



Nota Técnica

Determinación del color en epicarpios de mango (*Mangifera* sp.) y plátano (*Musa* AAB) en maduración mediante sistema de visión computarizada

Color determination in mango (*Mangifera* sp.) and plantain (*Musa* AAB) epicarps during ripening with computer vision system

Carlos Alberto **Padrón Pereira**^{1*}, Gisel Marié **Padrón León**²

¹Asociación RVCTA. Av. Andrés Bello N° 101-79, Sector La Pastora, Municipio Valencia, Estado Carabobo. C. P. 2001. Venezuela.

²Instituto Universitario de Tecnología de Valencia (IUTVAL), Programa Nacional de Formación en Informática (PNFI/Universidad Politécnica). Av. Paseo Cuatricentenario, vía Guataparo, Complejo Educativo La Manguita, Sector La Manguita, Valencia, Estado Carabobo, Venezuela.

* Autor para correspondencia: carlospadron1@gmail.com

Aceptado 21-Diciembre-2012

Resumen

En investigación agraria y alimentaria, el procesamiento y análisis de imágenes en color se ha convertido en un área importante de estudio. En este contexto, el sistema de visión computarizada ha demostrado ser un procedimiento útil. Los propósitos de este trabajo fueron determinar el color en epicarpios de frutos de mango y plátano durante la maduración con sistema de visión computarizada. El sistema lo constituyó un escenario iluminado, una cámara digital CCD y un computador (desktop), ambos calibrados. El procesamiento digital de las imágenes se llevó a cabo con el software Adobe® Photoshop®, con el cual se generaron imágenes promediadas en coordenadas rectangulares L^* , a^* , b^* . Las coordenadas polares (C^* , h°) fueron calculadas, y para todos los casos, los resultados fueron descritos. Los resultados permitieron describir adecuadamente las variaciones de color en epicarpios de

ambos frutos durante la maduración, mediante coordenadas colorimétricas de los espacios de color CIE-L*a*b* y CIE-L*C*h°, a través de imágenes digitales obtenidas con sistema de visión computarizada.

Palabras claves: análisis digital de imágenes, ángulo de tono, croma, luminosidad, maduración de frutos, medición del color.

Abstract

In food and agricultural research, the processing and analysis of colour images has become an important area of study. In this context, computer vision system proved to be a useful procedure. The purposes of this work were the color determination in mango and plantain epicarps during ripening with computer vision system. The system consisted in a lighted stage, a CCD digital camera and a computer (Desktop), both calibrated. The digital processing of images was performed with the Adobe® Photoshop® software, with which averaged images on L*, a*, b* rectangular coordinates were obtained. Polar coordinates (C*, h°) were calculated. In all cases, the results were described. The results allowed to describe the color variations of the fruits during ripening, using colorimetric coordinates from CIE-L*a*b* and CIE-L*C*h° color spaces, by means of digital images obtained with computer vision system.

Key words: chroma, digital images analysis, fruit ripening, hue, measurement of color, value.

INTRODUCCIÓN

El aspecto visual es uno de los factores principales utilizados por el consumidor al momento de comprar un producto; y el color es una parte importante del aspecto visual, que además se utiliza en muchos estándares de clasificación como criterio de calidad (Slaughter, 2009). El color en plátanos y bananos representa un importante criterio de selección poscosecha y es probablemente el único factor por el cual el consumidor evalúa la calidad (Dadzie y Orchard, 1997).

Durante la maduración de los frutos, el color del epicarpio puede ser medido mediante el uso de técnicas y/o métodos no destructivos y para tal fin se suelen emplear cartas de colores, colorímetros, espectrofotómetros y sistemas de visión computarizada (SVC). Estos últimos requieren el uso de un computador con monitor calibrado, una cámara digital calibrada para la

captación de las imágenes y la instalación de un escenario con condiciones de iluminación establecidas; asimismo, requiere la creación de programas mediante el desarrollo de algoritmos o un software de utilidad para el procesamiento de las imágenes. Esto es posible debido a la estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y su estado de madurez, lo que permite diferenciar con base en los cambios que experimenta el color (Padrón-Pereira *et al.*, 2012). Las técnicas del procesamiento de imágenes y análisis se categorizan principalmente en 3 niveles: bajo nivel de procesamiento, que refiere a la adquisición y el preprocesamiento de la imagen; nivel intermedio, que involucra la segmentación de la imagen, su representación y descripción; y alto nivel de procesamiento, que concierne al reconocimiento e interpretación (Kodagali y Balaji, 2012).

La medición precisa de los cambios heterogéneos durante la maduración de los frutos resulta difícil con los instrumentos de medición del color (colorímetros, entre otros) debido a la pequeña área de visualización de los mismos, por lo que un SVC permite la captura y descripción de las características de color de un fruto entero (Kang *et al.*, 2008). Especialmente en frutos con maduración bicolor; caso de algunos cultivares de mango.

Medlicott *et al.* (1992) midieron los cambios en el color de epicarpios de bananas y mangos subjetivamente usando puntuaciones de color y objetivamente utilizando un medidor de diferencia de color, encontrando correlaciones entre los 2 tipos de mediciones para los 2 frutos. Jha *et al.* (2007) utilizaron un colorímetro HunterLab para medir el color (coordenadas a, b y el producto a x b) y un refractómetro para el contenido de sólidos solubles totales, logrando modelar para la predicción de frutos maduros e inmaduros de mango. Ornelas-Paz *et al.* (2008) determinaron, en forma no destructiva, el color de la piel de mangos cvs. “Manila” y “Ataulfo” durante la maduración usando un colorímetro, determinaron el contenido de carotenoides en la pulpa por HPLC-MS y encontraron correlaciones entre el valor de la coordenada a* y del ángulo de tono (h°) y la concentración de carotenoides en la pulpa. Nagle *et al.* (2012) en la evaluación de la habilidad de una cámara CCD para analizar los cambios de color en la superficie de frutos de mango de una variedad tailandesa (‘Nam Dokmai’), partiendo de frutos inmaduros y durante 7 días, mostraron que las muestras podrían ser separadas en 2 grupos distintivos basados en los valores de la coordenada a* relacionados con la madurez (maduro e inmaduro). La evaluación objetiva del color mediante coordenadas R, G, B y C, M, Y, utilizando fotografías digitales y su relación matemática con la concentración de clorofilas y carotenos en epicarpio de 14 cultivares de mango (‘Taimour’, ‘Dabsha’, ‘Aromanis’, ‘Zebda’, ‘Fajri Kalan’, ‘Alfonso’,

‘Bulluck’s heart’, ‘Hindi-Sinnara’, ‘Compania’, ‘Langra’, ‘Mestikawi’, ‘Ewais’, ‘Montakhab El Kanater’, ‘Mabrouka’) ha sido estudiada por Hammad y Kassim (2009), quienes encontraron elevada correlación numérica entre los datos de los espacios de color y de los pigmentos.

En general, una imagen digital puede ser confiable para la clasificación en base al color y con potencial de reemplazar a otras técnicas costosas, proporcionando una alternativa viable para la medición y el control de calidad del color de los alimentos (Somatilake y Chalmers, 2007).

Un software de utilidad para el procesamiento digital de las imágenes es Adobe® Photoshop® (Adobe Systems Incorporated, San José, CA, USA), que aunque es una aplicación profesional usada en diseño gráfico, ha sido ensayado en estudios de medición del color en alimentos por diversos autores (Papadakis *et al.* 2000; Yam y Papadakis, 2004; Padrón-Pereira, 2009; Afshari-Jouybar y Farahnaky, 2011; Vyawahare y Jayaraj-Rao, 2011).

