

Nota técnica

DETERMINACIÓN DEL COLOR EN EPICARPIO DE TOMATES (*Lycopersicum esculentum* Mill.) CON SISTEMA DE VISIÓN COMPUTARIZADA DURANTE LA MADURACIÓN

Carlos Alberto Padrón Pereira^{1/}, Gisel Marié Padrón León^{**},
Adriana Isabel Montes Hernández^{***}, Rafael Antonio Oropeza González^{****}

Palabras clave: Espacios de color, *Lycopersicum esculentum* Mill., medición del color en tomates, Photoshop[®], técnicas de procesamiento de imágenes.

Keywords: Color spaces, image processing techniques, *Lycopersicum esculentum* Mill., measurement of color in tomatoes, Photoshop[®].

Recibido: 10/10/11

Aceptado: 03/01/12

RESUMEN

Se estudió la evolución del color de muestras de tomates durante la maduración a temperatura ambiente y otras en refrigeración, mediante Sistema de Visión Computarizada (SVC). El SVC lo constituye un escenario iluminado, una cámara digital CCD y un computador (Laptop) ambos calibrados. El procesamiento digital de las imágenes se llevó a cabo con el software Adobe[®] Photoshop[®] CS3 Extended, con los cuales generaron imágenes promediadas en coordenadas L^* , a^* y b^* . La relación a^*/b^* y las coordenadas polares c^* y $h^°$, que presentaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras determinadas ($p < 0,05$).

ABSTRACT

Color determination in tomato epicarp using Computer Vision System during ripening. The evolution of color in tomatoes samples, during ripening under refrigeration or at room temperature, was studied by Computer Vision System (CVS). CVS consisted in a lighted stage, a CCD digital camera and a computer (Laptop), all calibrated. The digital processing of images was performed with the Adobe[®] Photoshop[®] CS3 Extended software, with which averaged images on L^* , a^* and b^* coordinates were obtained. The proceeding tested, using CVS, allowed to study the variations of color during the ripening of tomatoes from images, by means of rectangular coordinates (L^* , a^* , b^*). The ratio a^*/b^* and polar coordinates (c^* , $h^°$), showing statistically significant differences between samples determined ($p < 0,05$).

¹ Autor para correspondencia. Correo electrónico: carlospadron1@gmail.com

* Asociación RVCTA. Valencia, Estado Carabobo. C. P. 2001, Venezuela.

** Unidad Educativa "Colegio Don Bosco". Valencia, Estado Carabobo. C. P. 2001, Venezuela.

*** Ayuntamiento de La Matanza de Acentejo, Tenerife, Comunidad Autónoma de las Islas Canarias, España.

**** Atlantic Pan S. L., Tenerife, Comunidad Autónoma de las Islas Canarias, España.

INTRODUCCIÓN

La comercialización del tomate, esta determinada primeramente por la aceptación del tamaño de los frutos y el color (Riquelme-Ballesteros 1995). En la industria de productos derivados del tomate, tales como ketchup y otros tipos de salsas, reviste interés el intervalo de color óptimo que puede ayudar a las agroindustrias de tomate, a incrementar la calidad de sus productos para los consumidores. Para estos productos, demasiado rojo o demasiado marrón es indeseable (Claybon y Barringer 2002); por ejemplo, pruebas sensoriales de preferencia realizadas en ketchup han revelado que principalmente la luminosidad y el ángulo de tono son responsables de la preferencia por parte de consumidores; ketchup con ángulos de tono >35 fueron menos preferidas mientras que con valores de luminosidad de 32 a 34 obtuvieron mayor aceptación (Intelmann et al. 2005).

La estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y su estado de madurez, permite diferenciar con base en los cambios que experimenta el color. Numerosas escalas y cartas de color se han desarrollado para realizar una clasificación subjetiva, de forma gráfica o descriptiva, del estado de maduración en una progresión de tomate verde a tomate rojo. Por otra parte, para una clasificación objetiva se han diseñado instrumentos portátiles que han permitido ampliar las mediciones que ofrecen exactitud, como los colorímetros Minolta® (Riquelme-Ballesteros 1995), entre ellos el CR-410T (Konica Minolta Sensing Americas, Inc. NJ, USA) y el espectrofotómetro ColorFlex® Tomato Color Meter (Hunter Associates Laboratory, Inc. VA, USA), Este último mide distintos índices de color en tomates frescos, pastas y salsas, que incluyen además el índice a/b (No a^*/b^*), aparte de ofrecer lecturas en coordenadas de espacios de color Hunter (L, a, b) y CIE (L^* , a^* , b^*), entre otras (HunterLab 2006). No obstante lo anterior se identifica como limitante para el uso de dichos instrumentos el costo de adquisición y mantenimiento.

En el estándar estadounidense, para la clasificación de tomates frescos se utilizan distintos

conceptos para indicar el estado de maduración, tales como: 'green' completamente verde; 'breakers' con ruptura definitiva en el color de verde a amarillo oscuro, rosado o rojo en no más del 10% de la superficie; 'turning' con más del 10% pero no más del 30% de la superficie en conjunto que muestra un definitivo cambio de color de verde a amarillo oscuro, rosado, rojo o una combinación; 'pink' con más del 30% pero no más del 60% de la superficie, muestra un color rosado o rojo; 'light red' con más del 60% de la superficie, en conjunto muestra un color rosado-rojizo o rojo y no más del 90% es de color rojo; 'red' con más del 90% de la superficie es de color rojo y 'mixed color' que resulta ser cualquiera que no cumpla las designaciones anteriores en la gama de colores (USDA 1997). Para la descripción anterior, existe una carta de color denominada "Tomato color standards U.S.D.A. Visual Aid TM- L-1" (The John Henry Co. MI, USA), con 12 fotografías en color que ilustran los requerimientos de clasificación. En Venezuela, la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) en su norma 165:83, emplea para la clasificación por madurez del tomate los términos 'verde' que es el índice de color entre 1 y 2, 'pintones' que es el índice de color entre 3 y 4 y 'maduros' que es el índice de color entre 5 y 6 (COVENIN 1983).

De cualquier manera un término como 'breakers' o 'pintones' utilizado en la maduración de tomates implica una amplia variación en una gama de colores que no queda bien definida, ya que depende de la variedad.

La creación de programas mediante el desarrollo de algoritmos y técnicas han permitido la puesta en práctica de software de utilidad para el reconocimiento de características en frutos. Seng y Mirisae (2009) crearon un sistema basado en 5 módulos para el reconocimiento de frutos, entre ellos los módulos de cálculo de la forma, el tamaño y el color; este último en coordenadas RGB con el software MATLAB® (MatchWorks®, Inc., Natick, MA, USA) que permiten procesar, analizar, clasificar e identificar las imágenes de los frutos. Por ejemplo el Tomato Analyzer (Ohio Agricultural Research and Development Center,

The Ohio State University, USA) es un software que permite previo escaneo de frutos cortados la recolección de datos del tamaño y la forma del producto; también posee un módulo para la recolección de datos del color a partir de las imágenes digitales escaneadas (Darrigues et al. 2008). El software tiene la propiedad de convertir los valores RGB a coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ (Darrigues et al. 2007) y aportar información sobre otras características fenotípicas (Brewer et al. 2008, Gonzalo et al. 2009).

