 70 °C

| Tiempo | Rep. | R | Prom | G | Prom | B | Prom |
|--------|------|-----|-------|-----|-------|----|------|
| 0 | 1 | 158 | | 116 | | 40 | |
| | 2 | 167 | 165,3 | 121 | 122,7 | 42 | 45,3 |
| | 3 | 171 | | 131 | | 54 | |
| 5 min | 1 | 161 | | 111 | | 26 | |
| | 2 | 204 | 189 | 155 | 140,3 | 81 | 56,7 |
| | 3 | 202 | | 155 | | 63 | |
| 10 min | 1 | 181 | | 133 | | 41 | |
| | 2 | 188 | 186,3 | 142 | 138,3 | 30 | 36,7 |
| | 3 | 190 | | 140 | | 39 | |
| 15 min | 1 | 184 | | 136 | | 54 | |
| | 2 | 173 | 176,3 | 122 | 126,3 | 39 | 44,3 |
| | 3 | 172 | | 121 | | 40 | |

De los resultados obtenidos se puede observar que después del tratamiento térmico, aumenta la tendencia hacia los colores rojo, verde y azul, comparado con el tratamiento a 60 °C, tendencia promedio hacia el color Rojo (72,10%) de los 255 que sería el color puro Rojo, seguido del color Verde (52,93%), de los 255 que sería el verde puro y en menor proporción el color Azul (18%) de los 255 que correspondería al color azul puro.

Considerando que, de manera usual, la intensidad de cada una de los componentes se mide según

una escala que va del 0 al 255 y cada color es definido por un conjunto de valores escritos entre paréntesis (correspondientes a valores "R", "G" y "B") y separados por comas, se puede indicar que existe mayor porcentaje de color rojo en cocona y menor porcentaje de tonalidad azul.

De un valor inicial (165,3; 122,7; 45,3) a los 5 minutos de tratamiento térmico a 7°C, aumentan las tonalidades rojo, verde y azul (189; 140,3; 56,7), comportamiento diferente que a 60 °C, donde aumenta solo la tonalidad roja y los otros disminuyen; a los 10 minutos disminuyen las tres tonalidades rojo, verde y azul (186,3; 138,3; 36,7), diferente comportamiento que a 60 °C donde hay aumento de las tonalidades rojo, verde y azul; a los 15 minutos (167,3; 119,7; 37,7) disminuyen las tonalidades verde y azul pero hay un ligero aumento de la tonalidad roja, a los 60 °C hay disminución de las tres tonalidades. El aumento de las tres tonalidades hasta los 5 minutos, se debe al acomodo de las células dentro de la matriz de la pulpa, toda vez que se tiene semilla incluida dentro de ella.

El aumento de las tres tonalidades con respecto al valor inicial, en tratamiento térmico de 15 minutos a 70 °C, podría deberse al efecto adicional que se ha producido, como indica Woolfe (1979), la expulsión de aire entre las células que conducen a un cambio en las propiedades de superficie.

Los resultados de la determinación de los parámetros de color R, G y B, en tratamiento térmico a 80 °C mediante las fotografías digitales capturadas luego del tratamiento térmico y procesado mediante el software Just Color Picker se muestran en la [Tabla 5](#).

Tabla 5

Valores promedio R, G y B en pulpa de cocona en tratamiento térmico a 80 °C

| Tiempo | Rep. | R | Prom | G | Prom | B | Prom |
|--------|------|-----|-------|-----|-------|----|------|
| 0 | 1 | 165 | | 124 | | 58 | |
| | 2 | 166 | 159,3 | 127 | 120,3 | 58 | 51,6 |
| | 3 | 147 | | 110 | | 39 | |
| 5 Min | 1 | 180 | | 136 | | 31 | |
| | 2 | 179 | 179,3 | 136 | 136 | 34 | 32 |
| | 3 | 179 | | 136 | | 31 | |
| 10 min | 1 | 185 | | 142 | | 38 | |
| | 2 | 179 | 182,3 | 137 | 140,3 | 35 | 33,7 |
| | 3 | 183 | | 142 | | 28 | |
| 15 min | 1 | 180 | | 138 | | 28 | |
| | 2 | 177 | 183,7 | 139 | 143,7 | 32 | 33,7 |
| | 3 | 194 | | 154 | | 41 | |

De los resultados obtenidos se puede observar que después del tratamiento térmico a 80°C, aumenta la

tendencia hacia los colores rojo y verde y disminuye la tendencia a azul, comparado con el tratamiento a 60 °C, tendencia promedio hacia el color Rojo (72,10%) de los 255 que sería el color puro Rojo, seguido del color Verde (52,93%), de los 255 que sería el verde puro y en menor proporción el color Azul (18%) de los 255 que correspondería al color azul puro. Considerando que, de manera usual, la intensidad de cada una de los componentes se mide según una escala que va del 0 al 255 y cada color es definido por un conjunto de valores escritos entre paréntesis (correspondientes a valores "R", "G" y "B") y separados por comas, se puede indicar que existe mayor porcentaje de color rojo en cocona y menor porcentaje de tonalidad azul.