Por lo expuesto, los objetivos de este trabajo fueron determinar el color mediante coordenadas colorimétricas de los espacios de color CIE-L*a*B y CIE-L*C*h° en epicarpios de mango (*Mangifera* sp.) y plátano (*Musa* AAB) durante la maduración, usando sistema de visión computarizada y con el software de utilidad Adobe® Photoshop®.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenario

Para el montaje del escenario se utilizó un portalámpara retráctil provisto de una lámpara fluorescente de vidrio prensado con reflector parabólico de aluminio, marca General Electric, diámetro 38 octavos de pulgada (PAR38), 120V, 60Hz, 20w, temperatura de color Tc = 6500 °K; que simula la luz del día (D₆₅). El reflector se hizo incidir sobre papel digital marca Xerox de 150 g/m², liso, de alta

blancura y mate, a distancia 15 cm. La cámara digital se ubicó sobre un soporte a distancia 24 cm. La geometría de las direcciones de iluminación/observación fue 45°/0°.

Cámara digital y calibración

Se utilizó una cámara digital marca Panasonic (LUMIX), modelo DMC-FS42, que posee sensor CCD de tamaño 1/2,5 pulgadas; 10,1 megapíxeles (efectivos) y enfoques en modo normal y macro. Mediante ensayos previos de calibración, las mejores condiciones de la cámara para su uso fueron: en modo de imagen normal, flash desactivado, enfoque en modo macro, valor de sensibilidad ISO 80 y valor de exposición + 2/3. El balance de blancos se realizó con papel bond blanco (Xerox, 150 g/m²) en el escenario iluminado a distancia de 10 cm (Padrón-Pereira *et al.*, 2012).

Computadora y calibración del monitor

Se utilizó una computadora de escritorio, provista de procesador Intel® Core™ 2 Duo de 2,80 GHz, tarjeta madre ASRock® G31M-S y gráfica NVIDIA® GeForce® 7200 GS, monitor Lenovo®/IBM® CRT de 17 pulgadas con resolución de pantalla 800 x 600 píxeles, memoria RAM 4 GB y sistema operativo Microsoft® Windows Vista®, Home Basic. El monitor fue calibrado paso por paso utilizando el software Adobe® Gamma, punto blanco del hardware en 6500 °K, tomando en cuenta que la luz ambiental fuese inferior a la de intensidad del monitor y sin incidencia directa. Una imagen de 10 x 10 píxeles, resolución 72 píxeles/pulgada y color gris, se estableció como fondo de escritorio con posición en mosaico (Padrón-Pereira, 2010).

Software de diseño gráfico

El software usado fue Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems

Incorporated, USA), aplicación profesional para la edición y retoque de imágenes en diversos formatos (ASI, 2007) que presenta reguladores en el espacio de color CIE-L*a*b*.

Muestras y criterios de selección

Se recolectaron 3 frutos de mango (*Mangifera* sp.) de un árbol en su ambiente natural ubicado en el Municipio Miguel Peña (Carabobo, Venezuela); los frutos de similar tamaño, color totalmente verde y sin daño aparente. Fueron adquiridos 2 plátanos (*Musa* AAB) en un establecimiento comercial ubicado en el Municipio Valencia (Carabobo, Venezuela); las muestras sin rastro visual de coloración amarilla, con escasa formación de manchas negras (“pecas”) y sin rastros de daños. Todas las muestras, con desarrollo fisiológico constituido, durante la experiencia se mantuvieron a temperatura 28 °C ± 1 °C.

Posicionamiento de las muestras, captación de las imágenes y determinación del color

Para mango, se posicionaron 3 frutos en el escenario y se captaron por triplicado imágenes de las muestras (tamaño ≈ 5 megapíxeles (2560 x 1920 píxeles), resolución 180 píxeles/pulgada, formato JPEG) en ambas caras de los frutos durante 7 días (26 abril - 02 mayo 2010). Para plátano, se posicionó una muestra en el escenario y se captaron las imágenes por triplicado en una sola cara durante 15 días (07 mayo - 21 mayo 2010). Lo mismo se realizó con otra muestra (19 mayo - 02 junio 2010).

Las imágenes fueron descargadas en la computadora y procesadas en Photoshop® mediante el procedimiento empleado por Padrón-Pereira (2009), con una variante que consistió en la utilización de la ventana del submenú gama de colores para tomar muestras, variando la tolerancia a criterio, de los colores considerados pertenecientes a regiones de

discriminación; los cuales fueron excluidos dejando solo regiones de interés en zona paraxial. Esto facilitó la técnica de segmentación, la cual es necesaria en frutos con aparición de manchas o “pecas”; y por otra parte, minimiza errores en la aplicación del SVC, debido a la curvatura de los productos

medidos (Kang *et al.*, 2008). El promedio de las coordenadas L^* , a^* y b^* de la media de las 2 caras fue el promedio del fruto cada día, para cada fruto de mango. En plátano, se calculó el promedio de las coordenadas L^* , a^* , b^* para cada día en las 2 muestras. La Fig. 1 ilustra un ejemplo del procesamiento digital.

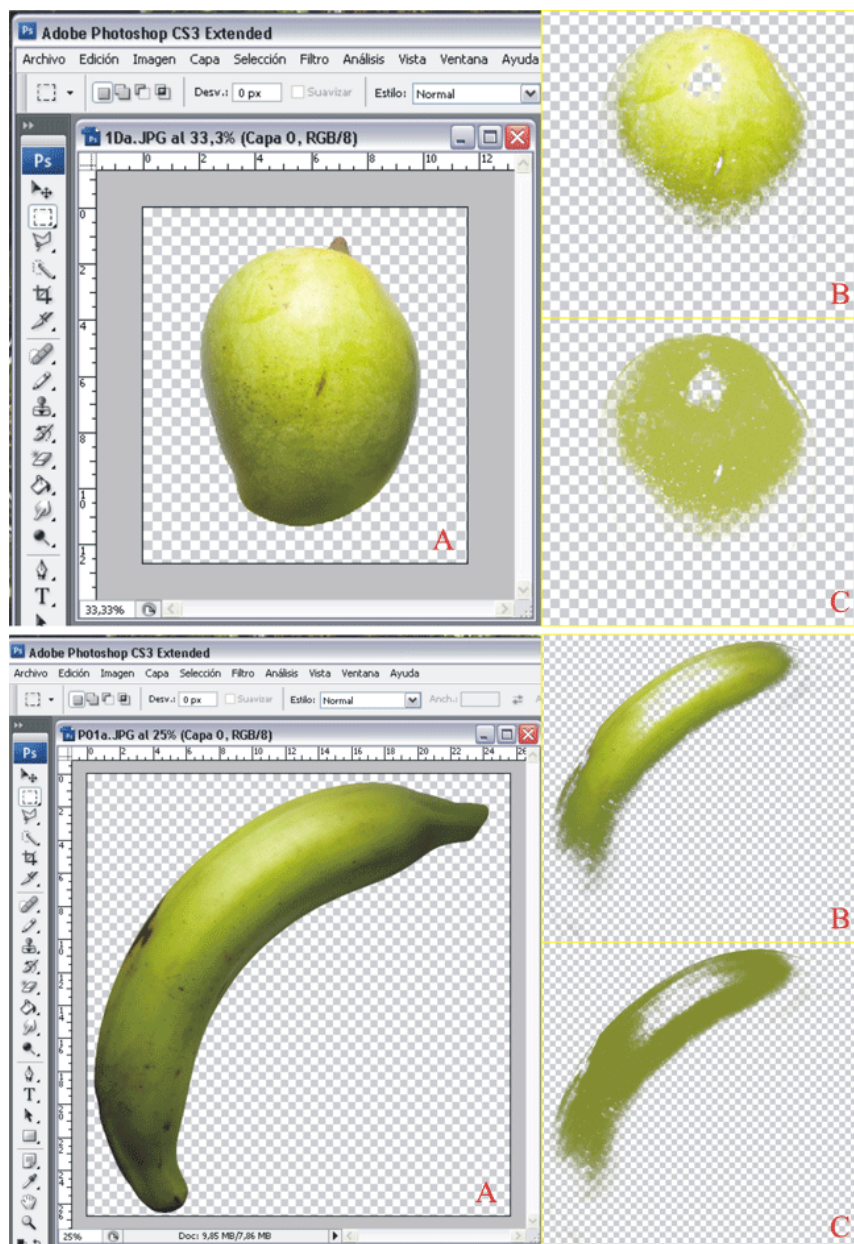


Figura 1.- Procesamiento digital de imágenes de mango y plátano en Photoshop®. A: preprocesamiento. B: segmentación (regiones de interés). C: promediado de píxeles.

