

DETERMINACIÓN DEL COLOR DEL EXOCARPIO COMO INDICADOR DE DESARROLLO FISIOLÓGICO Y MADUREZ EN LA GUAYABA PERA (*Psidium guajava* cv. Guayaba pera), UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO*
NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA**
NELSON GUTIÉRREZ GUZMÁN***

RESUMEN

Se desarrolló el análisis de las coordenadas colorimétricas de imágenes digitales en muestras de frutos de guayaba pera (*Psidium guajava* cv. Guayaba pera) para tres tipos de cosecha: recolección tradicional 120 días después de la floración T1, recolección temprana 112 días después de la floración T2 y recolección temprana 110 días después de la floración T3, los tres tratamientos fueron almacenados en condiciones ambientales con temperatura de 26 °C y humedad relativa del 58% y en ambiente refrigerado con temperatura de 7,5 °C y humedad relativa del 85%. Para la determinación del color se utilizaron dos espacios de color: RGB y CIE-L*a*b*, cada uno de estos espacios describió el color de la piel usando tres componentes que permitieron comparar la evolución de cada uno de éstos durante la etapa de poscosecha. Los resultados presentaron una evolución típica desde el verde intenso, recién recolectado, hacia colores verdes claros amarillosos. Las coordenadas encontradas permiten la reproducción de los colores de la evolución de la madurez en dispositivos de impresión configurados en coordenadas RGB. De los parámetros fisicoquímicos evaluados, la tasa de respiración de los frutos es lo que más se correlaciona con el cambio de coloración durante la etapa de poscosecha.

PALABRAS CLAVES: procesamiento digital de imágenes; espacios de color; tasa de respiración de guayaba pera.

* Ingeniera agrícola, investigadora del Grupo Agroindustria USCO, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. Correo electrónico: jeka141285@hotmail.com

** Ingeniero agrícola, MSc. en Ingeniería Agrícola Universidad Nacional de Colombia, profesor titular Facultad Ingeniería Universidad Surcolombiana Neiva, Colombia. Correo electrónico: cerquera@usco.edu.co

*** Ingeniero agrícola, PhD en Tecnología de Alimentos. Profesor asistente Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, Neiva, Huila. Correo electrónico: ngutierrezg@usco.edu.co

EXOCARP COLOR DETERMINATION AS INDICATOR OF PHYSIOLOGICAL DEVELOPMENT AND MATURITY IN PEAR GUAVA (*Psidium guajava* cv. Pear guava), USING TECHNIQUES OF DIGITAL IMAGE PROCESSING

ABSTRACT

The colorimetric coordinates analysis of digital images in samples pear guava fruits (*Psidium guajava* cv. *Pear guava*) was performed for three times of harvest: traditional harvesting at 120 days after flowering (T1), early harvesting at 112 days after flowering (T2) and, early harvesting at 110 days after flowering (T3), the three group of samples were stored at environmental conditions at a temperature of 26 °C and 58% of relative humidity and under refrigeration at 7.5 °C and 85% relative humidity. For color determination two color spaces were used: RGB and CIE-L*a*b*, each of these spaces describes the color of the skin using three components that allow the comparison of its evolution during each step of postharvest. The results showed a typical evolution from deep green, freshly harvested, to light green yellowish colors. The found coordinates allow the reproduction of the colors of the evolution of ripening in printing devices configured in RGB coordinates. From the physicochemical parameters assessed, the respiration rate of the fruit is the most correlated with the change of color during the post-harvest stage.

KEYWORDS: digital image processing; color spaces; respiration rate of the pear guava.

DETERMINAÇÃO DA COR DO EXOCÁRPIO COMO INDICADOR DE DESENVOLVIMENTO FISIOLÓGICO E MADURIDADE NA GOIABA PERA (*PSIDIUM GUAJAVA* CV. GOIABA PERA), USANDO TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

RESUMO

Desenvolveu-se a análise das coordenadas colorimétricas de imagens digitais em mostras de frutos de guayaba pera (*Psidium guajava* cv *Goiaba Pêra*) para três tipos de colheita: coleta tradicional 120 dias após a floração T1, coleta temporã 112 dias após a floração T2 e coleta temporã 110 dias após a floração T3, os três tratamentos foram armazenados em condições ambientais com temperatura de 26 °C e humidade relativa de 58% e em ambiente refrigerado com temperatura de 7,5 °C e humidade relativa de 85%. Para a determinação da cor utilizaram-se dois espaços de cor: RGB e CIE-L*a*b*, a cada um destes espaços descreveu a cor da pele usando três componentes que permitiram comparar a evolução da cada um destes durante a etapa de poscosecha. Os resultados apresentaram uma evolução típica desde o verde intenso, recém colectado, para cores verdes claros amarelados. As coordenadas encontradas permitem a reprodução das cores da evolução da maturidade em dispositivos de impressão configurados em coordenadas RGB. Dos parâmetros físicoquímicos avaliados, a taxa de respiração dos frutos é o que mais se correlaciona com a mudança de coloración durante a etapa de poscosecha.

PALAVRAS-CODIGO: processamento de imagem digital; espaços de cor; taxa de respiração pêragoiaba.



1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Conde y Báez (1999), el color juega un papel muy importante en la determinación del estado, calidad y características de las frutas. Se define como una percepción humana, y es el resultado de una serie compleja de procesos en el sistema visual humano. Es posible capturar una imagen digitalmente por medio de un sistema de formación de imágenes electrónico, por ejemplo, la imagen digital puede ser obtenida al escanear una fuente análoga tal como una fotografía o una impresión a color o usando un digitalizador de imágenes, por ejemplo, una cámara CCD. En cualquier caso la imagen digital producida va hacia una computadora, la cual genera la imagen de salida pixel por pixel. La imagen de salida consiste en un arreglo bidimensional de valores muestra tomados de la escena o impresión. Cada valor muestra la información del color en un punto espacial en la imagen.