Para el procesamiento de imágenes de frutos, además del software, en este estudio fue necesario crear lo que se denomina un Sistema de Visión Computarizada (SVC) (CVS, 'Computer Vision System') que involucra de manera sencilla 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. La clasificación de tomates por color mediante técnicas para el procesamiento de imágenes con un SVC fue llevada a cabo por Loureiro-Lino et al. (2008) además del software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) que facilitó exhibir imágenes en coordenadas R, G y B. Por otra parte, un procedimiento con SVC y herramientas de diseño gráfico permitieron la obtención de imágenes de muestras promediadas en coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$, que confirman el beneficio de su aplicación en la evaluación de estados de maduración de cultivos con el software Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, San José, CA, USA) (Padrón-Pereira 2009). Los parámetros de color L^* , a^* y b^* en una muestra de alimento, designan: L^* , la luminosidad (0=negro y 100=blanco); a^* , el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y b^* , el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos).

Es común encontrar en la literatura, que la determinación del color en muestras de alimentos, se lleve a cabo mediante coordenadas como L^* , a^* y b^* que podrían no identificar el color correcto por errores en la medición, aunando a que las coordenadas señalan el color observado

por el investigador y no por el instrumento (por ejemplo, beige claro en una harina), debido a que en la pantalla digital LED de estos instrumentos, presenta solo las coordenadas y no una imagen del color promedio, por lo que no hay manera de verificar si la medición fue correcta en concordancia con lo observado. Los valores de las coordenadas del espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ indicados en instrumentos de medición del color se pueden verificar mediante la inclusión de los mismos en la creación de imágenes del color medido en el software Adobe® Photoshop®. Es necesario indicar, que en la paleta de colores aparecen reguladores Lab con coordenadas L, a y b (sin asterisco) y realmente el modelo es CIE- $L^*a^*b^*$, con coordenadas L^* , a^* y b^* ; por lo no se debe confundir con las coordenadas L, a y b de la escala HunterLab.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según lo anterior, el propósito de este estudio fue procesar imágenes de frutos de tomate mediante SVC e investigar la evolución del color durante la maduración a temperatura ambiental y en refrigeración.

Escenario

Sobre un escritorio se colocó un portalámpara retráctil provisto de una lámpara fluorescente de vidrio prensado con reflector parabólico de aluminio de diámetro 38 octavos de pulgada (PAR38), marca General Electric, 120V, 60Hz, 20w, con temperatura de color $T_c=6500$ °K (D_{65}). El reflector se hizo incidir sobre papel digital marca Xerox de 150 g.m^{-2} , liso, de alta blancura y mate a una distancia de 13 cm. La cámara digital fue ubicada sobre un soporte a una distancia de 22 cm y la geometría de las direcciones de iluminación/observación fue de $45^\circ/0^\circ$.

Calibración de la cámara digital

Se empleo una cámara digital marca Panasonic (LUMIX), modelo DMC-FS42, provista de un sensor CCD de tamaño 1/2,5 pulgadas;

10,1 megapíxeles (efectivos) y enfoques en modo normal (50,0 cm-∞) y macro (5,0 cm-50,0 cm). La cámara se colocó en modo de imagen normal para tomar fotografías con ajustes deseados: flash desactivado y enfoque en modo macro (fotografías en primer plano de las muestras a distancias de entre 5,0 cm (0,17 ft) y 50,0 cm (1,64 ft)). La cámara permite realizar ajustes manuales de balance de blancos, con el enfoque de una hoja de papel bond blanco (Xerox, 150 g.m⁻²) en el escenario iluminado a 10 cm de distancia.

Para determinar la mejor Sensibilidad ISO, se tomaron fotografías de 2,0 megapíxeles, por triplicado, en el escenario iluminado, a una distancia de 30 cm a muestras patrones de color de la guía de colores PANTONE® solid matte (Cyan, Magenta, Yellow y Black-Pantone Process M), con modificaciones de la Sensibilidad ISO a 80, 100, 200, 400, 800 y 1000 y se observaron en el visor de imágenes de Windows®. La sensibilidad a la luz no ofreció grandes variaciones y se seleccionó el valor ISO 80 por presentarse menor ruido en las imágenes.

Para la determinación del mejor Valor de Exposición (VE) (EV, 'Exposure Value'), o cantidad de luz que se pasa al sensor CCD en función del valor de apertura y la velocidad del obturador (Panasonic 2010), se tomaron fotografías por triplicado, a las mismas muestras patrones, en las mismas condiciones señaladas anteriormente con variaciones de los VE a -1; -2/3; -1/3; 0 + 1/3; + 2/3 y +1. En Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, San José, CA, USA), a las imágenes obtenidas se les ajustaron los niveles de entrada y salida: menú imagen, submenú ajustes, opción niveles; se recortaron las muestras de color de manera independiente (selección con herramienta marco rectangular, menú imagen, opción recortar), se promediaron los píxeles y menú filtro, submenú desenfocar y opción promediar, con la herramienta cuentagotas se tomaron muestras del color que reflejaron las coordenadas RGB en la paleta de colores del software. Se abrió el libro PANTONE® solid matte incluido en el software con selector de color-biblioteca de colores y se comparó. Se seleccionó el VE=+2/3 por

presentar las imágenes promediadas, las coordenadas RGB mas similares a los valores RGB de los estándares Cyan, Magenta y Yellow (Pantone Process M).