Cálculo de parámetros y análisis estadísticos

Los resultados se presentan mediante las coordenadas rectangulares de color L*, a* y b*; que en una muestra de alimento, designan: L*, la luminosidad; a*, el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y b*, el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos). Las coordenadas polares de color croma (C*) y ángulo de tono (h°) se calcularon mediante las siguientes ecuaciones: tono (h°) = arctan(b*/a*) para a* y b* positivos; tono (h°) = 180 + arctan(b*/a*) para a* negativo y b* positivo; croma (C*) = (a*²+b*²)^{1/2}. Valores de ángulo de tono (h°) de 180° a 90° indican una tendencia de cambio del color verde que se combina paulatinamente con el amarillo hasta definirse este último, y de 90° a 0°, de manera similar pero de amarillo a rojo. El croma (C*), para determinado ángulo, indica cuan puro o intenso es el color en una escala de 0 a 100, donde este último valor expresa la mayor pureza.

Los valores de las coordenadas L*, a*, b*, C* y h° obtenidos para mango y plátano se representaron en gráficos de dispersión (XY), se aplicó regresión lineal y se compararon las pendientes y elevaciones mediante análisis de varianza (p < 0,05). El software utilizado fue GraphPad Prism®, versión 6.01 para Windows

(GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA). Para otras representaciones gráficas (doble eje Y, XYZ) el programa estadístico fue Statgraphics® Centurion XVI, versión 16.1.18, 32-bits (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA). Los rectángulos en los cuadros, se realizaron con Photoshop®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coordenadas cromáticas rectangulares en mango

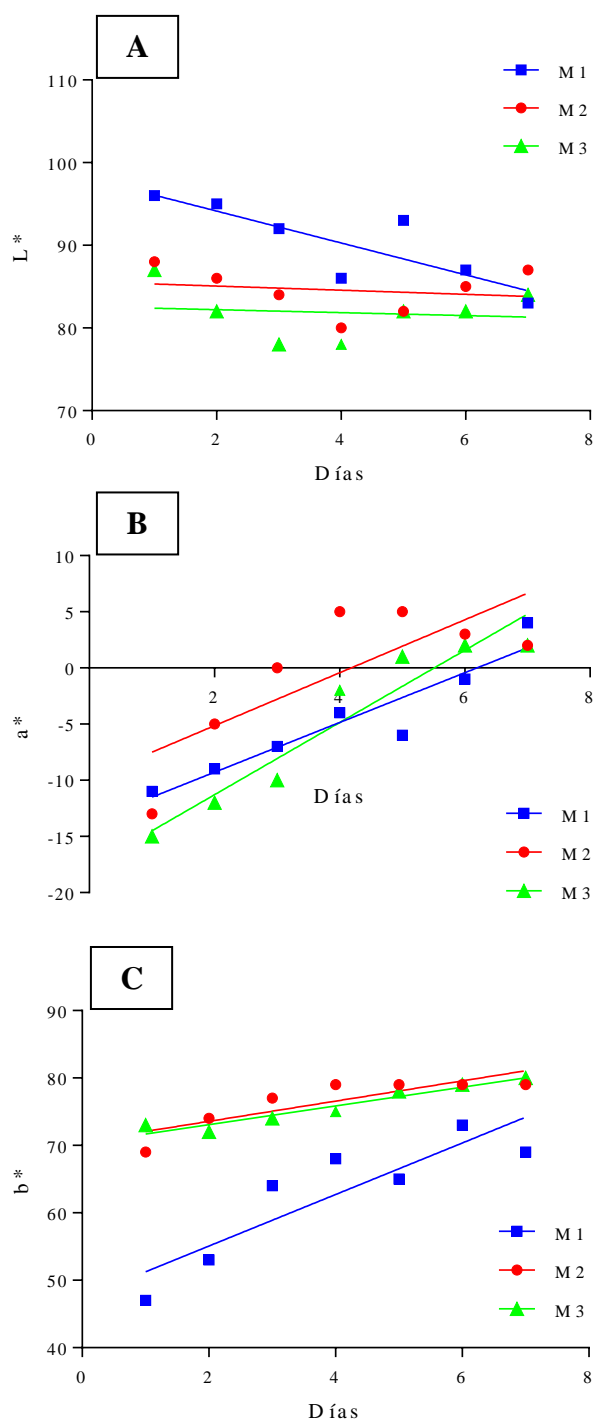
En el Cuadro 1 se muestran los valores de la variación de las coordenadas cromáticas rectangulares (L*, a*, b*) y el color promedio; en la Fig. 2 la comparación gráfica por coordenadas y en la Fig. 3 la variación del espacio de color CIE-L*a*b* de las 3 muestras de mango durante la maduración. La disminución de la luminosidad y el aumento de los valores de a* y b* fueron progresivos simultáneamente y en algunos casos fluctuantes (Cuadro 1 y Fig. 2). Incrementos en los valores de a*, hasta valores positivos, indican pérdida de la coloración verde, y en b*, el aumento en los valores positivos, indica incrementos del color amarillo; lo que se interpreta o relaciona como tendencia en la madurez fisiológica (Guerrero-López *et al.*, 2009) o la degradación de clorofilas y acumulación de carotenos (Nagle *et al.*, 2012).

Cuadro 1.- Coordenadas cromáticas rectangulares (L*, a* y b*) y color de 3 muestras de mango almacenados a temperatura de 28 °C ± 1 °C durante 7 días.

Días	Muestras											
	M1				M2				M3			
	L*	a*	b*	Color	L*	a*	b*	Color	L*	a*	b*	Color
1	96	-11	47		88	-13	69		87	-15	73	
2	95	-9	53		86	-5	74		82	-12	72	
3	92	-7	64		84	0	77		78	-10	74	
4	86	-4	68		80	5	79		78	-2	75	
5	93	-6	65		82	5	79		82	1	78	
6	87	-1	73		85	3	79		82	2	79	
7	83	4	69		87	2	79		84	2	80	

M: mango.

Las coordenadas son valores promedio (de la media de 2 caras) de píxeles en zona paraxial de 3 fotografías.



M: mango.

Figura 2.- Comparación de la variación de las coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) de 3 muestras de mango durante la maduración.

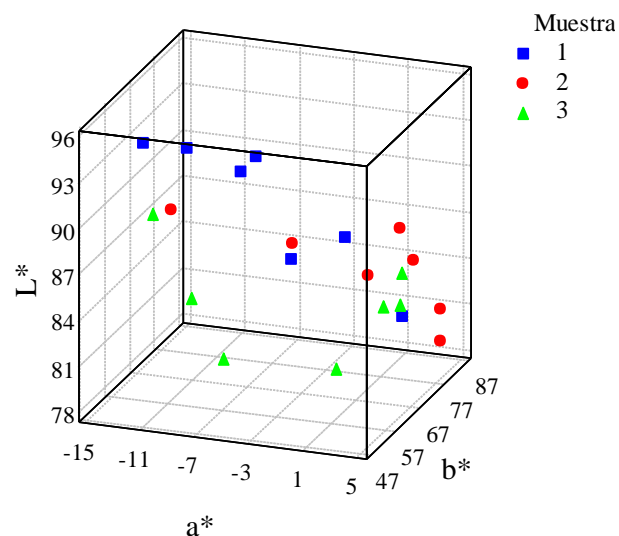


Figura 3.- Espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ de las 3 muestras de mango durante la maduración.