Para la visión y medida del color en alimentos se recurre a la utilización de coordenadas colorimétricas, entre las que se destacan las pertenecientes a los espacios de color RGB, CIE-XYZ y CIE- $L^*a^*b^*$; estos modelos tienen la particularidad de permitir su interrelación mediante la utilización de matrices de transformación.

El modelo de coordenadas RGB está basado en un modelo de triestímulos y síntesis aditiva. Es un modelo de color dependiente del dispositivo. Las imágenes están formadas por tres planos de imágenes independientes, cada uno correspondiente con un color primario. Cuando son introducidas en un monitor, las tres imágenes se combinan en la pantalla para producir una imagen de color compuesta (González, 1993 citado por Ortiz, 2002). El empleo de coordenadas RGB es útil para el procesamiento de imágenes cuando éstas vienen expresadas en términos de tres planos de colores. La mayoría de las cámaras en color que se usan para adquirir imágenes digitales utilizan el formato RGB, lo que hace de gran utilidad este formato. El modelo de coordenadas XYZ se obtiene por transformación lineal del sistema RGB y según la CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) es considerada un modelo de transición para convertir un modelo de coordenadas RGB a uno CIE- $L^*a^*b^*$ (Ortiz, 2002). En 1976 fue aprobado el modelo CIE- $L^*a^*b^*$ por parte de la CIE, se utiliza para lograr una percepción uniforme del color. Este modelo de coordenadas permite que los colores se representen

en el espacio a unas distancias proporcionales a las diferencias visuales entre ellos y es el más recomendado para las mediciones industriales del color de los objetos.

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* en una muestra de alimento, designan: L^* la luminosidad (0 = negro y 100 = blanco), siendo a^* y b^* las coordenadas cromáticas rectangulares (+a = rojo y -a = verde / +b = amarillo y -b = azul) (Padrón, 2010). Por otra parte, el croma o cromaticidad (C^*) indica cuán puro, intenso o vivo es un color en una escala del 1 al 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Padrón *et al.*, 2012).

Los cambios de color han sido considerados indicadores prácticos de la maduración. Según Pantastico (1979), los cambios de color pueden deberse a procesos ya sea de degradación o de síntesis o de ambos tipos. En las naranjas, el cambio es consecuencia de la descomposición de la clorofila y de la formación de pigmentos carotenoides. En los bananos, el amarillamiento ocurre debido a la desaparición de la clorofila, con escasa o ninguna formación neta de carotenoides. Durante la maduración ocurren cambios en el color, que van desde el verde al amarillo, lo que se debe al anabolismo de los pigmentos en los organelos celulares, tales como: las flavonas, las antocianinas y los carotenoides que proporcionan al fruto los colores secundarios sobre una base de color primario, generalmente verde o amarillo, determinada por la presencia de clorofila o de xantofila (Laguado, *et al.*, 1999).

Diversos trabajos se han realizado para describir o reconocer el color en frutos utilizando procesamiento digital de imágenes (Arivazhagan, *et al.*, 2010; Savakar, 2012). Durante la maduración Mendoza y Aguilera (2004) identificaron estados de maduración de bananos basados en el color y desarrollo de manchas oscuras, empleando un sistema de luces, una cámara digital y el procesamiento de las imágenes mediante un *software*. Similar sistema ha sido utilizado para obtener y procesar imágenes de frutos de semeruco (Padrón, 2010) y de tomate (Padrón, *et al.*, 2012) durante la maduración.

El objetivo de la investigación fue describir la evolución del color de la piel de la guayaba (*Psidium-guajava* cv. Guayaba pera) relacionada con el avance de la maduración y su comportamiento en diferentes condiciones de manipulación y almacenamiento posrecolección, como aporte al conocimiento de la fisiología

de la madurez de esta fruta, cultivada en el norte del departamento del Huila, en Colombia, de manera que permita definir en término de días, el inicio y la duración de los periodos de madurez de consumo, además de brindar la posibilidad de proponer e implementar operaciones de manejo adecuadas para aumentar la vida útil posrecolección, y que permita presentar el producto en mercados especializados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

Para la realización de la investigación se escogió un predio ubicado en la vereda Los Medios, parcelación Las Mercedes, del municipio de Rivera, Huila, Colombia, ubicado a 20 km de Neiva, con temperatura media de 25 °C y 700 msnm. Se realizaron muestreos completamente al azar para reunir la cantidad de muestra requerida para las pruebas de laboratorio. Los análisis se realizaron en los laboratorios de: Control de Calidad, Procesos Agroindustriales y Gas, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia.

2.2. Recolección y muestreo

Se recolectaron guayabas en tres (3) estados de desarrollo fisiológico que correspondieron a tres tratamientos evaluados: (T1) *Recolección Tradicional* frutos cosechados 120 días después de la floración; momento en que tradicionalmente el fruto se recolecta para ser comercializado en mercados locales, (T2) *Recolección temprana 112 días*, frutos cosechados 112 días después de la floración, (T3) *Recolección temprana 110 días*, frutos cosechados 110 días después de la floración. En todos los casos se recolectaron frutos sanos de tamaño homogéneo, excluyendo aquellos que presentaban daño mecánico o atacado por insectos. Para cada uno de los tratamientos se conformaron: tres muestras para almacenar en condiciones ambientales del Laboratorio de Control de Calidad a una temperatura media de 26 °C y humedad relativa del 58%; y tres muestras para almacenamiento refrigerado a una temperatura media de 7,5 °C y 80% de humedad relativa, en una nevera comercial de 17 pies.