Computadora y calibración del monitor

El equipo utilizado fue una computadora portátil (Laptop), marca ACER, modelo Aspire 3661WLMi, provista de un procesador Intel® Celeron® M 410 de 1,46 GHz con tarjeta gráfica ATI Radeon™ Xpress 200M, monitor WXGA CrystalBrite LCD de 15,4 pulgadas, tiempo de respuesta de 16 min, con resolución de 1280 x 800 píxeles, memoria RAM expandida a 1,93 GB y sistema operativo Microsoft® Windows® XP, Home Edition, Versión 2002, Service Pack 3. El ambiente y las condiciones de trabajo para la calibración del monitor fueron las siguientes: la luz ambiental fue inferior a la de intensidad del monitor (ni luz intensa diurna, ni mucha oscuridad) y sin incidencia directa sobre el mismo. Con el software Photoshop®, se creó un archivo nuevo (formato JPEG) de 10x10 píxeles con resolución de 72 píxeles/pulgada, color con coordenadas R=128, G=128 y B=128 (gris) y se estableció como fondo de escritorio con posición en mosaico para evitar influencia de otros colores durante la calibración; el ángulo de observación entre el usuario y el monitor fue de 0° para evitar la distorsión de contraste, luminosidad y colores del monitor LCD, que ofrece ángulo de observación limitado que solo permite pequeños cambios en la postura del usuario. El monitor fue calibrado con el software Adobe® Gamma, a partir de la definición del punto blanco del hardware en 6500°K. Cabe destacar que luego de la calibración hubo contraste en la pantalla, debido a que el software Adobe® Gamma recomienda utilizar el más alto contraste; por su parte, el software Catalyst® Control Center de ATI con aplicación instalada en la portátil, controló la funcionalidad de los sistemas gráficos con valores de contraste entre 0 y 200, ya que el valor de 200 establecido provisionalmente. Catalyst® Control Center de ATI (Advanced Micro Devices, Sunnyvale, California, USA)

es una aplicación que no anula el contraste y color elegidos por el usuario y otros atributos individuales de visualización; no obstante, si el usuario elige usar una máscara diferente de la predeterminada, la máscara seleccionada, especialmente las que se obtienen de terceros como es el caso de Adobe® Gamma, podrían no respetar la configuración de contraste y color realizada por el usuario (AMD 2010); por este motivo, para ajustar el contraste luego de la calibración con Adobe® Gamma, se utilizó la barra de calibración de monitores del CMDF (2010), para establecer un valor final de contraste de 100.

Software

El software empleado fue Adobe® Photoshop® CS3 Extended (Adobe Systems Incorporated, USA) que es una aplicación profesional para la edición y retoque de imágenes en diversos formatos (ASI 2007) y posee una amplia variedad de bibliotecas de colores, entre las que se incluyen las guías de colores PANTONE® (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA). Presenta reguladores en el espacio de color CIE-L*a*b* y HSB ('hue, saturation, brightness') o HSV ('hue, saturation, value') un modelo similar al espacio de color CIE-L*C* h° (Rodney 2005).

Selección y preparación de las muestras

Muestras de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inmaduros, oblongos (tipo perita) fueron adquiridas en un establecimiento comercial, en Valencia, Venezuela. Los criterios de

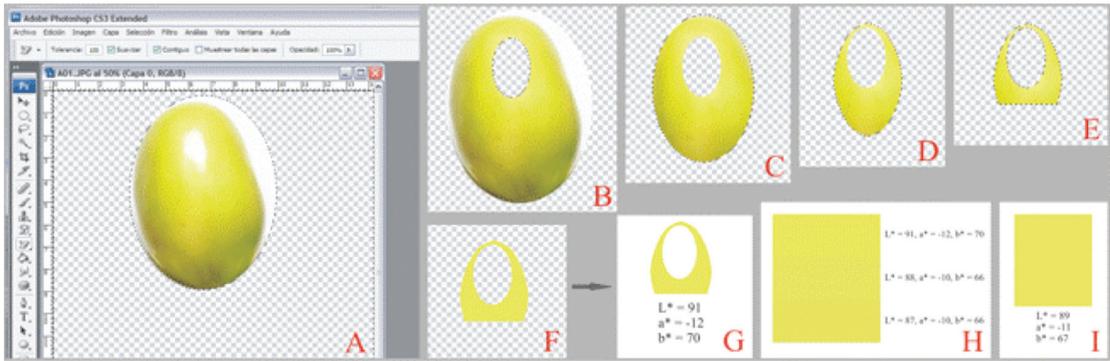
selección fueron: color totalmente verde con carencia de color amarillo, naranja o rojo y ausencia de defectos fisiológicos como arrugamiento o deformaciones y de daños mecánicos como cicatrices, golpes o rozaduras.

Se utilizaron 3 tomates lavados y secados con papel absorbente. Se posicionaron fijos sobre una bandeja forrada con papel bond blanco (Xerox, 150 g.m⁻²) y se mantuvieron sin atmósferas controladas, a temperatura ambiental (28°C±1°C) con luz; y otros 3 de similar forma en refrigeración (5°C±1°C) a oscuras, en un refrigerador marca Samsung, modelo RT47M.

Captación de las imágenes y determinación del color

Cada 24 h por 24 días las bandejas se colocaron sobre el escenario y bajo las condiciones establecidas se captaron por triplicado imágenes de los tomates (tamaño 4,9152 megapíxeles (2560 x 1920 píxeles)≈5; resolución 180 ppp o píxeles/pulgada; formato JPEG). En el caso de las muestras refrigeradas, el agua condensada en la superficie por la diferencia de temperatura fue removida antes de la captación. El tiempo transcurrido desde la colocación de las muestras en el escenario hasta la captación no fue mayor a 2 min, por lo que el efecto del calor emitido por la lámpara no se controló.

Las imágenes fueron descargadas en la computadora portátil y procesadas en Photoshop® con el procedimiento empleado por Padrón-Pereira (2009). La Figura 1, ilustra un ejemplo.



A: preprocesamiento. B: discriminación de la brillantez del reflector. C, D y E: segmentación secuencial para la obtención de la región de interés. F: promediado de los píxeles en la región de interés. G: región de interés con coordenadas L^* , a^* y b^* . H: imágenes rectangulares resultantes de 3 fotografías procesadas de una misma muestra y sus coordenadas. I: imagen final con coordenadas cromáticas promedio de 3 fotografías de una misma muestra.

Fig. 1. Procesamiento de imágenes para la determinación del color en Photoshop®.

Cálculo de parámetros y análisis estadístico

La literatura referida al color del tomate, menciona que los cambios de este parámetro son expresados en términos de diferentes combinaciones matemáticas de a^* y b^* , tales como, a^* , a^*/b^* , $(a^*/b^*)^2$, $\tan^{-1}(b^*/a^*)$, entre otros (López-Camelo y Gómez 2004). Los resultados de este trabajo, se presentan mediante las coordenadas rectangulares L^* , a^* , b^* ; la relación a^*/b^* y las coordenadas polares C^* y h° 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; Cromo (C^*)= $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$. Se elaboraron curvas de relación a^*/b^* versus días de maduración y se compararon los valores de las mismas mediante análisis de varianza con medidas repetidas (ANAVAR-MR) y pruebas de comparación de medias ($p<0,05$) con el software MedCalc®, versión 11.3.1.0 (MedCalc Software bvba, Mariakerke, Belgium). Los rectángulos en los cuadros, se realizaron con Photoshop®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Imágenes promediadas de los tomates y coordenadas L^* , a^* y b^*

En el Cuadro 1 se presentan las coordenadas L^* , a^* y b^* (espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$) y las imágenes obtenidas en epicarpios de 3 tomates almacenados a temperatura ambiental durante 24 días de maduración. El tomate por ser un fruto carotenogénico, durante su maduración se destaca por la síntesis masiva de carotenoides, habitualmente acompañada por un cambio en su perfil de carotenoides (Artés-Calero y Artés-Hernández 2004a). Los cambios de coloración durante la maduración de los frutos de tomate resultan en cambios de los valores L^* , a^* y b^* . En el Cuadro 1, se observa que la coordenada a^* mostró el mayor cambio, y que dio inicio con valores negativos (color verde) que progresivamente fueron positivos (color rojo). López-Camelo et al. (2003) y Shewfelt et al. (1988) señalan que durante la

Cuadro 1. Coordenadas cromáticas rectangulares y color de 3 muestras de tomates almacenados a temperatura de 28°C±1°C durante 24 días de maduración.