Robles-Sánchez *et al.* (2006), en la determinación del estado de madurez óptimo de mango “Ataulfo” destinado a procesamiento mínimo, midieron (entre otras determinaciones de parámetros fisiológicos y fisicoquímicos) el color del epicarpio usando un colorímetro Minolta® CR-300 estableciendo 6 estados de madurez, en los cuales los valores de luminosidad (L^*) correspondientes fueron los siguientes: estado 1-63,1; estado 2-66,0; estado 3-67,6; estado 4-71,7; estado 5-74,2 y estado 6-75,0. Un aumento progresivo, en contraposición a los valores del presente trabajo, cuya tendencia fue disminuir (Cuadro 1 y Fig. 2A). Otros valores de luminosidad medidos con un colorímetro Minolta® CR-400, por Ayala-Silva *et al.* (2005), en epicarpios de mangos maduros cv. ‘Sandersha’ y cv. ‘Tyler Premier’ fueron 65,8 y 60,3; respectivamente. En los casos citados los valores fueron menores a los determinados. Los valores de luminosidad pueden presentar fluctuaciones (como se aprecia en la Fig. 2A), disminuir con la maduración y variar entre cultivares (Zambrano *et al.*, 2000), o bien, desde la recolección hasta

el consumo puede ocurrir aumento o disminución de la luminosidad dependiendo del cultivar de mango (García *et al.*, 2007)

Algunos cultivares de mango presentan escaso desarrollo de color en el epicarpio. En 'Kent' y 'Keitt' predominantemente el color verde, mientras que en 'Haden' y 'Tommy Atkins' amarillo y amarillo-rojizo al madurar (Zamora-Cienfuegos *et al.*, 2004). La norma CODEX STAN 184-1993 referida a las variedades comerciales de mango, establece en relación con el proceso de maduración, que el color puede diferir según la variedad (FAO/WHO, 1993) y se ha señalado entre mismos cultivares recolectados en estado de madurez verde ('Haden' y 'Kent'), que durante la estación, los frutos cosechados mas temprano desarrollan mayor coloración externa y en los cosechados mas tarde, menor en la medida que progresa la estación (Malevski *et al.*, 1977).

Estadísticamente, para L^* , no hubo diferencias significativas entre las pendientes ($p = 0,0953$). La desviación de cero para M1 si fue significativa ($p = 0,0179$), las desviaciones de M2 y M3 no (p -valores 0,6808 y 0,7959, respectivamente) y las elevaciones si ($p < 0,05$) (Fig. 2A). Para a^* las diferencias entre las pendientes fueron no significativas ($p = 0,4488$), y para b^* si ($p = 0,01545$), probablemente por causa de M1, que difirió bastante de M2 y M3 (Figs. 2B y 2C, respectivamente). M3 presentó el mayor valor del coeficiente de determinación (R^2) para a^* y para b^* (0,9130 y 0,9229, respectivamente).

Coordenadas cromáticas polares en mango

En el Cuadro 2 se presentan los valores de la variación de las coordenadas cromáticas polares (C^* , h°); en la Fig. 4 la comparación gráfica por coordenadas y en la Fig. 5 la variación del espacio de color CIE- $L^*C^*h^\circ$ de las 3 muestras de mango durante la maduración. Siller-Cepeda *et al.* (2009) señalan que cultivares de mango pueden desarrollar tonalidades de color anaranjadas, amarillas y

rojas en el epicarpio y éstas pueden ser mas intensas y atractivas, dependiendo del cultivar. Los autores presentaron para 12 cultivares de mango ('Edward', "Diplomático", 'Ah-Ping', 'Van Dyke', 'Haden', "Manila Rosa", 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Osteen', 'Palmer', "Fabián", 'Keitt'), en madurez fisiológica, variaciones de los valores de h° de 88-127 para el día 0 de almacenamiento hasta 63-95 para el día 12. En este trabajo, las variaciones fueron de 100,67-103,17 para el día 1 hasta 86,68-88,57 para el día 7 (Cuadro 2); en todos los casos los intervalos indicados de este trabajo se encuentran dentro de los intervalos de los autores citados. Robles-Sánchez *et al.* (2006), para los 6 estados de madurez comentados, tabuló valores de ángulos de tono (h°) correspondientes que fueron los siguientes: estado 1-107,0°; estado 2-105,8°; estado 3-100,3°; estado 4-97,5°; estado 5-88,3° y estado 6-86,6°. Los cambios en color apreciados fueron más evidentes desde el estado 1 hasta el estado 4, para posteriormente mantenerse sin cambios significativos, y a partir del estado 4 los frutos parecieron alcanzar su estado óptimo de madurez para luego comenzar la fase de senescencia. Comparando se observa que la tendencia en los valores obtenidos en este trabajo durante la maduración, fue similar a la de las mediciones de los autores (Fig. 4B), como también con valores coincidentes; y pudiera considerarse que el estado óptimo de madurez, en función del color, de la muestras evaluadas, aconteció el día 6 para M1, 3 para M2 y 4 para M3 (Cuadro 2).

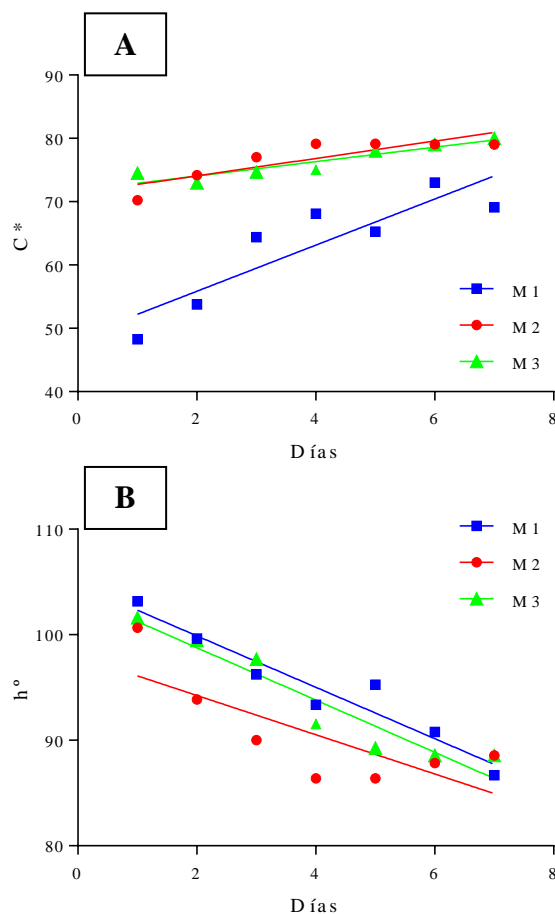
El intervalo de ángulos de tono (h°) para el día 1 de las muestras de mango, corresponde en el espacio de color CIE- $L^*C^*h^\circ$, a colores con presencia de verde combinado con amarillo y la disminución de los valores al transcurrir el tiempo denota prevalencia del amarillo hasta la total carencia de verde que queda definida a 90°; y a partir de aquí, ángulos de tono (h°) menores a 90° como en el caso del intervalo a los 7 días, corresponden a variaciones en la disminución del amarillo en combinación con aumento progresivo del color rojo. En frutos de

Cuadro 2.- Coordenadas cromáticas polares de 3 muestras de mango almacenados a temperatura de 28 °C ± 1 °C durante 7 días.

Días	Muestras					
	M1		M2		M3	
	C*	h°	C*	h°	C*	h°
1	48,27	103,17	70,21	100,67	74,53	101,61
2	53,76	99,64	74,17	93,87	72,99	99,46
3	64,38	96,24	77,00	90,00	74,67	97,70
4	68,12	93,37	79,16	86,38	75,03	91,53
5	65,28	95,27	79,16	86,38	78,01	89,27
6	73,01	90,78	79,06	87,83	79,03	88,55
7	69,12	86,68	79,03	88,55	80,02	88,57

M: mango. C*: cromas. h°: ángulo de tono.

