

# Procedimiento para obtener modelos lineales de cinética de color en frutas

Israel Jesús Orlando-Guerrero<sup>1</sup>, Ulises Ruiz<sup>2</sup>, Juan Manuel Loeza-Corte<sup>1</sup>,  
Zulma Janet Hernández-Paxtián<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de la Cañada,  
Instituto de Tecnología de los Alimentos,  
México

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica,  
Departamento de Óptica, Puebla,  
México

iorlando@unca.edu.mx, manuel\_loeza@unca.edu.mx, uruiz@inaoep.mx,  
jpaxtian@unca.edu.mx

**Resumen.** Se presenta una metodología experimental para obtener modelos lineales que predicen la velocidad de cambio de color utilizando como modelo el proceso de maduración del tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L). Se observó que el cambio de color de verde-amarillo-rojo, solo dependía de las componentes roja y verde en su imagen digital, y que ambas componentes, presentaban una correlación lineal con el tiempo, mientras que la componente azul, permanecía constante. Se presentan imágenes digitales y sus histogramas que demuestran el comportamiento de variabilidad de las componentes durante un lapso de quince días. Con base a los modelos lineales obtenidos, se estimó una velocidad de cambio de color de trece y siete píxeles por día, para las componentes roja y verde respectivamente.

**Palabras clave.** Cinética del color, medida y análisis del color, colorimetría, CIELAB, RGB.

## Procedure to Obtain Linear Models of Kinetics of Colors in Fruits

**Abstract.** An experimental methodology is presented to obtain linear models that predict the speed of color change using the ripening process of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L) as a model. It was observed that the green-yellow-red color change only depended on the red and green components in their digital image, and that both components were linearly correlated with time, while the blue component remained constant. Digital images and their histograms are presented that demonstrate the behavior of variability of the

components during a period of fifteen days. Based on the linear models obtained, a color change rate of thirteen and seven pixels per day was estimated for the red and green components, respectively.

**Keywords.** Color kinetics, color measurement and analysis, colorimetry, CIELAB, RGB.

## 1. Introducción

El color en frutas es de interés para productores agroindustriales, este es el primer atributo por el cual se juzga a una fruta a la hora comprarla y posteriormente se valora el sabor y textura, esta propiedad óptica depende de muchas variables externas e internas a la fruta: Variables externas que afectan al color son la longitud de onda con que se ilumine, y su ángulo de iluminación, por mencionar algunas, mientras que las variables internas que modifican el color del fruto, en función del tiempo, son temperatura, altitud y el proceso agronómico por el que fue nutrido el fruto, por mencionar algunos [1,2]. Un ejemplo muy claro de cambio de color en función del tiempo sucede cuando el fruto está en el proceso de maduración.

Este cambio de color depende de cambios químicos bioquímicos, microbianos y físicos que ocurren durante el crecimiento del fruto. Por lo anterior, para los productores es de suma importancia estimar el cambio de color o velocidad

de cambio de color en función del tiempo, ya que los modelos matemáticos de dicho fenómeno cinético son empleados para estimar el tiempo en el que el fruto estará maduro, el tiempo de corte y por ende su vida de anaquel [3,4].

En muchas ocasiones, para caracterizar el color de las frutas, es decir, comparar un color con un color estándar, se emplean los sistemas de color o los llamados espacios de color, fundamentados por la comisión internacional de iluminación (CIE), la cual es la autoridad internacional que rige los modelos matemáticos para la descripción del color [8,16], estos modelos sustituyen al observador humano, por una fórmula matemática abstracta que describe cómo se representan los colores. Para lo anterior algunos modelos se basa en las componentes numéricas de los valores triestímulos, es decir los compontes roja, verde y azul que forma al color aditivamente [15, 14].

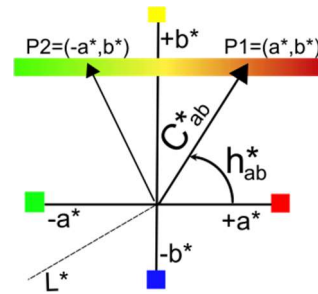
### 1.1. Cinética del color empleado los modelos CIELAB y RGB

Parte fundamental de esta investigación es obtener un modelo de primer orden que describa los cambios de color en función del tiempo, con el objetivo de estimar el tiempo en el que tenemos cierta tonalidad. Para lo anterior, parte de la propuesta, se basa en el modelo CIELAB. En este sistema los colores rojo, verde, azul y amarillo se representan en un plano cartesiano. El conjunto de tonalidades  $h^*_{ab}$  lo dicta el ángulo del vector generado por las componentes  $a^*$  (componente +rojo y -verde) y  $b^*$  (componente +amarillo y - azul), la amplitud de este vector es el croma  $C^*_{ab}$ , mientras que  $L^*$  es la luminancia. Tanto  $C^*_{ab}$  como  $h^*_{ab}$  se calculan empleando las siguientes ecuaciones [5, 9]:

$$C^*_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}, \quad (1)$$

$$h^*_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right). \quad (2)$$

Una representación de CIELAB se muestra en la Fig. 1. Como puede observarse, si  $h^*_{ab}$  varía de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  se generan tonalidades que cambian de un color verde-amarillo-rojo, parecida a la cinética