Días	Muestras											
	TA1				TA2				TA3			
	L*	a*	b*	Color	L*	a*	b*	Color	L*	a*	b*	Color
1	89	-11	67		86	-9	75		87	-13	75	
2	94	-10	62		89	-5	75		91	-11	75	
3	90	-8	73		80	6	78		86	-6	81	
4	93	-8	68		77	14	78		87	-2	82	
5	89	-3	76		72	24	75		83	5	81	
6	87	1	79		68	32	73		78	12	79	
7	87	2	81		67	35	72		80	13	81	
8	87	3	81		65	37	72		79	15	80	
9	85	6	81		64	38	71		77	18	79	
10	87	4	81		70	33	75		79	16	80	
11	85	7	81		67	37	72		76	19	78	
12	85	7	82		64	40	71		73	24	76	
13	87	4	81		70	34	75		77	19	79	
14	83	10	81		66	39	72		73	24	76	
15	82	12	81		64	43	71		72	26	76	
16	82	13	80		66	40	72		72	27	76	
17	78	18	79		60	46	68		69	29	74	
18	79	16	80		61	44	69		70	27	74	
19	76	21	78		59	48	68		67	32	72	
20	77	20	78		61	46	68		67	32	72	
21	78	19	78		62	44	69		67	31	72	
22	78	19	79		62	43	69		68	30	73	
23	80	15	80		63	43	70		70	27	74	
24	78	18	79		62	44	69		68	31	73	

Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de 3 fotografías.

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a 28°C±1°C.

maduración del tomate, inicialmente se sintetiza el fitoeno (incoloro), para posteriormente dar lugar al ζ -caroteno (amarillo pálido), licopeno (rojo), β -caroteno (anaranjado) y xantofilas y carotenoides hidroxilados (amarillos); los autores destacan además que la síntesis de pigmentos amarillentos precede a la de los rojizos, pero la

masiva acumulación de éstos últimos enmascarar a los primeros.

Cuando los pigmentos rojos comenzaron a ser sintetizados ocurrió una disminución de los valores de la coordenada L* que indicó un oscurecimiento o disminución de la luminosidad y los cambios en la coordenada b* fueron menores.

El comportamiento de las coordenadas observado para los 3 frutos coincide con el estudio de López-Camelo y Gómez (2004) en la comparación de coordenadas durante la maduración del tomate, y es de hacer notar que aunque el primer día los frutos presentaron similar color, la evolución del mismo fue distinta para los 3, aún presentándose en las mismas condiciones de luz y temperatura.

En el Cuadro 2 se presentan las coordenadas L^* , a^* y b^* (espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$) y las imágenes obtenidas en epicarpios de 3 tomates almacenados a temperatura de refrigeración durante 24 días de maduración (a partir del día 25 se observó deterioro microbiano en el epicarpio y se detuvo la captación de imágenes).

Cuadro 2. Coordenadas cromáticas rectangulares y color de 3 muestras de tomates almacenados a temperatura de $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 días de maduración.

Días	Muestras											
	TR1				TR2				TR3			
	L^*	a^*	b^*	Color	L^*	a^*	b^*	Color	L^*	a^*	b^*	Color
1	81	-14	70		71	-10	71		72	-18	69	
2	86	-13	70		71	-8	71		72	-17	68	
3	84	-11	68		72	-6	72		72	-17	68	
4	83	-9	70		65	-1	67		71	-17	68	
5	86	-8	70		69	1	70		73	-16	69	
6	85	-7	71		68	4	70		72	-16	69	
7	83	-6	71		63	8	67		74	-16	70	
8	80	-2	70		62	13	66		70	-16	68	
9	88	-5	68		70	13	72		76	-16	70	
10	85	-3	70		64	19	69		73	-16	69	
11	86	-3	70		66	19	70		76	-17	70	
12	84	0	72		63	25	68		74	-16	70	
13	85	0	71		61	28	67		72	-15	69	
14	80	5	71		59	31	66		71	-15	68	
15	84	3	72		61	31	67		74	-15	70	
16	79	11	73		58	39	66		71	-14	68	
17	81	8	74		61	36	68		76	-15	71	
18	79	10	75		57	37	65		75	-16	71	
19	78	13	73		57	40	65		73	-13	69	
20	79	12	74		59	39	67		74	-14	70	
21	77	16	76		58	43	66		72	-13	71	
22	79	13	76		59	40	67		77	-15	72	
23	78	14	76		57	41	65		73	-15	70	
24	75	20	74		56	45	65		74	-12	70	

Las coordenadas son valores promedio de píxeles en zona paraxial de 3 fotografías.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

La coordenada a^* presentó el mayor cambio, sin embargo, la maduración o tasa de desarrollo del color fue diferente ($TR2 > TR1 > TR3$). El tomate no suele requerir una conservación frigorífica prolongada, pero a veces es necesario almacenarlo para regular el mercado. El frío moderado en el tomate (menos de 10°C) puede ejercer una acción gradual y duradera, que altera irreversiblemente el metabolismo del fruto tras unas 2 semanas. A partir de unos 6 días a temperaturas subóptimas puede presentarse incapacidad para alcanzar la plena madurez (Artés-Calero y Artés-Hernández 2004b), esto fue observado en TR3 (la coordenada a^* varió de -18 a -12 y se mantuvo en verde) y en contraposición a esto, TR2 fue similar a TA2 (Cuadro 1) a pesar de la diferencia en las condiciones de luz y temperatura. López-Camelo et al. (2003) y Shewfelt et al. (1988) señalan que si la maduración se lleva a cabo a temperaturas inferiores a los 12°C , consideradas subóptimas para la síntesis de licopeno, en los cromoplastos se acumula β -caroteno, cuya síntesis progresa a esas temperaturas, que presentó frutos anaranjados o amarillentos, esto fue observado en TR1. Por otra parte, Shewfelt y Halpin (1967) estudiaron el efecto de la calidad de la luz sobre el desarrollo del color en tomates almacenados a $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y encontraron que la

tasa de desarrollo del color en frutos cosechados en estado de madurez fisiológica fue influenciada por la calidad de la luz a la cual ellos fueron expuestos durante la maduración. El desarrollo del color del tomate también está influenciado por la composición de la atmósfera de conservación (Artés-Calero y Artés-Hernández 2004a).