Las coordenadas son valores promedio (de la media de 2 caras) de píxeles en zona paraxial de 3 fotografías.



M: mango.

Figura 4.- Comparación de la variación de las coordenadas polares (C*, h°) de 3 muestras de mango durante la maduración.

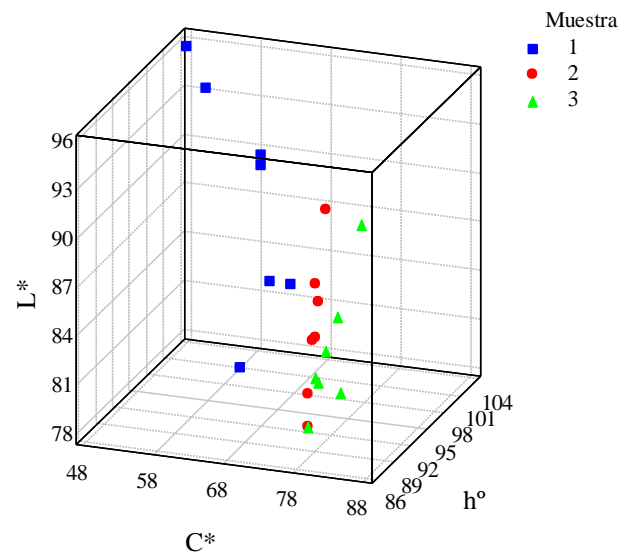


Figura 5.- Espacio de color CIE-L*C*h° de las 3 muestras de mango durante la maduración.

cultivares de mango con cambios de coloración en gradación verde-amarillo-anaranjado-rojo-púrpura durante la maduración, el ángulo de tono (h°) describiría adecuadamente el cambio de coloración.

En relación al cromas (C*), Siller-Cepeda *et al.* (2009) presentaron variaciones de los valores de C* de 18-43 para el día 0 de almacenamiento hasta 34-53 para el día 12. En

este trabajo, las variaciones fueron de 48,27-74,53 para el día 1 hasta 69,12-80,02 para el día 7; en todos los casos los intervalos indicados de este trabajo se encuentran fuera de los intervalos de los autores citados (valores mayores) (Cuadro 2); pero la tendencia fue similar (en aumento) (Fig. 4A). El croma (C*), como parámetro que mide la pureza, intensidad o saturación de un color en un escala de 0 a 100, donde 100 expresa la mayor pureza, estaría indicando que mientras menos puro o saturado es un color, mas descolorido y grisáceo es (Padrón-Pereira *et al.*, 2012).

Jha (2010) señala que los parámetros de calidad interna del mango se correlacionan con los valores de color externos y se pueden predecir satisfactoriamente. Por otra parte, a criterio de Campbell (1992 cp Siller-Cepeda *et al.*, 2009), el color externo de los frutos de mango no debería considerarse como factor de calidad, ya que se pueden presentar variedades de mango que no desarrollan un color atractivo en el epicarpio, pero sí un excelente sabor.

Hay gran variabilidad entre los cultivares de mango con respecto al color, la forma y el tamaño de los frutos (Crane *et al.*, 2009). La variación en aspecto depende de los cultivares y el sombreado de los frutos ejerce

influencia (a mayor sombreado menor color), como también el exceso de abonado nitrogenado induce un color rojo mas intenso en algunos cultivares. Para algunos cultivares se ha sugerido la recolección cuando se detecte el primer cambio en el color de fondo (Galán-Saúco, 2009).

Estadísticamente, para C*, las diferencias entre las pendientes fueron significativas ($p = 0,01026$), probablemente por causa de M1, que difirió bastante de M2 y M3 (Fig. 4A). Para h° no hubo diferencia estadística ($p = 0,5972$) entre las pendientes pero si ($p < 0,05$) en las elevaciones (Fig. 4B). M3 presentó el mayor valor del coeficiente de determinación para C* ($R^2 = 0,8532$), y M1 para h° ($R^2 = 0,9240$) seguido de M3 ($R^2 = 0,9102$).

Coordenadas cromáticas rectangulares en plátano

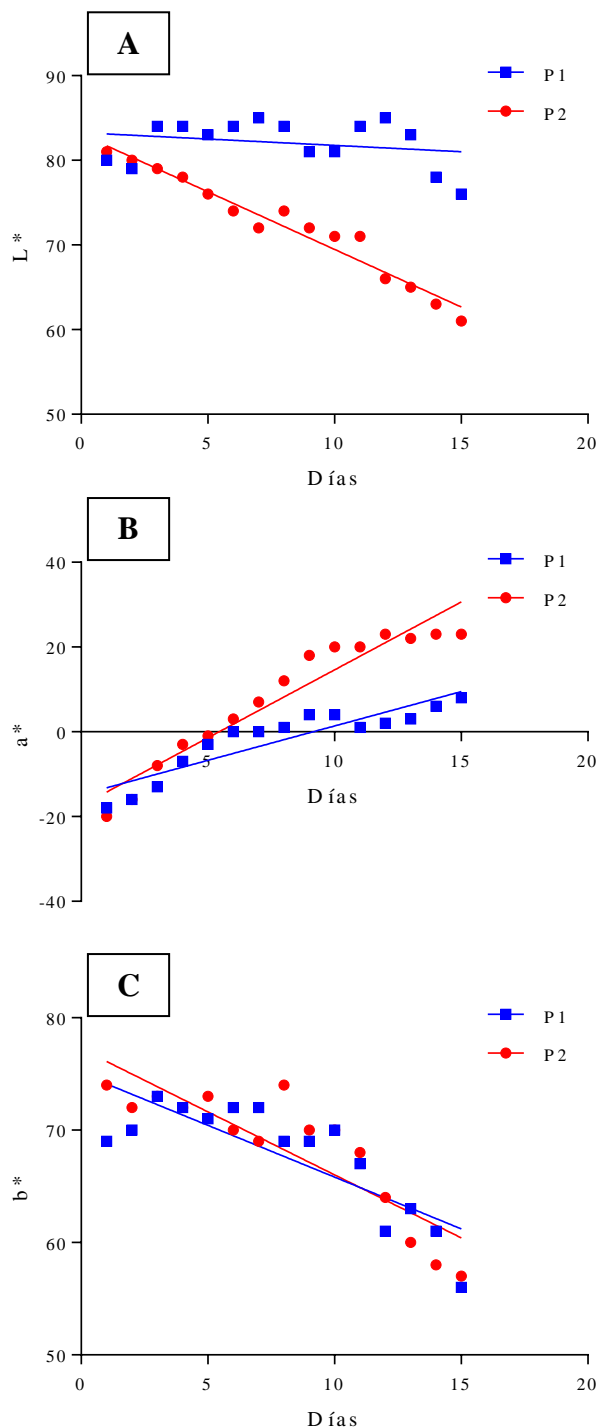
En el Cuadro 3 se muestran los valores de la variación de las coordenadas cromáticas rectangulares (L*, a*, b*) y el color promedio; en la Fig. 6 la comparación gráfica por coordenadas y en la Fig. 7 la variación del espacio de color CIE-L*a*b* de las 2 muestras de plátano durante la maduración.

Cuadro 3.- Coordenadas cromáticas rectangulares y color de 2 muestras de plátano almacenados a temperatura de 28 °C ± 1 °C durante 15 días.

Días	Muestras							
	P1			Color	P2			Color
	L*	a*	b*		L*	a*	b*	
1	80	-18	69		81	-20	74	
2	79	-16	70		80	-16	72	
3	84	-13	73		79	-8	73	
4	84	-7	72		78	-3	72	
5	83	-3	71		76	-1	73	
6	84	0	72		74	3	70	
7	85	0	72		72	7	69	
8	84	1	69		74	12	74	
9	81	4	69		72	18	70	
10	81	4	70		71	20	70	
11	84	1	67		71	20	68	
12	85	2	61		66	23	64	
13	83	3	63		65	22	60	
14	78	6	61		63	23	58	
15	76	8	56		61	23	57	

P: plátano. L*: luminosidad.

Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de tres fotografías.



P: plátano.

Figura 6.- Comparación de la variación de las coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) de 2 muestras de plátano durante la maduración.

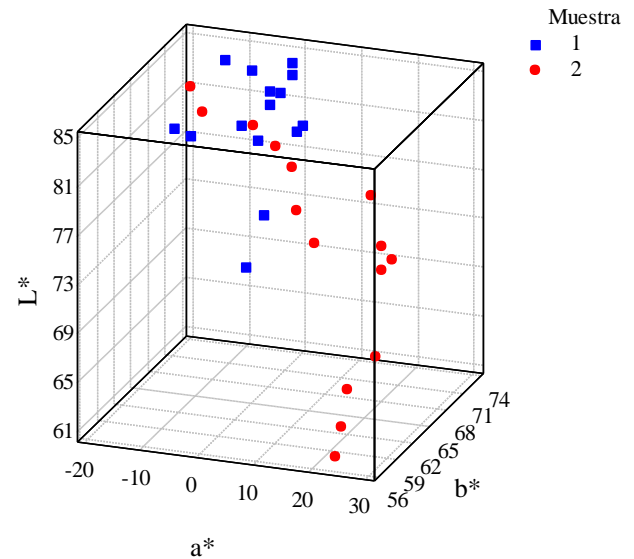


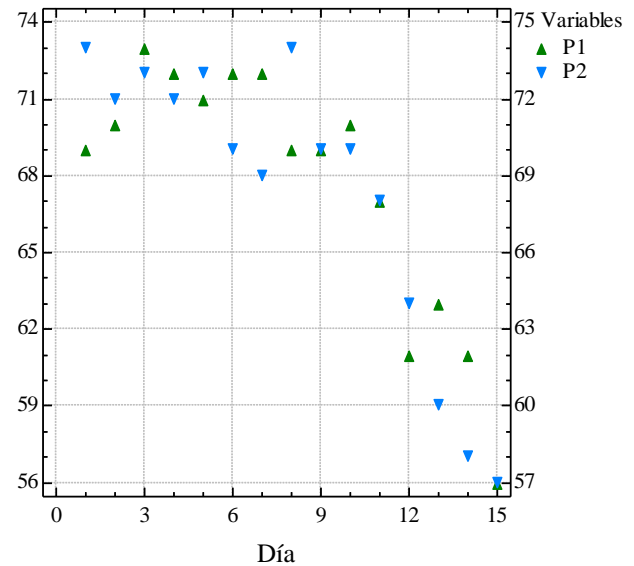
Figura 7.- Espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ de las 2 muestras de plátano durante la maduración.

La disminución de la luminosidad (L^*) fue progresivamente más acelerada en la muestra P2 (Fig. 6A). Soltani *et al.* (2011) describen para banana, que el valor de L^* se incrementa en los primeros estados de maduración, luego se detiene y disminuye rápidamente; esto fue observado en la muestra P1, pero no en la muestra P2 que no presentó incremento inicial (Cuadro 3 y Fig. 6A). La muestra P1 presentó un conglomerado en el espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ por la variabilidad de los datos (Fig. 7). Esta variabilidad ha sido observada por Mendoza-Vilcarromero (2005) en la evaluación de cambios del color en epicarpio de bananas durante la maduración, mediante SVC y aplicando análisis discriminante. La pérdida del color verde de las 2 muestras fue progresiva desde el inicio y coincidente a los 5-6 días de almacenamiento con la desaparición de los valores negativos de la coordenada a^* , y a partir de allí hubo incrementos hacia valores positivos (con carencia de verde) (Cuadro 3 y Fig 6B). La combinación de decrementos en valores de L^* e incrementos en a^* puede asociarse al oscurecimiento en frutos (Apintanapong *et al.*, 2007).

En relación a la coordenada b^* , desde el inicio se mantuvo en valores positivos que denotan presencia del color amarillo que pudo estar enmascarado por el color verde (Piña *et al.*, 2006). En ambas muestras se presentaron fluctuaciones con tendencia a mantener el color amarillo en un intervalo de 69 a 74 hasta el día 10, y a partir del día 11, hubo disminución progresiva de los valores (Cuadro 3 y Figs. 6C y 8). La disminución pudo ser producto de la proximidad a la etapa de senescencia con la consecuente degradación de pigmentos.

Los pigmentos en epicarpios de plátanos y bananas son clorofilas, carotenoides y xantófilas, y el cambio de color durante las etapas de maduración está asociado a la degradación de las clorofilas con niveles de carotenoides que se mantienen relativamente constantes (Thompson, 2003). El cambio en el color del epicarpio de verde a amarillo durante la maduración depende en su mayoría de la pérdida de clorofila y su contenido puede ser usado para caracterizar el cambio en el color del epicarpio (Li *et al.*, 1997). Cabe destacar que el tiempo de maduración del plátano depende del cultivar y el sistema de producción (orgánico o convencional), entre otros factores. Barrera-V. *et al.* (2010) informaron para plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds) un período de maduración de 22 días para plátano en cultivo orgánico y de 13 días en cultivo convencional.

Estadísticamente, para L^* , existieron diferencias significativas entre las pendientes ($p < 0,05$) (Fig. 6A) y gran diferencia entre los valores de los coeficientes de determinación (R^2) de P1 y P2 (0,05892 y 0,9558, respectivamente). Para a^* también hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) (Fig. 6B) entre las pendientes y poca diferencia entre los R^2 (P1 0,8163 y P2 0,9215). En relación a b^* , no existieron diferencias significativas entre las pendientes ($p = 0,4397$) ni entre las elevaciones ($p = 0,5876$) y P2 presentó mayor valor de R^2 (0,7541).



P: plátano.

Eje y (izquierdo): P1. Eje y (derecho): P2.

Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de tres fotografías.

Figura 8.- Variación de la coordenada b^* de las 2 muestras de plátano durante la maduración.

Coordenadas cromáticas polares en plátano

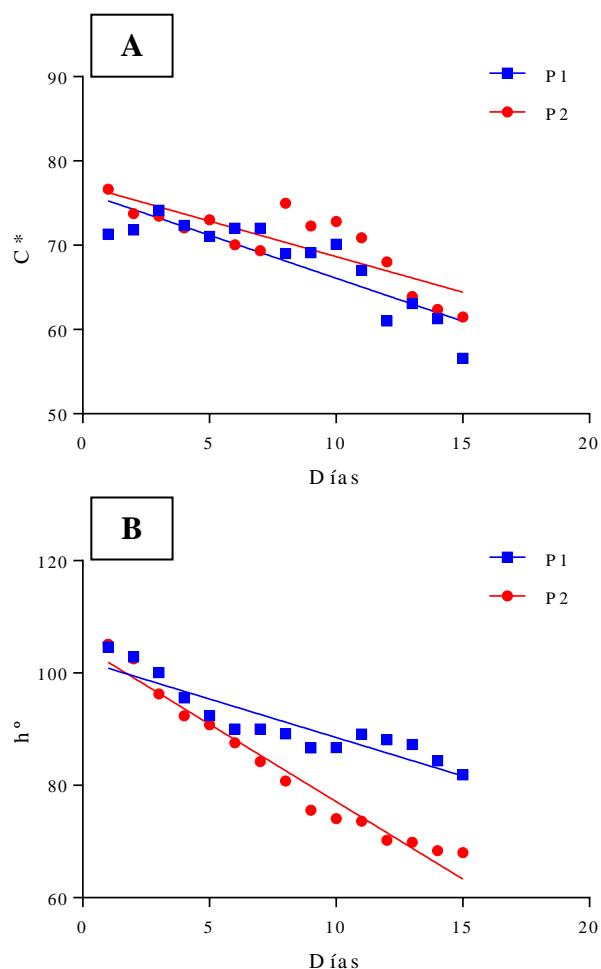
En el Cuadro 4 se presentan los valores de la variación de las coordenadas cromáticas polares (C^* , h°); en la Fig. 9 la comparación gráfica por coordenadas y en la Fig. 10 la variación del espacio de color CIE- $L^*C^*h^\circ$ de las 2 muestras de plátano durante la maduración. Para el primer día los valores de ángulo de tono (h°) para las dos muestras de plátano fueron $104,62^\circ$ para P1 y $105,12^\circ$ para P2 lo que reflejó un estado de maduración verde (Cuadro 4). Luego hubo disminución de los valores de los ángulos hasta $\approx 90,00^\circ$ a los 5-6 días que indicó la pérdida del color verde e instauración plena del amarillo en consonancia con la desaparición de los valores negativos de la coordenada a^* , en el Cuadro 3. La disminución del ángulo de tono (h°) fue sostenida hasta el último día de almacenamiento (Fig. 9B); para este día (día