Todos los días, durante la prueba de almacenamiento y hasta que el fruto mostró condiciones de sobremadurez, se le realizaron las siguientes determinaciones:

pH: Se empleó el método AOAC 981.12. Se determinó con el equipo WTW Inst., modelo 330 Set., se realizó a tres frutas por cada condición de almacenamiento, dos repeticiones por fruta durante el tiempo de almacenamiento.

Grados brix: Se empleó el método AOAC 932.12. Método del refractómetro. Se realizó a tres frutas por cada condición de almacenamiento, tres repeticiones por fruta.

Acidez titulable: Método AOAC 942.15. Se realizó a tres frutas por cada condición de almacenamiento, dos repeticiones por fruta.

Tasa de respiración: Para la determinación de la tasa de respiración se utilizó el método estático propuesto por Salveit y Sharaf (1992), el cual consiste en colocar las muestras en un recipiente impermeable y cerrado (recipiente de vidrio) con una concentración de aire inicial conocida, midiéndose directamente los cambios en las concentraciones internas de O₂ y CO₂ resultantes de la respiración después de un determinado periodo de tiempo. Las concentraciones en porcentaje de O₂ y CO₂ se midieron mediante la utilización de un cromatógrafo de gases GC-2014 Shimadzu.

Color: Para construir la secuencia de evolución del color, se obtuvieron imágenes digitales de cada muestra analizada con una cámara fotográfica digital con sensor CCD, marca Kodak EasyShare, modelo C180, (10,2 megapíxeles efectivos, zoom óptico 3X), definiendo como ángulo de observación 0° y distancia de captura 25 cm, la iluminación se realizó con lámparas fluorescentes ubicadas a un metro de distancia, las capturas se realizaron en modo de fotografía automático y flash apagado, las imágenes digitales se obtuvieron en formato JPEG de 3280 x 2460 píxeles; se descargaron en un computador y los píxeles se promediaron mediante el software *Microsoft Paint*, que a su vez indicó las coordenadas R, G y B del espacio de color RGB, en la paleta de colores, el color promedio es resultante de (1), tal como se presenta sin eliminar el brillo ni manchas que presentaron las imágenes. La metodología utilizada fue propuesta por Berns (2000) y validada por Valencia (2007) y Padrón (2009).



La transformación del modelo RGB al espacio CIE-L*a*b*, atendiendo lo indicado por Ortiz (2002) y acorde con la *Commission Internationale de L'Eclairage*, que es bien conocida (CIE, 2009), se llevó a cabo utilizando el calculador de color en línea Easy RGB (2010). La cromaticidad (C*) se calculó mediante la siguiente fórmula: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evolución del color en recolección tradicional (T1)

En la tabla 1 se presenta la evolución de las coordenadas CIE-L* a* b* en guayaba pera, recolección tradicional 120 días después de la floración (T1) almacenada en condiciones ambientales, temperatura 26 °C y humedad relativa del 58%; como puede observarse, la coordenada L* (luminancia) presentó una diferencia $\Delta L^* = 30,42$ para los cinco (5) días de almacenamiento, indicando una tendencia en la piel del fruto hacia colores claros a medida que avanzó la maduración. La coordenada a* (variación de color rojo-verde) evolucionó de valores negativos a cercanos a cero, lo que indica disminución paulatina del color verde por madurez del fruto, mientras que la coordenada b* (variación del color amarillo-azul) presentó incremento hacia el amarillo y en relación a la cromaticidad (C*) los valores indicaron una tendencia a mantener el color de la piel de los frutos con colores vivos. La evolución del color de la piel presentó la misma tendencia reportada por González (2010) para guayaba de las variedades Regional Roja, Regional Blanca y Palmira ICA-1.

Tabla 1. Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en guayaba pera recolección tradicional (T1) almacenada en condiciones ambientales (T = 26 °C y HR = 58%).

Días/ Coordenadas	1	2	3	4	5
L*	57,66	69,67	78,5	74,38	88,08
a*	-36,51	-21,05	-19,25	-11,02	-7,76
b*	37,22	37,44	43,54	48,56	52,19
C*	52,14	42,95	47,61	49,79	52,76

La figura 1 presenta la carta de colores elaborada con las imágenes digitales obtenidas en el escenario creado en el laboratorio (1) con la cámara digital y con las imágenes digitales obtenidas en espacio de color RGB mediante el *software Microsoft Paint*, transformadas al espacio de color CIE-L*a*b* (2); es importante resaltar que en ambos casos se reportan colores digitales por lo que en documentos impresos las cartas de colores pueden presentar variaciones, debido a que en sistemas de impresión el espacio de color CMYK (*cyan, magenta, yellow y black*) es el usado y la codificación RGB o CIE-L*a*b* a CMYK implica una transformación de color (Martínez-Verdú, 2001).