Lo expuesto indica que con la utilización del SVC se logró observar la variación del color en tomates durante la maduración mediante coordenadas L^* , a^* y b^* obtenidas a partir de imágenes. Por otra parte, los valores de las coordenadas a^* pueden ser suficientes para predecir los cambios de coloración en las etapas de maduración del tomate (Tijksens y Evelo 1994), mediante aumentos graduales desde valores negativos (verde) hasta valores positivos (rojos).

Relación a^*/b^* de los tomates

El tono, índice de color, diferencia de color y la relación a^*/b^* , entre otros, pueden ser utilizados objetivamente para dar una estimación real de la percepción (López-Camelo y Gómez 2004). En el Cuadro 3 se presenta la relación a^*/b^* . Las relaciones a^*/b^* que presentan valores negativos

Cuadro 3. Relación a^*/b^* de muestras de tomates almacenados a temperaturas de 28 y 5°C durante 24 días de maduración.

Días	Muestras de tomates					
	TA1	TA2	TA3	TR1	TR2	TR3
	Relación a^*/b^*					
1	-0,16	-0,12	-0,17	-0,20	-0,14	-0,26
2	-0,16	-0,07	-0,15	-0,19	-0,11	-0,25
3	-0,11	0,08	-0,07	-0,16	-0,08	-0,25
4	-0,12	0,18	-0,02	-0,13	-0,01	-0,25
5	-0,04	0,32	0,06	-0,13	0,01	-0,23
6	0,01	0,44	0,15	-0,10	0,06	-0,23
7	0,02	0,49	0,16	-0,08	0,12	-0,23
8	0,04	0,51	0,19	-0,03	0,20	-0,24
9	0,07	0,54	0,19	-0,07	0,18	-0,23
10	0,05	0,44	0,20	-0,04	0,28	-0,23
11	0,09	0,51	0,24	-0,04	0,27	-0,24
12	0,09	0,56	0,32	0,00	0,37	-0,23
13	0,05	0,45	0,24	0,00	0,42	-0,22
14	0,12	0,54	0,32	0,07	0,47	-0,22
15	0,15	0,61	0,34	0,04	0,46	-0,21
16	0,16	0,56	0,36	0,15	0,59	-0,21
17	0,23	0,68	0,39	0,11	0,53	-0,21
18	0,20	0,64	0,36	0,13	0,57	-0,23
19	0,27	0,71	0,44	0,18	0,62	-0,19
20	0,26	0,68	0,44	0,16	0,58	-0,20
21	0,24	0,64	0,43	0,21	0,65	-0,18
22	0,24	0,62	0,41	0,17	0,60	-0,21
23	0,19	0,61	0,36	0,18	0,63	-0,21
24	0,23	0,64	0,42	0,27	0,69	-0,17

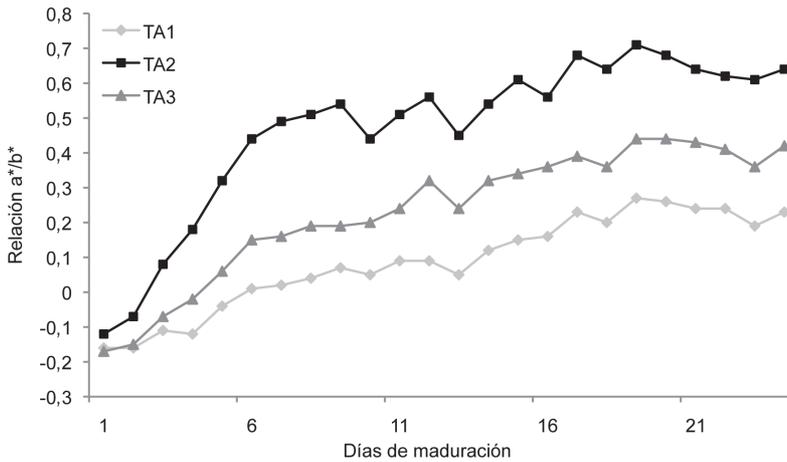
Los valores son promedios derivados de coordenadas en zona paraxial de 3 fotografías.

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

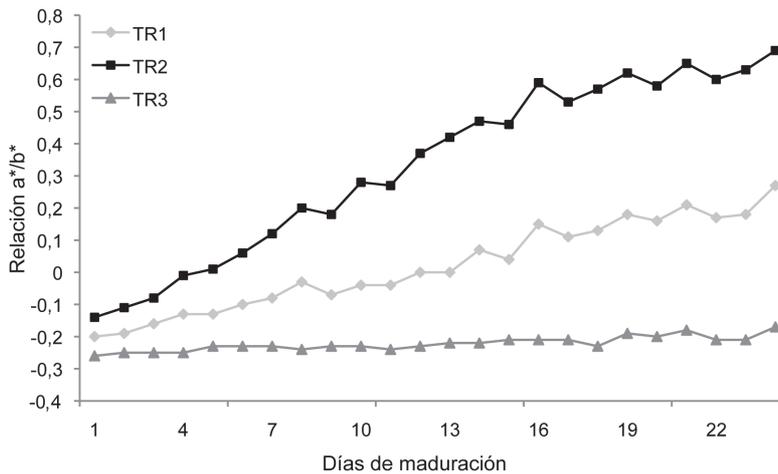
designan presencia del color verde (coordenada a^*) y la tendencia hacia valores positivos implica disminución de tal color e incremento de los colores amarillo (coordenada b^*) y rojo (coordenada a^*) propios de la maduración progresiva de los frutos. La evolución del color en el tiempo se ajustó, especialmente en las muestras almacenadas a temperatura ambiental, a un modelo de tipo sigmoideal (Figuras 2 y 3), que coincide

con lo presentado por otros autores para frutos almacenados en atmósferas normales (Tijskens y Evelo 1994) y controladas (Gómez y L.-Camelo 2002). Zapata et al. (2007) presentaron valores promedios de relación a^*/b^* para 4 etapas en la evolución del color de tomate redondo var. "Alma": crecimiento (recolectados verdes con diámetro ecuatorial de 4 a 7 cm)-0,49; este valor sugiere que todos los tomates recolectados en el



TA=tomate ambiental.

Fig. 2. Evolución del color en tomates almacenados a 28°C±1°C.



TR=tomate refrigerado.