**Fig. 1.** Modelo CIELAB que muestra las tonalidades verde-amarillo-rojo que presenta el jitomate cherry en su proceso de maduración

de maduración del jitomate cherry [6]. Mientras que en el rango de  $180^\circ$  a  $360^\circ$  se generan tonalidades que van desde un color verde-azul- ojo.

Dos puntos (P1 y P2) son marcados en la Fig. 1, con el objetivo de mostrar el abanico de tonalidades generadas al variar  $h^*_{ab}$  de  $0$  a  $180^\circ$ , para dos coordenadas diferentes.

La franja coloreada indica las posibles tonalidades al variar  $h^*_{ab}$  de verde-amarillo-rojo [9.10]. Una tonalidad puede ser generada empleando el modelo RGB el cual se basa en la adición de los colores primarios, esto se realiza de la siguiente forma:

$$C = Nr + Ng + Nb, \quad (3)$$

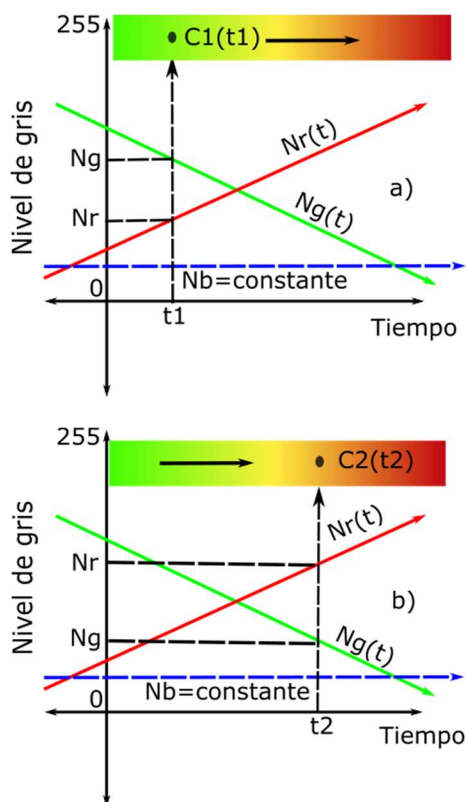
dónde: C representa una tonalidad, Nr, Ng y Nb es el valor en una escala de 0 a 255 (llamada escala de nivel de gris) para las componentes roja verde y azul.

Debido al interés de la cinética del color en el proceso de maduración del jitomate cherry, se considera solo un conjunto de tonalidades en el rango verde-amarillo-rojo, las cuales son obtenida al variar Nr de 0-255, Ng de 255-0 y Nb con un valor constante, lo anterior genera una función dependiente del tiempo C(t), por lo que la ecuación tres resulta ser ahora:

$$C(t) = Nr(t) + Ng(t) + Nb. \quad (4)$$

El comportamiento de la ecuación anterior para dos tonalidades C1(t1) y C2(t2) se muestra en la Figura 2.

La figura 2a representa un evento donde tenemos una tonalidad verdosa, Ng > Nr y G tiene un valor constante menor a ambos, mientras que



**Fig. 2.** Comportamiento lineal a lo largo del tiempo de  $Nr(t)$  y  $Ng(t)$  para dos tonalidades diferentes, a)  $C1(t1)$  y b)  $C2(t2)$ , mientras que  $Nb$  es constante

en la figura 2b representa otro evento donde tenemos una tonalidad rojiza ahora  $Ng < Nr$  y  $G$  permanece sin cambios.

La flecha punteada y el punto en las figuras indican la tonalidad obtenida para dos tiempos distintos,  $t1$  y  $t2$ , mientras que la flecha sobre la barra de colores indica que el cambio de color es de izquierda a derecha.

En la figura anterior también se observa que  $Nr$  y  $Ng$  fueron variados de forma lineal por lo que  $C(t)$  hora resulta ser la suma de dos funciones lineales más un constante  $Nb$  quedando la ecuación 4 como:

$$C(t) = (m_1t + b_1) + (-m_2t + b_2) + Nb. \quad (5)$$

dónde:  $m1$  y  $m2$  representan la velocidad de cambio de color (pixel/tiempo),  $b1$  y  $b2$  las intersecciones en el eje nivel de gris para  $Nr(t)$  y

$Ng(t)$ , respectivamente, mientras que  $Nb$  es un valor constante.