Cuadro 4.- Coordenadas cromáticas polares de 2 muestras de plátano almacenados a temperatura de $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 días.

Días	Muestras			
	P1		P2	
	C*	h°	C*	h°
1	71,31	104,62	76,66	105,12
2	71,81	102,88	73,76	102,53
3	74,15	100,10	73,44	96,25
4	72,34	95,55	72,06	92,39
5	71,06	92,42	73,01	90,78
6	72,00	90,00	70,06	87,55
7	72,00	90,00	69,35	84,21
8	69,01	89,17	74,97	80,79
9	69,12	86,68	72,28	75,58
10	70,11	86,73	72,80	74,05
11	67,01	89,14	70,88	73,61
12	61,03	88,12	68,01	70,23
13	63,07	87,27	63,91	69,86
14	61,29	84,38	62,39	68,37
15	56,57	81,87	61,47	68,03

P: plátano. C*: croma. h°: ángulo de tono.
Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de tres fotografías.

15), los valores fueron $81,87^{\circ}$ y $68,03^{\circ}$ para P1 y P2, respectivamente, por lo que P2 presentó menor color amarillo (Cuadro 4). El umbral que definiría la ausencia de color amarillo estaría ubicado aproximadamente a un ángulo de 45° en el espacio cromático cilíndrico CIE-L*C*h°. La muestra P1 presentó un conglomerado en el espacio de color CIE-L*C*h° por la variabilidad de los datos (Fig. 10). En relación al croma (C*), la muestra P2 presentó el primer día, ligeramente, mayor pureza de color. En las 2 muestras la pureza se mantuvo mas o menos estable hasta el día 10, y a partir del día 11, disminuyó progresivamente (Cuadro 4 y Fig. 9A). Soltani *et al.* (2011) en la determinación de coordenadas colorimétricas durante la maduración de bananas, obtuvieron valores de a^* menores que los de b^* , de modo que el efecto de a^* sobre el croma (C*) fue poco influyente, por lo que los valores de C* y b^*



P: plátano.

Figura 9.- Comparación de la variación de las coordenadas polares (C*, h°) de 2 muestras de plátano durante la maduración

fueron similares. Lo mismo ocurrió en este trabajo (y también para mango).

Es de hacer notar que el ángulo de tono (h°), permitió representar de mejor manera el comportamiento del color amarillo que cuando se utilizó la coordenada b^* en la Fig. 8, e incluso la variación del color verde, como se aprecia en la Fig. 11. En parte porque el ángulo de tono (h°) es una función de a^* y b^* . Hanbury y Serra (2003) sostienen que en el procesamiento y análisis del color de imágenes, la representación del espacio de color en coordenadas polares puede revelar característi-

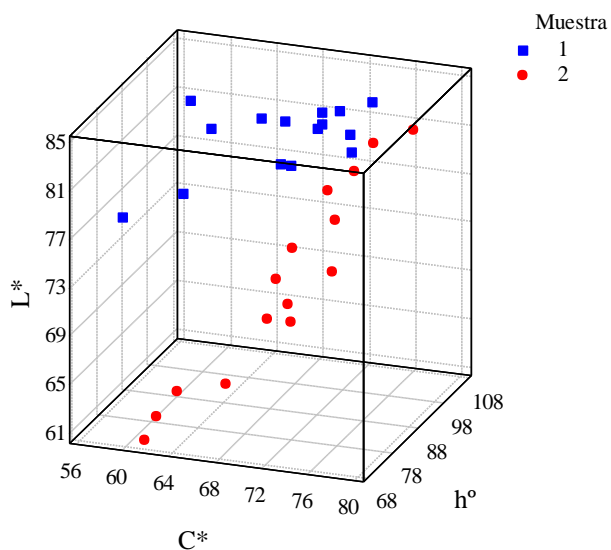
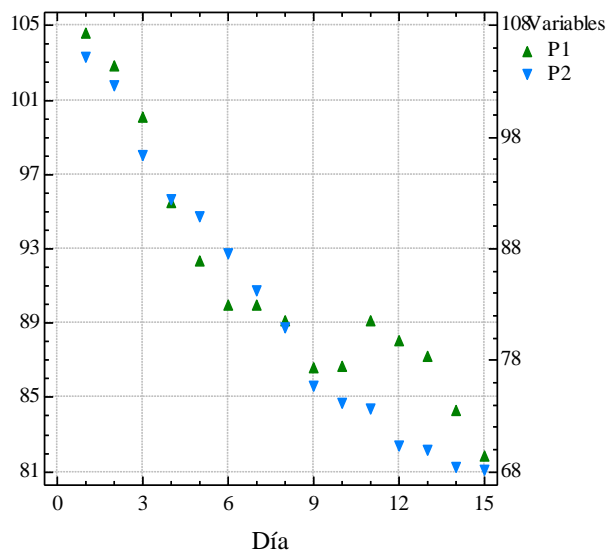


Figura 10.- Espacio de color CIE-L*C*h° de las 2 muestras de plátano durante la maduración.



P: plátano.
Eje y (izquierdo): P1. Eje y (derecho): P2.
Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de tres fotografías.

Figura 11.- Variación del ángulo de tono (h°) de las 2 muestras de plátano durante la maduración.

ticas que no son visibles en la representación mediante coordenadas rectangulares.

Estadísticamente, para C*, las diferencias entre las pendientes no fueron significativas ($p = 0,4362$) pero si para las elevaciones ($p = 0,02866$) (Fig. 9A) y para h° hubo diferencias significativas entre las pendientes ($p < 0,05$) (Fig. 9B). P1 presentó el mayor valor del coeficiente de determinación para C* ($R^2 = 0,7684$) y P2 para h° ($R^2 = 0,9608$).

El software Adobe® Photoshop®, reviste interés de uso en la medición cualitativa y cuantitativa de defectos de calidad superficiales en alimentos, como cortes, rozaduras o manchas de madurez, entre otros (Fig. 12).



Figura 12.- Defectos superficiales de calidad iniciales y durante la maduración, en plátano.