Fig. 3. Evolución del color en tomates almacenados a 5°C±1°C.

presente trabajo (TA y TR) aunque verdes, estaban más maduros (Cuadro 3). Almacenamiento (a 12°C durante 14 días) 0,13; valor que pudiese corresponder a TA1 el día 14, TA2 días 3 al 4 y TA3 día 6. Maduración (a 20°C durante 5 días) 0,67; TA2 en los días 17 al 24. Comercialización (simulada a temperaturas de 30 a 32°C) 0,92; valor superior a los índices obtenidos el día 24 para todas las muestras estudiadas, de los cuales, los de TA2 y TA3 (0,64 y 0,42) son más coincidentes con los tabulados por López-Camelo y Gómez (2004) de 0,48 (tomate ligeramente rojo) y 0,59 (tomate rojo).

Lo expuesto indica que fue factible estudiar la maduración de tomates mediante valores de relación a^*/b^* calculados a partir de

coordenadas L^* , a^* y b^* obtenidas de imágenes procesadas en Photoshop®.

Los tomates y el espacio de color CIE- $L^*C^*h^\circ$

La variación genética en el color de los frutos en el género *Lycopersicum* es muy amplia (Lindhout 2005). En el espacio cromático cilíndrico CIE- $L^*C^*h^\circ$, valores de ángulo de tono (h°) de 0° a 90° indican una tendencia que va del color rojo paulatinamente que cambie por combinación con el amarillo hasta definirse este último. De 90° a 180° la tendencia es del amarillo al verde. En relación con el croma (C^*), para determinado ángulo, éste indicaría cuán puro o intenso es el color en una escala de 0 a 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Figura 4).

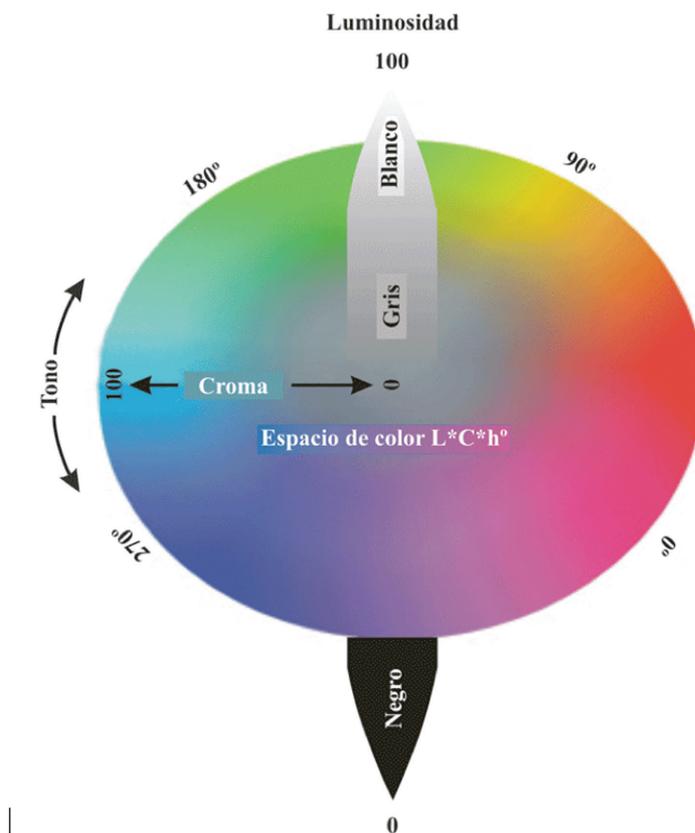


Fig. 4. Representación del espacio cromático cilíndrico CIE- $L^*C^*h^\circ$ (a veces identificado esférico). Imagen tomada y modificada de GQC (2010).

En el Cuadro 4, se presentan los valores de las coordenadas polares C^* y h° de todas las muestras. Por su parte a TA3, presentó ángulos de tonos de $99,83^\circ$ (el primer día) a $91,40^\circ$ (el cuarto día) lo que indica que paulatinamente cambió de verde a amarillo, y en relación con el croma, fue en promedio, alrededor de 79 (alta pureza de color). A partir del quinto día el ángulo fue de $86,47^\circ$ y para el día 24 de $66,99^\circ$ lo que indica cambios de coloración de amarillo a rojo y presenta poca variación en el croma. Padrón-Pereira (2009) presentó coordenadas rectangulares determinadas mediante SVC para epicarpio de tomate verde $L^*=70$, $a^*=-11$, $b^*=56$, de las que se deriva un $C^*=57$ y $h^\circ=101^\circ$ y para tomate rojo $L=50$, $a^*=55$, $b^*=50$, de las que se deriva un $C^*=74,33$ y $h^\circ=42,27^\circ$. Los ángulos de tono y los cromas son coincidentes con lo expuesto. Del trabajo de Zapata et al. (2007) por medio de un colorímetro Minolta® CR-300, se derivan ángulos de tono de $115,98^\circ$ (tomates recolectados verdes), seguidos de $82,71^\circ$; $56,26^\circ$ y $47,44^\circ$ (almacenamiento hasta comercialización simulada) que corresponden igual que en este trabajo, al proceso típico de

maduración de tomates. En relación con el croma los valores concordaron con las etapas de 22,69; 23,47; 35,11 y 28,42, sin embargo sugieren poca pureza de los colores. De otro trabajo presentado por Sánchez et al. (2008) en la determinación del color de 4 tipos de tomates (maduros): “Muchamiel”, “Murciano”, “Pera” y “Flor de Baladre”; con un colorímetro Minolta® CR-400, se derivaron ángulos de tono de $52,31^\circ$; $48,92^\circ$; $48,08^\circ$ y $40,94^\circ$; cromas 39,49; 38,76; 36,89 y 29,53; respectivamente para los 4 tipos. Los ángulos de tono concuerdan con lo expuesto y los cromas se asemejan a los de Zapata et al. (2007) en la etapa de comercialización simulada, no obstante presentan menor pureza en comparación a los de este trabajo. Mientras menos puro o saturado es un color, mas descolorido y grisáceo.

El tomate se caracteriza por un vibrante color rojo debido a la presencia de carotenoides y licopeno y el color puede ser medido con instrumentos que emplean filtros o dispositivos emisores de luz o más complejos, colorímetros triestímulos y espectrofotómetros (Barrett y Anthon 2008). Ambos instrumentos pueden

Cuadro 4. Coordenadas polares croma (C^*) y ángulo de tono (h°) de muestras de tomates almacenados a temperaturas de 28 y 5°C durante 24 días de maduración.