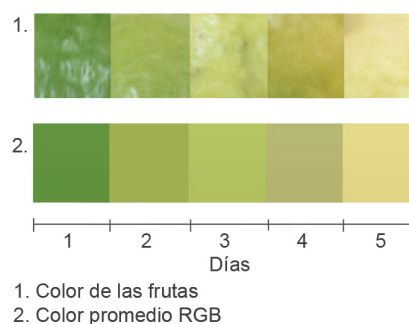


Figura 1. Carta de colores en guayaba pera recolección tradicional (T1) almacenada a condiciones ambientales (T = 26 °C y HR = 58%)

En la tabla 2 se presenta la evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en la fruta recolectada a los 120 días después de la floración (T1) almacenada en refrigeración a temperatura de 7,5 °C y humedad relativa del 85%; en este caso, como puede observarse, la coordenada L* presentó un incremento total $\Delta L^* = 14,57$ para los 8 días de almacenamiento, menor que el presentado en almacenamiento en condiciones del ambiente del laboratorio, en relación con la coordenada a* hubo una disminución lenta y progresiva de los valores, disminución del color verde, pero se mantuvieron negativos (en verde). Para b*, inicialmente se presentó un ligero incremento de los valores positivos los primeros tres días, y a partir del cuarto día fueron mayores, aumento del amarillo; y para la cromaticidad, a diferencia del almacenamiento a T = 26 °C y HR = 58%, la tendencia fue, al transcurrir los días, de un incremento en la pureza del color. Este comportamiento muestra el efecto que tiene la reducción de la temperatura en el retardo de la

actividad fisiológica del fruto, lo que se ve reflejado en su apariencia externa, con una mayor conservación del color verde en refrigeración y un cambio mucho más acelerado en almacenamiento al ambiente.

Tabla 2. Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en guayaba pera recolección tradicional (*T1*) almacenada en refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%)

Días/ Coordenada	1	2	3	4	5
L*	57,66	57,86	64,28	88,25	59,31
a*	-36,51	-35,87	-33,51	-28,69	-19,82
b*	37,22	37,07	38,51	60,22	60,23
C*	52,14	51,58	51,05	66,71	63,41

La figura 2 presenta la carta de colores para guayaba elaborada con las imágenes digitales obtenidas en el escenario del laboratorio (1) con la cámara digital y con las imágenes digitales ya transformadas al espacio de color CIE-L*a*b* (2) en *T1* almacenada en condiciones de refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%). Como puede observarse, al final del almacenamiento en refrigeración no se alcanzó el color amarillo típico de la fruta almacenada bajo condiciones ambientales, comprobando que las condiciones del almacenamiento refrigerado no permitieron la evolución del color tradicional.

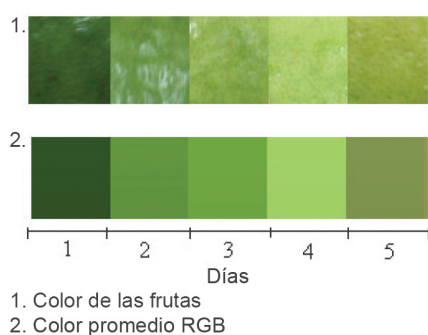


Figura 2. Carta de colores en guayaba pera recolección tradicional (*T1*) almacenada en refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%)

3.2 Evolución del color en recolección temprana 112 días (*T2*)

La evolución de las coordenadas colorimétricas para la guayaba pera recolectada anticipadamente (112 días después de la floración -*T2*) y almacenada en

condiciones del ambiente de laboratorio, temperatura 26 °C y humedad relativa del 58%, están presentadas en la tabla 3; puede observarse un comportamiento similar al *T1* en las mismas condiciones de almacenamiento, el valor de la coordenada a* se incrementó al transcurrir el tiempo, indicando que a medida que avanza la maduración se aleja del verde oscuro, mientras que la coordenada b* presentó incremento hacia el amarillo y en su conjunto la cromaticidad (C*) también evolucionó en aumento indicando una tendencia del color de la piel del fruto hacia colores vivos.

Tabla 3. Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en guayaba pera recolección temprana (*T2*) almacenada en condiciones ambientales (T = 26 °C y HR = 58%)

Días/ Coordenadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L*	39,29	59,31	49,83	67,77	83,8	84,03	89,11	83,09	65,74
a*	-46,51	-20,24	-14,99	-14,59	-14,39	-7,27	-4,04	-2,52	-1,37
b*	41,7	41,96	42,66	44,88	62,48	65,63	68,28	68,86	69,16
C*	62,47	46,59	45,22	47,19	64,12	66,03	68,40	68,91	69,17

La carta de colores (figura 3) corrobora la tendencia descrita en la tabla 3, sobre la evolución del color de la piel.

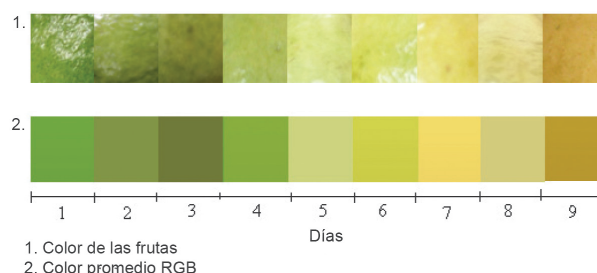
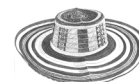


Figura 3. Carta de colores en guayaba pera recolección temprana 112 días (*T2*) almacenada en condiciones ambientales (T = 26 °C y HR = 58%)

La evolución del color de la piel para el tratamiento *T2* almacenado en refrigeración, temperatura 7,5 °C y humedad relativa del 85%, se presenta en la tabla 4 y en la figura 4, aquí también fue posible observar un incremento en la coordenada L* al transcurrir el tiempo, lo que produjo una mayor diferencia ($\Delta L^* = 41,89$), indicando el avance del color de la piel del fruto hacia colores claros. La coordenada a* refleja una disminución del color verde al transcurrir el tiempo, mientras



que la coordenada b^* se asocia con un aumento gradual del color amarillo. Al igual que en el **T1** almacenado en refrigeración, al final del almacenamiento el color de la piel del fruto no alcanzó la coloración amarillo intenso que se obtuvo almacenando la muestra en condiciones ambientales.