De un valor inicial (159,3; 120,3; 51,6), a los 5 minutos de tratamiento térmico a 80 °C, aumentan las tonalidades rojo, verde similar comportamiento que a 60 °C y diferente que a los 70 °C donde aumentan las tres tonalidad rojo, verde y azul; a los 10 minutos (182,3; 140,3; 33,7) aumentan las tonalidades rojo y verde y disminuye la tonalidad azul, comportamiento similar que a los 60 °C, pero diferente que a los 70 °C donde disminuye la tonalidad azul; a los 15 minutos (183,7; 143,7; 37,7) aumentan las tonalidades verde y azul y disminuye la tonalidad azul con respecto al inicial. Comportamiento similar que a los 60 y 70 °C.

El aumento de las tonalidades rojo y verde con respecto al valor inicial, en tratamiento térmico de 15 minutos a 80 °C, podría deberse al efecto adicional que se ha producido, como indica Woolfe (1979), la expulsión de aire entre las células que conducen a un cambio en las propiedades de superficie.

3.4. Cinética del cambio de color de la pulpa de cocona

Los valores de la variación de los parámetros de color se determinaron utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta \text{color} = \sqrt{(R_0 - R_1)^2 + (G_0 - G_1)^2 + (B_0 - B_1)^2}$$

Para las tres temperaturas en estudio y fueron ajustados a los modelos de cinética de órdenes cero, uno y dos, el resultado se muestra en la [Tabla 6](#).

Tabla 6

Constante de Variación del color de la pulpa de cocona arreglada a los diferentes órdenes de reacción

| T (°C) | Orden Cero | | Orden Uno | | Orden Dos | |
|--------|------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| | K | R ² | K | R ² | K | R ² |
| 60 | 0,158 | 0,03 | 0,0203 | 0,06 | -0,0049 | 0,10 |
| 70 | -2,002 | 0,89 | -0,1002 | 0,85 | 0,0118 | 0,83 |
| 80 | 0,615 | 0,96 | 0,0175 | 0,95 | -0,0014 | 0,95 |

De acuerdo a la [Tabla 6](#), se puede concluir que los datos experimentales se ajustan mejor al orden de reacción cero, teniendo mayor R^2 que los demás a 70 y 80 °C. Los parámetros cinéticos de la variación del color en la pulpa de cocona durante el tratamiento térmico se presentan en la [Tabla 7](#).

Tabla 7

Parámetros cinéticos de color en pulpa de cocona

| Temperatura (°C) | K (min ⁻¹) | D (min) | T _{0,5} (min) | Q ₁₀ (60-80 °C) | Z (°C) | Ep (kCal/mol) |
|------------------|------------------------|---------|------------------------|----------------------------|--------|---------------|
| 60 °C | 0,158 | 14,57 | 4,39 | 1,97 | 33,96 | 4892, 3 |
| 70 °C | -2,002 | -1,15 | -0,35 | | | |
| 80 °C | 0,615 | 3,74 | 1,13 | | | |

Como podrá observarse en los resultados de la [Tabla 8](#), la constante de la variación del color es menor a 70 °C (-2,002 min⁻¹), no existiendo consistencia en el resultado a 80 °C (0,615 min⁻¹) por cuanto este valor es mayor que a 60 °C (0,158 min⁻¹), se podría decir que K disminuye cuando se aumenta la temperatura de 60 a 70 °C para luego aumentar a 80 °C; [Ordoñez Y Yoshioka \(2012\)](#), en su trabajo sobre cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango, encontró que k aumenta al elevarse la temperatura de 60 a 80 °C. Por otro lado, se observa que D y t_{0,5}, inicialmente decrece con el tratamiento de 60 a 70 °C, pero luego aumenta al elevarse a 80 °C; [Ordoñez Y Yoshioka \(2012\)](#), en su trabajo sobre Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango, los valores D y t_{0,5} decrecen al elevarse la temperatura de 60 a 70 y luego a 80 °C. Se obtuvo un valor Q₁₀ de 1,97; lo que indicaría que la variación del color de la pulpa de cocona no es muy afectada por la temperatura. Según [Alvarado \(1996\)](#) un valor de Q₁₀ alto indica que el alimento es muy sensible a los cambios de temperatura; por el contrario, un valor próximo a la unidad indica que el alimento es poco sensible a los cambios de temperatura, desde el punto de vista de calidad. La energía de activación para la variación del color de la pulpa de cocona es de 4892, 3 kCal/mol, con R² de 0,02, por lo que se concluye que la variación del color de la pulpa de cocona en las condiciones en estudio no tiene tendencia lineal.