Días	Muestras											
	TA1		TA2		TA3		TR1		TR2		TR3	
	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°	C^*	h°
1	67,90	99,32	75,54	96,84	76,12	99,83	71,39	101,31	71,70	98,02	71,31	104,62
2	62,80	99,16	75,17	93,81	75,80	98,34	71,20	100,52	71,45	96,43	70,09	104,04
3	73,44	96,25	78,23	85,60	81,22	94,24	68,88	99,19	72,25	94,76	70,09	104,04
4	68,47	96,71	79,25	79,82	82,04	91,40	70,58	97,33	67,00	90,86	70,09	104,04
5	76,06	92,26	78,75	72,26	81,15	86,47	70,46	96,52	70,01	89,18	70,83	103,06
6	79,01	89,27	79,71	66,33	79,91	81,36	71,34	95,63	70,11	86,73	70,83	103,06
7	81,02	88,59	80,06	64,08	82,04	80,88	71,25	94,38	67,48	83,19	71,81	102,88
8	81,06	87,88	80,95	62,80	81,39	79,38	70,03	91,64	67,27	78,86	69,86	103,24
9	81,22	85,76	80,53	61,84	81,02	77,16	68,18	94,21	73,16	79,77	71,81	102,88
10	81,10	87,17	81,94	66,25	81,58	78,69	70,06	92,45	71,57	74,60	70,83	103,06
11	81,30	85,06	80,95	62,80	80,28	76,31	70,06	92,45	72,53	74,81	72,03	103,65
12	82,30	85,12	81,49	60,60	79,70	72,47	72,00	-	72,45	69,81	71,81	102,88
13	81,10	87,17	82,35	65,61	81,25	76,48	71,00	-	72,62	67,32	70,61	102,26
14	81,61	82,96	81,88	67,95	79,70	72,47	71,18	85,97	72,92	64,84	69,63	102,44
15	81,88	81,57	83,01	58,80	80,32	71,11	72,06	87,61	73,82	65,17	71,59	102,09
16	81,05	80,77	82,37	60,95	80,65	70,44	73,82	81,43	76,66	59,42	69,43	101,63
17	81,02	77,16	82,10	55,92	79,48	68,60	74,43	83,83	76,94	62,10	72,57	101,93
18	81,58	78,69	81,34	57,48	78,77	69,95	75,66	82,41	74,79	60,35	72,78	102,70
19	80,78	74,93	83,24	54,78	78,79	66,04	74,15	79,90	76,32	58,39	70,21	100,67
20	80,52	75,62	82,10	55,92	78,79	66,04	74,97	80,79	77,52	59,80	71,39	101,31
21	80,28	76,31	81,84	57,48	78,39	66,71	77,67	78,11	78,77	56,92	72,18	100,38
22	81,25	76,48	81,30	58,07	78,92	67,66	77,10	80,29	78,03	59,16	73,55	101,77
23	81,39	79,38	82,15	58,44	78,77	69,95	77,28	79,56	76,85	57,76	71,59	102,09
24	81,02	77,16	81,34	57,48	79,31	66,99	76,66	74,88	79,06	55,30	71,02	99,73

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a $28^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$.

determinar el color de una muestra con resultados distintos, aunque los más fiables son los espectrofotómetros. En los colorímetros tanto el iluminante, como las funciones de igualación de color, se imitan mediante filtros o plantillas y entre diferentes colorímetros los resultados también suelen diferir (Artigas 2002). Algunos de estos instrumentos han sido recalificados luego de la inclusión de nuevas ecuaciones para su aprobación (Barrett y Anthon 2008).

El C^* y h° definidos mediante cálculos y procesamiento de imágenes con el SVC permitió estudiar los cambios de coloración durante la maduración del tomate.

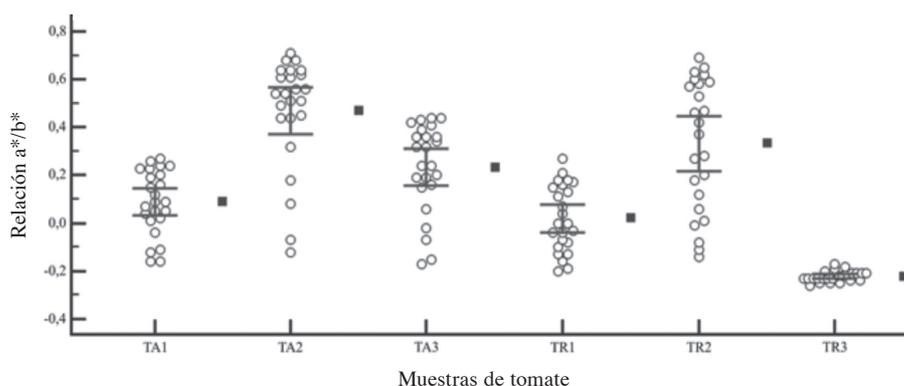
Análisis estadístico

Los valores de las curvas de las Figuras 2 y 3 se comparan en la Figura 5. Cuando la comparación se realizó entre las 3 muestras estudiadas a temperatura ambiental hubo diferencias significativas ($p=0,0001$) por lo que el comportamiento en la evolución del color de las muestras fue distinto, y lo mismo ocurrió con las 3 muestras en refrigeración ($p=0,0001$). En la comparación de los valores de las 6 curvas, se determinaron

diferencias significativas ($p<0,05$; Bonferroni corregido). Entre TA1 y TR1 aunque diferentes significativamente ($p=0,0001$) la diferencia entre las medias (0,0675) y el error estándar (0,00909) fue menor; seguidos de TA3 y TR2 ($p=0,0025$) con un diferencia de medias de 0,0979 aunque TA3 alcanzó menor relación a^*/b^* . La mayor diferencia entre las relaciones a^*/b^* ($p=0,0001$) fue entre TA2 y TR3 (0,691).

Las causas que generan estas variaciones obedecen a diversos factores externos e internos. Principalmente, la pigmentación en tomates es controlada por muchos genes, los cuales afectan el color mediante el control de las cantidades y/o tipos de pigmentos producidos, y fuentes de variación genotipo x ambiente han sido cuantificadas, identificándose líneas de tomates que difieren en color bajo condiciones medioambientales relevantes horticulturalmente (Sacks y Francis 2001).

Las variaciones fueron dependientes de procesos metabólicos involucrados en la maduración individual de cada fruto y no descalifican el procedimiento ensayado ya que permitió su estudio.



Los cubos representan la media y las barras el error estándar de valores promedios derivados de coordenadas en zona paraxial de 3 fotografías, en un intervalo de confianza al 95%.

TA=tomate ambiental: muestra de tomate almacenado a $28^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

TR=tomate refrigerado: muestra de tomate almacenado a $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Fig. 5. Comparación de las curvas de evolución del color de las muestras de tomate.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que el procedimiento ensayado con la utilización de Sistema de Visión Computarizada permitió estudiar las variaciones de color mediante los espacios de color CIE-L*a*b*, CIE-L*C*h° y la relación a*/b* en la maduración de tomates a partir de imágenes. Estadísticamente, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre todas las muestras, en los cambios de coloración.

AGRADECIMIENTO

A la Asociación RVCTA, el apoyo financiero brindado para el desarrollo del trabajo.