Tabla 4. Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en guayaba pera recolección temprana (**T2**) almacenada en refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%)

Días/ Coordenadas	1	2	3	4	5	6
L*	39,29	42,17	49,11	65,62	72,66	75,89
a*	-46,51	-44,22	-40,85	-39,99	-27,6	-25,28
b*	41,7	44,4	45,32	46,46	46,72	47,61
C*	62,47	62,66	61,01	61,30	54,26	53,91
Días/ Coordenadas	7	8	9	10	11	12
L*	77,46	72,7	70,68	75,25	70,25	81,18
a*	-24,13	-23,35	-22,9	-22,58	-20,54	-15,55
b*	51,82	54,92	56,39	66,71	69,01	72,9
C*	57,16	59,68	60,86	70,43	72,00	74,54

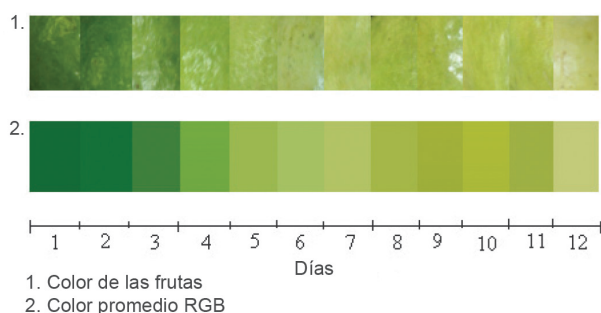


Figura 4. Carta de colores en guayaba pera recolección temprana 112 días (**T2**) Almacenada en refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%)

3.3 Evolución del color en recolección temprana 110 días (**T3**)

La evolución de las coordenadas colorimétricas que definen el color de la piel en guayaba pera recolectada 110 días después de la floración (**T3**) almacenado en condiciones del ambiente de laboratorio, temperatura 26 °C y humedad relativa del 58%, está presentada en la tabla 5; en este caso, la coordenada L^*

mostró un incremento, con una diferencia total $\Delta L^* = 15,9$ para los 8 días de almacenamiento, indicando la tendencia en la piel del fruto hacia los colores claros a medida que avanzó la maduración. La coordenada a^* evolucionó con incremento que indicó disminución del color verde, mientras que la coordenada b^* presentó un aumento gradual de los valores positivos indicando el típico avance del color de la piel hacia el amarillo.

Tabla 5. Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en guayaba pera cosechada 110 días después de la floración (**T3**) almacenada en condiciones ambiente (T = 26 °C y HR = 58%)

Días/ Coordenadas	1	2	3	4	5	6	7	8
L*	41,38	52,35	67	70,36	88,59	81,51	73,26	57,28
a*	-43,87	-33,7	-27,88	-11,1	-11,05	-10,74	-10,34	-9,19
b*	34,35	48,7	51,42	55,89	57,09	67,84	70,14	70,33
C*	55,72	59,22	58,49	56,98	58,15	68,68	70,90	70,93

De la misma forma, la evolución del color de la piel puede observarse en las cartas de colores digitales elaboradas, que se presentan en la figura 5, donde es posible apreciar que la piel del fruto evoluciona desde un color verde intenso hacia un color amarillo, siendo más notorio el cambio a partir del quinto día de almacenamiento.

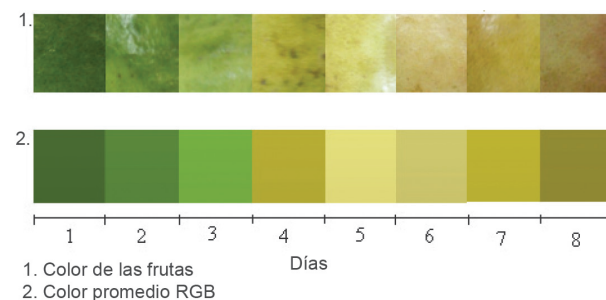


Figura 5. Carta de colores en guayaba pera recolección temprana 110 días (**T3**) almacenada a condiciones ambientales (T = 26 °C y HR = 58%)

La evolución de las coordenadas colorimétricas que definen el color de la piel en guayaba pera recolectada 110 días después de la floración (**T3**), almacenado en condiciones de refrigeración, temperatura 7,5 °C y humedad relativa del 85%, se

presenta en la tabla 6; en este caso, la coordenada L* presentó un aumento gradual total $\Delta L^* = 32,41$ para los 11 días de almacenamiento, indicando una tendencia del color de la piel del fruto hacia los colores claros a medida que avanza la maduración. Las coordenadas a* y b* evolucionaron con incrementos que representan disminución del color verde y aumento del amarillo, respectivamente; al final del almacenamiento no se alcanzó el amarillo típico del fruto maduro.

Así mismo, la evolución del color de la piel puede observarse en las cartas de colores digitales presentadas en la figura 6, donde es posible apreciar que la piel del fruto evolucionó desde un color verde intenso hacia uno más claro con tendencia al amarillo, siendo más lento el cambio de color que en el fruto almacenado en condiciones ambientales.

Tabla 6. Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* en guayaba pera cosechada 110 días después de la floración (T3) almacenada en refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%).