## 1.2. Velocidad de cambio de color

$C(t)$  es una función compuesta, de la cual se pueden extraer dos funciones lineales generando un sistema de ecuaciones lineales como sigue:

$$Nr(t) = m_1t + b_1, \quad (6)$$

$$Ng(t) = -m_2t + b_2, \quad (7)$$

Despejando  $t$  en el sistema e igualando (6) y (7), se obtiene:

$$t = \frac{Nr - b_1}{m_1} = \frac{Ng - b_2}{-m_2}. \quad (8)$$

Del sistema (6) y (7) y la ecuación (8) pueden obtenerse las siguientes observaciones con respecto a la velocidad de cambio del color:

1. El sistema lineal tiene una única solución ya que  $m_1 = 1/-m_2$ . ( $m$  tienen unidades de pixel/tiempo).
2. Para  $Nr(t)$  la velocidad de cambio es en aumento y para  $Ng(t)$  la velocidad de cambio es en descenso, lo que en combinación generan un  $C(t)$  que va de un rango de verde-amarillo-azul (ver Figura 2).

Por otro lado, ambas ecuaciones predicen lo siguiente:

- a) La velocidad de cambio de color de las componentes roja y azul. La cual estada dada por  $m_1$  y  $-m_2$ .
- b) La tonalidad en función del tiempo. Es decir, empleado las ecuaciones (6) y (7), se puede hallar  $Nr(t)$  y  $Ng(t)$  para un tiempo fijo y considerando  $Nb$  constante o igual a cero.
- c) Tiempo necesario para obtener una tonalidad deseada (color estándar).
- d) Para lo anterior se deben proporcionar  $Nr$  o  $Ng$  en solo uno de los términos de la ecuación (8).

Las ecuaciones (6, 7, 8) responden las preguntas iniciales de la investigación: Predecir la velocidad de cambio de color, la tonalidad obtenida en cierto tiempo y el tiempo necesario en obtener un color deseado en base a un estándar

de color deseado, para la cinética de cambio de color del tomate cherry [11,12].

Por lo anterior el objetivo de esta investigación es proponer un procedimiento para generar modelos lineales, que predigan el comportamiento del cambio del color en función del tiempo, esta proporción intenta ser un procedimiento estándar para frutas que cambian en el rango de tonalidades verde-amarillo-rojo.

## 2. Metodología

### 2.1. Experimento y sistema de captura

Para comprobar la teoría expuesta, sobre la cinética de color, se realizaron cuatro experimentos, por separado. Para cada experimento se seleccionó, de forma cualitativa un jitomate cherry, considerando tamaño y tonalidad verdosa aproximadamente igual.

Estos tomates se dejaron madurar durante quince días, para observar su cambio de color. Cada 24 horas (4 pm de cada día), se capturaron imágenes promedio (treinta en promedio por imagen) de los tomates cherry para los cuatro experimentos es decir se obtuvieron cuatro imágenes promedio por día.

Para el sistema de captura se empleó un microscopio óptico invertido (modelo CKX41, marca Olympus) en su configuración de reflexión, cada tomate fue colocado en la platina del microscopio. Para evitar fluctuaciones de intensidad, las imágenes fueron capturadas en oscuridad, esto se logró colocando un recipiente sobre el objeto.

En esta investigación, la utilización del microscopio invertido se fundamentó en los siguientes puntos:

1. La iluminación fue uniforme, de tipo kohler para todas las imágenes capturadas.
2. La intensidad no varió de medición a medición. Esta fue establecida con la perilla de iluminación.
3. El área de captura fue constante. Para lo anterior se empleó un objetivo de 4x con una apertura numérica de 0.13. con lo que se obtuvo un área de observación de 2mmX2mm aproximadamente.



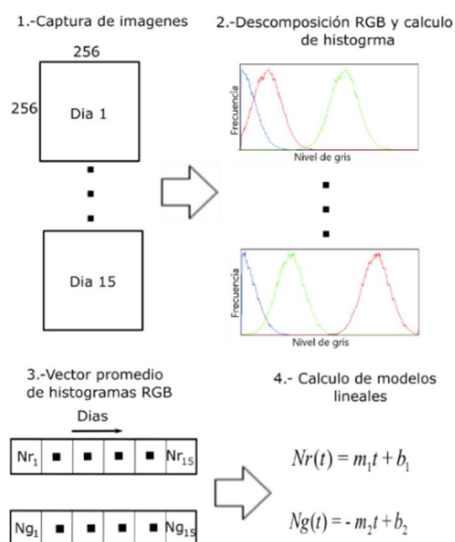
**Fig. 3.** Sistema de captura para imágenes del jitomate cherry en el proceso de maduración

4. Cabe aclarar que la función del objetivo de microscopio, para este experimento no es enfocar el objeto, sino solo capturar el color, por lo que se estableció una distancia de 1.5 cm del objetivo al jitomate.
5. Estabilidad en la captura de imágenes. El microscopio cuenta con un soporte fijo para la cámara, la cual fue una Infinity 1 marca Lumera, con 1280 x 1024 pixeles, un tamaño de pixel 5.2 $\mu$ m, y un sensor CMOS.