CONCLUSIÓN

La aplicación de un sistema de visión computarizada, utilizando como software de utilidad a Adobe® Photoshop®, permitió describir adecuadamente, a partir de imágenes, las variaciones de color en epicarpios de frutos de mango y plátano durante la maduración, mediante coordenadas colorimétricas de los espacios de color CIE-L*a*b* y CIE-L*C*h°; y la visualización del color promedio mediante imágenes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afshari-Jouybar, Hassan and Farahnaky, Asgar. 2011. Evaluation of Photoshop software

- potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*. 106(2):170-175.
- Apintanapong, Muanmai; Cheachumluang, Kuluma; Suansawan, Punnarai and Noppawan Thongprasert. 2007. Effect of antibrowning agents on banana slices and vacuum-fried slices. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 5(3&4):151-157.
- ASI. 2007. Adobe Systems Incorporated. Adobe presenta dos ediciones de Photoshop CS3. http://www.adobe.com/la/aboutadobe/pressroom/pr/mar2007/CS3_Photoshop_S.pdf
- Ayala-Silva, Tomas; Schnell, Raymond, J.; Meerow, Alan W.; Winterstein, Michael; Cervantes, Cuauhtemoc and Brown, J. Steven. 2005. Determination of color and fruit traits of half-sib families of mango (*Mangifera indica* L.). *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 118:253-257.
- Barrera-V., José Luis; Arrazola-P., Guillermo Segundo y Cayón-S., Daniel Gerardo. 2010. Caracterización físicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica*. 59(1):20-29.
- Crane, J.H.; Salazar-García, S.; Lin, T.S.; de Queiroz-Pinto, A.C. and Shü, Z.H. 2009. Crop production management. In *The mango: botany, production and uses*. (2nd. ed.). (pp. 432-483). Wallingford, Oxfordshire, UK: CAB International.
- Dadzie, B.K. y Orchard, J.E. 1997. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. *Guías técnicas INIBAP 2*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia - Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Francia. 76 p.
- FAO/WHO. 1993. Food and Agriculture Organization of the United Nations-World Health Organization. Norma del Codex para el mango. CODEX STAN 184-1993. Enmienda 2005.
- Galán-Saúco, Víctor. 2009. *El cultivo del mango*. (2da. ed.). La Laguna, Tenerife, España: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias - Madrid, España: Mundi-Prensa Libros, S. A.
- García, María; González, Mónica; Fernández, Domingo y Lobo, Gloria M. 2007. Comportamiento postcosecha de dos cultivares tardíos de mango. En V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. 29 Mayo-01 Junio. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha-Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Murcia, España. <http://www.icia.es/icia/download/fruticulturatropical/AITEP2007-Mango%20tardio.pdf>
- Guerrero-López, I.J.; Mercado-Silva, E.; Vázquez-Barrios, Ma. E.; Súmano-Muñiz, O.; Escamilla-Obregón, P.C. y Reyes-Ortega, R. 2009. Efecto del etefon sobre la maduración de frutos de mango, cv. "Keitt" y "Kent". En *Memorias del Programa Verano de la Ciencia*. 11º Verano de la Ciencia de la Región Centro. Universidad Autónoma de Querétaro, México. 5 p.
- Hammad, Ahmed and Kassim, Farid. 2009. Colour vision properties for peel of mango's fruit: an approach to objective of total pigments assessment: RGB, CMY and total pigments relations mathematical guide. In *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Applied Computer and Applied Computational Science*. May 20-22. (pp. 299-304). Hangzhou, China.
- Hanbury, Allan and Serra, Jean. 2003. A 3D-polar coordinate colour representation suitable for image analysis. Technical Report. Pattern Recognition and Image Processing Group, Institute of Computer Aided Automation, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. 33 p.

- Jha, S.N.; Chopra, Sangeeta and Kingsly, A.R.P. 2007. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering*. 78(1):22-26.
- Jha, Shyam N. 2010. Colour measurements and modeling. In *Nondestructive evaluation of food quality. Theory and practice*. (pp. 17-40). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kang, S.P.; East, A.R. and Trujillo, F.J. 2008. Colour vision system evaluation of bicolour fruit: a case study with 'B74' mango. *Postharvest Biology and Technology*. 49(1):77-85.
- Kodagali, Jyoti A. y Balaji, S. 2012. Computer vision and image analysis based techniques for automatic characterization of fruits - a review. *International Journal of Computer Applications*. 50(6):6-12.
- Li, Meng; Slaughter, David C. and Thompson, James F. 1997. Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. *Postharvest Biology and Technology*. 12(3):273-283.
- Malevski, Y.; Gómez-Brito, L. y Silberg, M. 1977. Maduración de mangos cosechados en diferentes tiempos durante la estación (a). *Agronomía Tropical*. 27(2):163-169.
- Medlicott, A.P.; Semple, A.J.; Thompson, A.J.; Blackbourne, H.R. and Thompson, A.K. 1992. Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. *Tropical Agriculture*. 69(2):161-166.
- Mendoza-Vilcarromero, Fernando A. 2005. Characterization of surface appearance and color in some fruits and vegetables by image analysis. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- Nagle, Marcus; Romano, Giuseppe; Mahayothee, Busarakorn; Sardud, Vicha and Müller, Joachim. 2012. A novel optical approach for monitoring color changes in mango. In *Program and Abstracts of the International Scientific Conference on Sustainable Land Use and Rural Development in Mountain Areas*. April 16-18. (pp. 199-200). University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- Ornelas-Paz, José de Jesús; Yahia, Elhadi M. and Gardea, Alfonso A. 2008. Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI⁺-time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*. 50(2-3):145-152.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto. 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*. 33(2):283-301.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto. 2010. Procesamiento digital de imágenes de frutos de semeruco (*Malpighia glabra* L.) durante el crecimiento y maduración. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*. 17(2):1-17.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto; Padrón-León, Gisel Marié; Montes-Hernández, Adriana Isabel y Oropeza-González, Rafael Antonio. 2012. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*. 36 (1):97-111.
- Papadakis, Spyridon E.; Abdul-Malek, Siti; Kamdem, Ricky Emery and Yam, Kit L. 2000. A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food Technology*. 54(12):48-51.
- Piña, G.; Laborem-Escalona, G.; Surga, J.; Marín, C.; Rangel, L.; Espinoza, M. y Delgado, A. 2006. Atributos de calidad en

- frutos de híbridos FHIA (*Musa*) para tres ciclos de cosecha. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 23(4):425-442.
- Robles-Sánchez, R.M.; Villegas-Ochoa, M.A.; Cruz-Valenzuela, M.R.; Vázquez-Ortiz, F.A.; Castelo, A.A.; Zavala-Ayala, F. y González-Aguilar, G.A. 2006. Determinación del estado de madurez óptimo de mango "Ataulfo" destinado a procesamiento mínimo. VIII Simposio Nacional y V Ibérico sobre Maduración y Post-recolección. 27-30 Septiembre. (pp. 21-25). Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández, Orihuela, España.
- Siller-Cepeda, Jorge; Muy-Rangel, Dolores; Báez-Sañudo, Manuel; Araiza-Lizarde, Evelia e Ireta-Ojeda, Adolfo. 2009. Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1):45-52.
- Slaughter, D.C. 2009. Nondestructive maturity assessment methods for mango: a review of literature and identification of future research needs. *Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis, USA*. 18 p.
- Soltani, Mahmoud; Alimardani, Reza and Omid, Mahmoud. 2011. Changes in physico-mechanical properties of banana fruit during ripening treatment. *The Journal of American Science*. 7(5):14-19.
- Somatilake, S. and Chalmers, A.N. 2007. An image-based food classification system. In *Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand*. December 5-7. (pp. 260-265). University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Thompson, A. Keith. 2003. *Fruit and vegetables: harvesting, handling and storage*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, Ltd. pp. 87.
- Vyawahare, A.S. y Jayaraj-Rao, K. 2011. Application of computer vision systems in color evaluation of kunda: a heat desiccated dairy product. *International Journal of Dairy Science*. 6(4):253-266.
- Yam, Kit L. and Papadakis, Spyridon E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61(1):137-142.
- Zambrano, J.; Materano, W y Briceño, S. 2000. Influencia del período de almacenamiento en las características poscosecha de cinco variedades de mango *Mangifera indica* L. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 17(2):164-172.
- Zamora-Cienfuegos, Elizabeth; García, Hugo S.; Mata-Montes de Oca, Miguel y Tovar-Gómez, Beatriz. 2004. Aceleración de la maduración en mango 'Kent' refrigerado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(4):359-366.