Días/ Coordenadas	1	2	3	4	5	6
L*	41,38	50,89	53,75	60,44	65,92	68,6
a*	-43,87	-40,76	-40,53	-33,07	-29,54	-27,95
b*	34,35	35,58	36,55	46,34	46,91	54,69
C*	55,72	54,10	54,58	56,93	55,44	61,42
Días/ Coordenadas	7	8	9	10	11	
L*	65,83	78,07	72,46	70,04	73,79	
a*	-27,88	-22,75	-22,11	-21,02	-20,94	
b*	57,69	61,77	62,05	66,56	69,24	
C*	64,07	65,83	65,87	69,80	72,34	

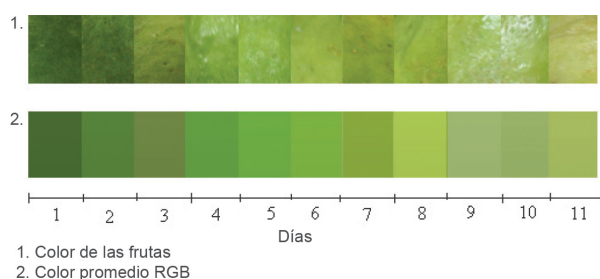


Figura 6. Carta de colores en guayaba pera recolección temprana 110 días (T3) almacenada en refrigeración (T = 7,5 °C y HR = 85%)

3.4. Comparación de los tratamientos almacenados en los dos ambientes de almacenamiento

La evolución del color de la piel para guayaba pera en los tres tratamientos evaluados en función de la evolución de las coordenadas colorimétricas a* y b* del espacio de color CIE-L*a*b* está presentada en la figura 7, en la que es posible observar que en los tres casos el color evoluciona desde el verde intenso hacia el color amarillo típico del fruto maduro, confirmado por la evolución de la coordenada a* desde valores negativos menores (mayor color verde) hacia valores cercanos a cero (menor color verde) y la coordenada b* avanzando de menores valores positivos hacia valores positivos mayores, que representan mayor color amarillo. Como puede verse, la evolución del color de la piel no se vio afectado por la recolección temprana, pues en los dos casos evaluados (T2 - 112 días y T3 - 110 días) los frutos evolucionaron en el mismo sentido que el recolectado de manera tradicional.

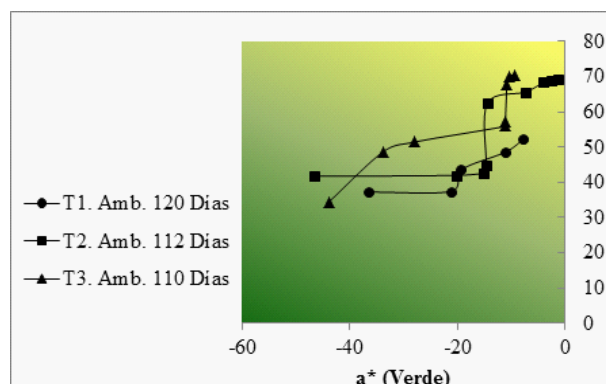


Figura 7. Evolución del color de la piel en guayaba pera para los tres tratamientos evaluados (T1, T2 y T3), almacenada en condiciones ambientales (T = 26 °C y HR = 58%)

La figura 8 presenta la evolución del color de la piel para guayaba pera en los tres tratamientos evaluados (T1, T2 y T3), almacenada en ambiente refrigerado (T = 7,5 °C y HR = 85%). Es posible observar la evolución de la coordenada a* desde valores negativos menores hasta valores próximos a cero. La variación de la coordenada a* en el ambiente refrigerado indica una menor velocidad en su evolución a medida que transcurre el tiempo, pérdida del color

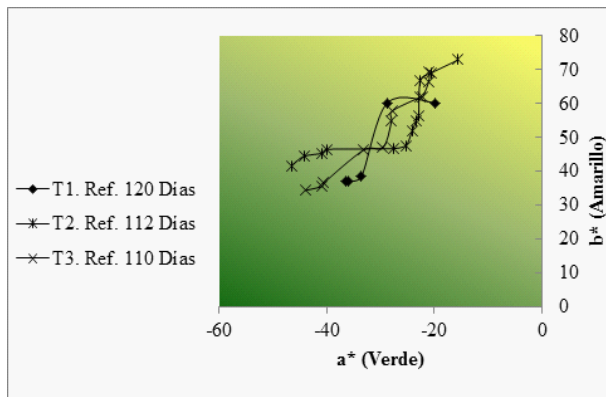


Figura 8. Evolución del color de la piel en guayaba pera para los tres tratamientos evaluados (**T1**, **T2** y **T3**), almacenada en refrigeración ($T = 7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR} = 85\%$)

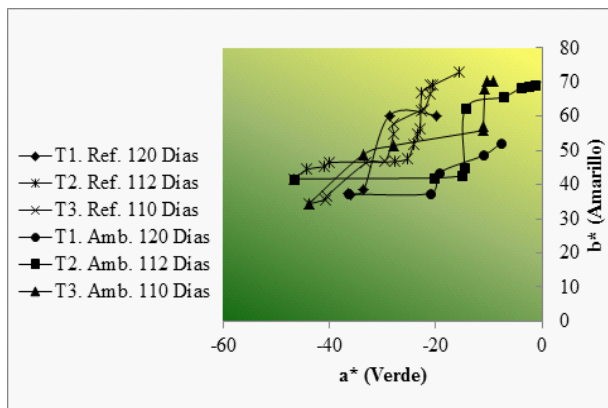


Figura 9. Evolución del color de la piel en guayaba pera para los tres tratamientos evaluados (**T1**, **T2** y **T3**), y los dos ambientes de almacenamiento experimentados

verde, y la coordenada b^* avanza hacia valores positivos altos que representan un mayor incremento del color amarillo; en este caso también puede comprobarse que la recolección temprana no afecta la evolución del color, aunque disminuye la velocidad de la evolución del verde intenso hacia el amarillo de la fruta madura conservada en condiciones ambientales.