4. Conclusiones

La variación del color de la pulpa de cocona se adapta a una cinética de orden cero. Los datos cinéticos de la variación del color de la pulpa de cocona pueden ser usados para el diseño de tratamientos térmicos de escaldado o pasteurización.

Referencias bibliográficas

- AOAC. 2000. Official methods of analysis. Recuperado de: AOAC. En: <http://img.21food.cn/img/biaozhun/20100108/177/11285282.pdf>
- Aguilera, J.M. 2011. Ingeniería gastronómica. Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Alvarado, J. 1996. Determinación de los parámetros reológico en pulpas de frutas (informe final del proyecto de investigación). Universidad técnica de Ambato (UTA) - consejo nacional de universidades y escuelas politécnicas del Ecuador (CONEUP).
- Andrade, J.S.; Rocha, I.M.A.; Silva Filho, D.F. 1977. Características físicas y composición química de frutos de poblaciones naturales de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) evaluadas en el Amazonas Central. Revista Brasileña de Fruticultura.
- Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ACTA) 2008. Estadística aplicada en evaluación sensorial. Bogotá, Colombia.
- Badui, S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación, México.
- Brack, A. 2003. Perú: diez mil años de domesticación. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Proyecto FANPE - GTZ. Editorial Bruño, Lima Perú.
- Carbajal, C.; Balcazar, L. 2000. Cultivo de Cocona. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Programa de Biodiversidad.
- Cardona, J.; Cuca, L.; Barrera, J. 2011. Determinación de algunos metabolitos secundarios en tres tipos de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal). En: Revista Colombiana de Química 40(2): 185-200.
- Da Silva, D. 1998. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal): Cultivo y Utilización. Tratado de cooperación Amazónica Secretaria Pro-Tempore SPT – TCA. Caracas Venezuela. Disponible en: <http://lacoconaperu.blogspot.pe/>
- Da Silva, D.; Andrade, J.; Clement, Ch.; Machado; Fnode, H. 1999. Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales entre descriptores morfológicos y químicos de frutos de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) de la Amazonia. Acta Amazónica 29(4): 503-511.
- Esqueda, S.; López, S. 2010. Investigación de mercado en Venezuela: la opinión de los expertos. En: Revista Debates IESA 11(2). pp. 32-45.
- Francis, F.J.; Clydesdale, F.M. 1985. Food colorimetry: Theory and Applications. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Fennema, O. 2000. Química de los Alimentos. Acribia. España. 1280 p.
- Figura, O.; Teixeira, A. 2007. Food Physics: Physical Properties, Measurement and Applications. Heidelberg, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- Fugita, E. 2011. Temperatura, Embalagem e Radiação gama na Conservação Póscolheita de Maná Cubiu. Tesis para optar el Grado de doctorado en Agronomía. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Agronômicas. Brasil.
- Labuza, T.P.; Riboh, D. 1982. Theory and Application of Arrhenius Kinetics to the Prediction of Nutrient Losses in Foods [Degradation, Keeping, Quality, Temperature, Quality Controls, Analysis, Models]. Food Technology 36: 66-74.
- León, K.; Mery, D.; Pedreschi, F.; León, J. 2006. Color measurement in Lab units from RGB digital images. Food Research International 39: 1084–1091.
- Ordoñez, L.; Yoshioka, L. 2012. Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). Vitae 19(1): S81-S83.
- Pahlen, A.V.D. 1977. Cocona (*Solanum tojiro* Humb. & Bonpl.), un fruto del Amazonas. La cosecha Amazónica 7: 301-107.
- Villachica, H. 1996. Frutales y Hortalizas promisorias de la Amazonia SPT - TCA N° 44. Lima, Perú. pp. 97-102.
- Woolfe, M. L. 1979. Pigments. In R. J. Priestley, Effects of heating on foodstuffs. London, UK: Applied Science Publishers: 77-119.
- Yam, K.L.; Papadakis, S.E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of Food Engineering 61(1): 137-142.