LITERATURA CITADA

- AMD. 2010. Advanced Micro Devices. Cumplimiento de Catalyst® Control Center con el artículo 508. Catalyst® Control Center VPAT, Sección 1194.21, Aplicaciones de software y sistemas operativos. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://ati.amd.com/sp/products/catalystcontrolcenter/vpat.html>.
- ARTÉS-CALERO F., ARTÉS-HERNÁNDEZ F. 2004a. Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones, Capítulo 10, pp. 109-120. In: Tomates. Producción y comercio. Ediciones de Horticultura S.L. Reus, España. ISBN 84-87729-48-7.
- ARTÉS-CALERO F., ARTÉS-HERNÁNDEZ F. 2004b. Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. Alimentación, Equipos y Tecnología 23(186):56-66.
- ARTIGAS J.M. 2002. Medida de color, pp. 131. In: Fundamentos de colorimetría. Universitat de València, Saragossa, Espanya.
- ASI. 2007. Adobe Systems Incorporated. Adobe presenta dos ediciones de Photoshop CS3. Consultado el 18 de octubre del 2007. Disponible en http://www.adobe.com/la/aboutadobe/pressroom/pr/mar2007/CS3_Photoshop_S.pdf.
- BARRETT D.M., ANTHON G.E. 2008. Color quality of tomato products, pp. 131-139. In: Color quality of fresh and processed foods. American Chemical Society, Washington, D. C., USA.
- BREWER M., RODRIGUEZ G., GONZALO M.J., ANDERSON C., LANG L., SULLIVAN D., DUJMOVIC N., FUJIMURO K., GRAY S., Van Der KNAAP E. 2008. Tomato Analyzer User Manual Version 2.2.0.0. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://www.oardc.ohio-state.edu/vanderknaap/Tomato%20Analyzer%20User%20Manual%20Version%202.2.0.0.pdf>.
- CLAYBON K.T., BARRINGER S.A. 2002. Consumer acceptability of color in processed tomato products by African-American, Latino and prototypical consumers. Journal of Food Quality 25(6):487-498.
- CMDF. 2010. Centro Municipal de Fotografía. Barra de calibración del monitor. División Comunicación de la Intendencia Municipal de Montevideo, Uruguay. Consultado el 18 de octubre del 2010. Disponible en <http://www.montevideo.gub.uy/fotografia/calibra.htm>.
- COVENIN. 1983. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Tomates. Norma Venezolana COVENIN 165:83. Caracas, Venezuela.
- DARRIGUES A., HALL J., DUJMOVIC N., GRAY S., Van Der KNAAP E., FRANCIS D. 2007. Tomato Analyzer-color test: user manual (v10.2007). Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://www.oardc.ohio-state.edu/vanderknaap/Color%20Test%20User%20Manual.pdf>.
- DARRIGUES A., HALL J., Van Der KNAAP E., FRANCIS D.M., DUJMOVIC N., GRAY S. 2008. Tomato Analyzer-color test: a new tool for efficient digital phenotyping. Journal of the American Society for Horticultural Science 133(4):579-586.
- GÓMEZ P.A., CAMELO A.F. L. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Horticultura Brasileira 20(1):38-43.
- GONZALO M.J., BREWER M.T., ANDERSON C., SULLIVAN D., GRAY S., Van Der KNAAP E. 2009. Tomato fruit shape analysis using morphometric and morphology attributes implemented in tomato analyzer software program. Journal of the American Society for Horticultural Science 134(1):77-87.
- GQC. 2010. Graphic Quality Consultancy. Introduction to colour spaces - CIE Lab & LCH. Berkhamsted, Hertfordshire, United Kingdom. Consultado el 10 de setiembre del 2011. Disponible en http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.html.
- HUNTERLAB. 2006. ColorFlex Tomato Color Meter user's guide. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://www.hunterlab.com/TrainingSupport/UserManuals/ColorFlexTomatoUserGuide>.
- INTELMANN D., JAROS D., ROHM H. 2005. Identification of color optima of commercial tomato catsup. European Food Research and Technology 221(5):662-666.
- LINDHOUT P. 2005. Genetics and Breeding, pp. 22-23. In: Tomatoes. CABI Publishing, United Kingdom.
- LÓPEZ-CAMELO A.L., GÓMEZ P., ARTÉS F. 2003. Use of a* and b* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid

- biosynthesis during postharvest tomato ripening. *Acta Horticulturae* 599:305-308.
- LÓPEZ-CAMELO A.F., GÓMEZ P.A. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22(3):534-537.
- LOUREIRO-LINO A.C., SANCHES J., DAL FABBRO I.M. 2008. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. *Bragantia* 67(3):785-789.
- PADRÓN-PEREIRA 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* 33(2):283-301.
- PANASONIC. 2010. Instrucciones de funcionamiento para características avanzadas. Cámara digital. N° de modelo DMC-FS42, DMC-FS4. Consultado el 25 de abril del 2010. Disponible en <http://dlc.panasonic-europe-service.com/EUDocs/GetDoc.aspx?did=172324&fmt=PDF&lang=es&src=3>.
- RIQUELME-BALLESTEROS F. 1995. Valoración del color en los frutos, pp. 593-595. In: *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa, España.
- RODNEY A. 2005. Color management for photographers. *Hands on techniques for Photoshop users*. Elsevier, Inc. - Focal Press, Oxford, United Kingdom. pp. 23.
- SACKS E.J., FRANCIS D.M. 2001. Genetic and environmental variation for Tomato flesh color in a population of modern breeding lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126(2):221-226.
- SANCHEZ E., CATALÁ M.S., MORALES M.A., GOMARIZ J., EGEA-SANCHEZ J.M., COSTA J. 2008. Caracteres de calidad de diferentes tipos de tomates murcianos. In: VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. 16-20 Septiembre. Bullas, Murcia, España.
- SENG W.C., MIRISAE S.H. 2009. A new method for fruits recognition system. *Malaysian National Computer Confederation Transactions on Information and Communications Technology*. 1(1). Consultado el 16 de junio del 2010. Disponible en: <http://www.mncc.com.my/traNx/Woo%20CS%20FruitRecognitionjournal.pdf>.
- SHEWFELT A.L., HALPIN J.E. 1967. The effect of light quality on the rate of tomato color development. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 91:561-565.
- SHEWFELT R.L., THAI C.N., DAVIS J.W. 1988. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *Journal of Food Science* 53(5):1433-1437.
- TIJSKENS L.M., EVELO R.G. 1994. Modelling color of tomatoes during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 4:85-98.
- USDA. 1997. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. United States standards for grades of fresh tomatoes. Consultado el 21 de agosto del 2011. Disponible en <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELP RDC5050331>.
- ZAPATA L., GERARD L., DAVIES C., OLIVA L., SCHVAB M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencia, Docencia y Tecnología XVIII*(34):207-226.