La figura 9 presenta la evolución del color de la piel para los tres tratamientos evaluados (**T1**, **T2** y **T3**) y para los dos ambientes de almacenamiento utilizados en la investigación; como se puede observar, no existen grandes diferencias en la evolución de los parámetros a^* y b^* a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento, lo que implica que la recolección temprana no afectó el cambio en el color de la piel, aunque se presentaron algunas diferencias en las coloraciones finales, que no

constituyen problema debido a que por costumbre los consumidores no atienden a estas diferencias.

3.5 Evolución de los sólidos solubles, acidez titulable, pH y tasa de respiración durante la etapa de poscosecha de la guayaba pera, correspondiente a los tratamientos T1, T2 y T3

Las figuras 10 y 11 muestran el comportamiento de la evolución de los sólidos solubles y de la acidez titulable de la guayaba pera durante la poscosecha. Se puede observar que los sólidos solubles se incrementan durante la etapa de almacenamiento en todos los tratamientos y la acidez titulable sufre una reducción paulatina y pequeña, siendo estos comportamientos muy similares en todos los ensayos. La evolución y los valores encontrados coinciden con la evolución de los mismos reportados para guayabas de variedad "Pedro Sato" (Azzolini, *et al.*, 2005).

En la figura 12 se presenta la evolución del pH para todos los tratamientos realizados en poscosecha para la guayaba pera, como se puede observar, este parámetro permanece muy estable durante la etapa de maduración, lo que se correlaciona con la poca variación que sufre la acidez titulable.

En la figura 13 se presenta la evolución de la tasa de respiración para los tratamientos T1, T2 y T3 bajo las dos condiciones de almacenamiento. Estas curvas muestran el comportamiento típico de los productos climáticos, observándose que el pico climático se presenta en forma más temprana en los frutos almacenados en condiciones ambientales. También se observa que los valores de la tasa de respiración son mayores en almacenamiento en condiciones ambientales, lo que se corresponde con el coeficiente Q_{10} (Chitarra, *et al.*, 2005), según Hardenburg, *et al.*, 1988. La relación que une la velocidad de respiración con la temperatura sigue de cerca la *Regla de Van`tHoff*, según la cual, la velocidad de la mayoría de las reacciones químicas y bioquímicas aumenta entre dos y tres veces por cada diez grados Celsius de aumento en la temperatura. En las cartas de color se puede observar que para los frutos almacenados en condiciones ambientales la coordenada b^* se incrementa en mayor medida a partir del tercer día, como indicado

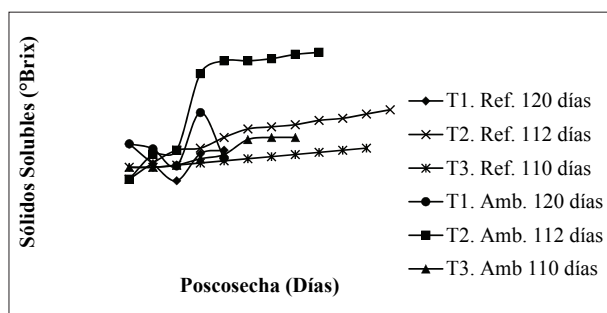


Figura 10. Evolución de los sólidos solubles de la guayaba pera durante la poscosecha en los tratamientos T1, T2, T3 en almacenamiento refrigerado (ref.) y en condiciones ambientales (amb.)

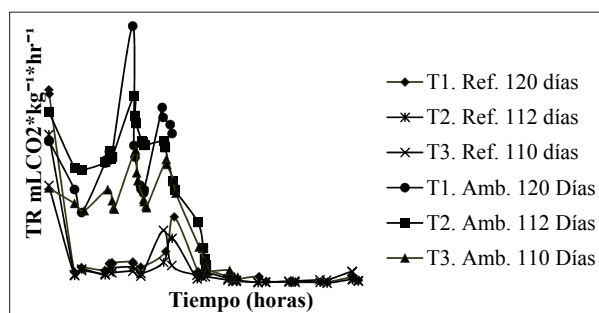


Figura 13. Evolución de la tasa de respiración en guayaba pera durante la poscosecha en los tratamientos T1, T2, T3 en almacenamiento refrigerado (ref.) y en condiciones ambientales (amb.)

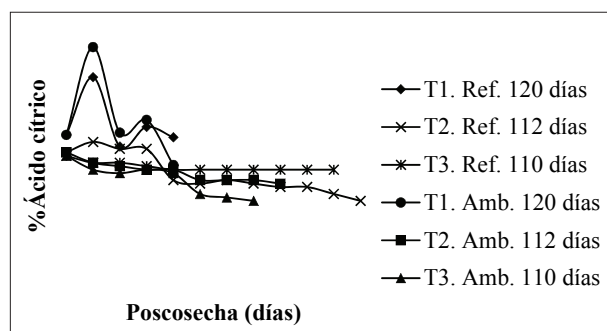


Figura 11. Evolución de la acidez titulable, expresada como ácido cítrico, de la guayaba pera durante la poscosecha en los tratamientos T1, T2, T3 en almacenamiento refrigerado (ref.) y en condiciones ambientales (amb.)

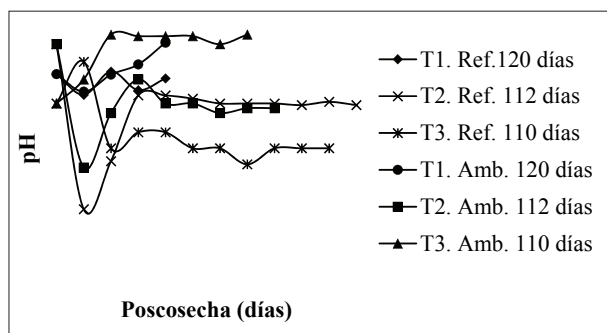


Figura 12. Evolución del pH en la guayaba pera durante la poscosecha en los tratamientos T1, T2, T3 en almacenamiento refrigerado (ref.) y en condiciones ambientales (amb.)

del avance de la madurez; para condiciones de refrigeración este avance hacia los colores amarillos es más lento y se conservan los colores verdes, con reducción mucho menor de la coordenada a^* en comparación con los frutos almacenados en condiciones ambientales. Este comportamiento se ve reflejado en las curvas de tasa de respiración presentadas.

CONCLUSIONES

El color de la piel de los frutos de guayaba presentó una evolución desde el verde intenso recién recolectado hacia colores verde claro amarillentos en todos los ensayos realizados, aunque en los tres tratamientos almacenados en ambiente refrigerado el fruto no alcanzó el amarillo brillante típico en su madurez de consumo, al término del almacenamiento.

El comportamiento de la evolución del color durante el almacenamiento se vio claramente reflejado en la variación de las coordenadas L^* , a^* y b^* del espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ derivadas de la transformación de las coordenadas RGB obtenidas mediante imágenes digitales de los frutos, lo que permitió la elaboración de cartas de color digitales sobre la evolución de la maduración en guayaba pera.

Las herramientas utilizadas permiten la elaboración de cartas de color de frutas, las que pueden servir como apoyo en las etapas de cosecha y poscosecha de frutas, al integrar esta evolución del color a las variables fisicoquímicas de las mismas.



REFERENCIAS

- Azzolini, M.; Jacomino, A.; Urbano, P.; Bron, I.; Kluge, R.; Aparecida, M. (2005). "Ripening of "Pedro Sato" guava: study on its climacteric or non-climacteric nature". *Brazilian journal of plant physiology*. Braz. J. Plant Physiol. Vol. 17 (3), julio-septiembre, pp 299-306.
- Berns, R. S. Billmeyer and Saltzman's. (2000). *Principles of Color Technology*, 3rd ed. New York: Wiley, pp. 243.
- CIE. 2009. Commission Internationale de L'Eclairage. Division 1: vision and colour. Minutes of the 2nd Meeting of the Luo Term. Budapest, Hungary. <http://files.cie.co.at/523.pdf>.
- Conde, J. C.; Báez, J. J. (1999). "Conversión de un conjunto de imágenes multiespectrales a un sistema RGB". *Revista Mejicana de Física*, vol 1, No. 46, pp. 45 a 51, Estado de Puebla, México.
- EasyRGB. Aplicación en Línea Conversor RGB A CIE-L*a*b*. Disponible en <http://www.easyrgb.com/index.php?X=CALC>. Sep. 24-30 de 2010.
- Gonzales C., A. "Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba colombiana (*PsidiumGuajava L.*)". Tesis presentada al Departamento de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Colombia para optar al grado de Magíster, 2010, pp. 84.
- Hardenburg, R.; Watada, A.; Wang, C. (1988). *Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristería y viveros*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, Costa Rica, pp. 17.
- Laguado, N.; Pérez, E.; Alvarado, C. y Marín M. (1999). "Características fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales" En: *Revista Facultad de agronomía Universidad de Zulia*. Maracaibo, Venezuela. pp. 382-387.
- Martínez-Verdú, F. M. (2001). "Diseño de un colorímetro triestímulo a partir de una cámara CCD-RGB". Memoria de Investigación para optar al grado de doctor en Física. Universitat Politècnica de Catalunya. 400 p.
- Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, Edited by Patricia Cunniff, Gaithersburg, Maryland, USA, 1998.
- Ortiz Z. F. Procesamiento morfológico de imágenes en color. Aplicación a la reconstrucción geodésica. Tesis presentada a la Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, para optar al grado de Doctor of Philosophy, 2002, pp.8-34.
- Padrón, C A. (2009). "Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*". *Agronomía Costarricense*, vol. 33(2) , pp. 283-301.
- Padrón, C A. "Procesamiento digital de imágenes de frutos de semeruco (*Malpighia glabra L.*) durante el crecimiento y maduración", En: *Revista Científica Electrónica de Agronomía*, Garca, vol. 17, No. 2, pp. 1-17, 2010.
- Padrón C. A.; Padrón G. M.; Montes A. I.; Oropeza R. A. (2012). "Determinación de color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum Mill.*) con sistema de visión computarizada durante su maduración". En *Agronomía Costarricense*, pp. 97-111.
- Pantastico, B. (1979). "Fisiología de la posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales". *Editorial CECSA*. México.
- Salveit, M. E. and Sharaf A. R. (1992). "Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality". *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 (5), pp. 793-798.
- Valencia E. (2007). "Procesado de imagen digital en color: adquisición, análisis colorimétrico y realce". Tesis presentada al Departamento de Óptica y Optometría, Universitat Politècnica de Catalunya, para optar al grado de Doctor of Philosophy, pp. 201.