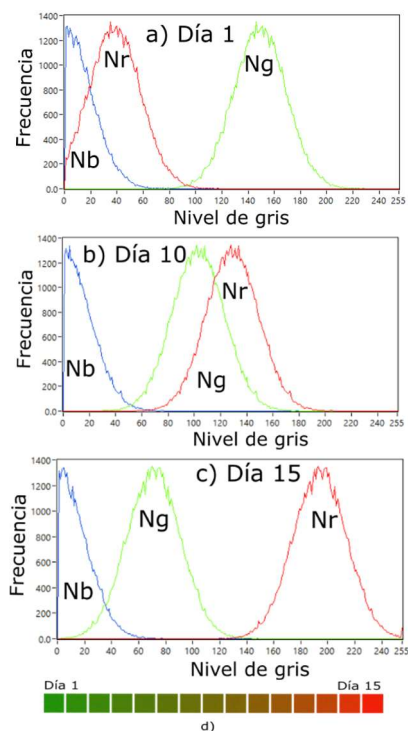
### 2.2. Procedimiento para obtener $N_r(t)$ y $N_g(t)$

La metodología para la obtención modelos de primer orden que describe los cambios de color en función del tiempo de imágenes capturadas durante el proceso de maduración del tomate cherry, se muestra en la fig.4, esta constó de cuatro pasos, los cuales se describen a continuación.

Es necesario indicar que esta metodología fue la misma para las cuatro repeticiones.



**Fig. 4.** Metodología para obtener modelos de primer orden de  $Nr(t)$  y  $Nb(t)$



**Fig. 5.** Variabilidad de las componentes roja y verde de la imagen digital a lo largo del tiempo. a), b) y c) histogramas de la imagen digital correspondiente a los días uno, diez y quince respectivamente. d) Imágenes digitales del cambio de color en función del tiempo durante los diez días

1. Captura de imágenes. Cada 24 horas se capturaron imágenes promedio (treinta en promedio por imagen) de los tomates cherry para los cuatro experimentos distintos es decir cuatro imágenes por día.

El primer día fue para frutos de color verde, mientras que el día quince corresponde a un fruto color rojizo. Cada imagen fue recortada a un tamaño de 256X256 píxeles, para su posterior procesamiento.

2. Descoposición RGB y cálculo de histograma. Imágenes RGB son obtenidas para cada imagen, y posteriormente se calcula su histograma.

El valor medio (pico) de los histogramas representa el valor promedio el cual es empleado para observar el cambio que experimentan las componentes RGB en función del tiempo.

3. Vector promedio de histogramas RGB. Los valores promedio de los histogramas, son almacenado en dos vectores unidimensionales, llamados  $Nr$  y  $Ng$ , los cuales contienen los quince valores correspondientes a los quince días de medición.

Debido a que  $Nb$  permanece constante, se calcula el promedio de este valor, para ser empleado en cálculos de predicción del color.

4. Modelo lineal. Con estos vectores se realiza una correlación lineal entre  $Nr$ ,  $Ng$  y el tiempo, lo cual genera las pendientes e intersección, que en conjunto expresan los modelos predictivos de  $Nr(t)$  y  $Ng(t)$  (ver ecuaciones (6) y (7)).

Por otro lado, no se considera  $Nb$  ya que este es constante. Cabe aclarar que todo el procesamiento de las imágenes digitales fue realizado empleando el software Labview en su versión 2015.

### 3. Resultados

El cambio de color durante el proceso de maduración del tomate Cherry se evaluó por cuadruplicado, considerando la independencia de las mediciones, y utilizando diferentes unidades experimentales. Los resultados concuerdan con la parte teoría explicada anteriormente y son los siguientes.



### 3.1. Histograma e imágenes de la cinética del color

La variabilidad de las componentes roja y verde de las imágenes digitales capturadas fueron comprobadas por medio del cálculo de sus histogramas a lo largo del tiempo, lo anterior se puede observar en la figura 5, en la que se observa que para el día uno  $N_g > N_r$  lo que corresponde a una tonalidad verdosa (ver lado izquierdo), mientras que para el día diez se observa la transición de cambio de color verdoso a amarillento es decir  $N_g$  y  $N_r$  son próximos entre sí. Mientras que para el día quince  $N_r > N_g$  lo que representa una tonalidad rojiza.

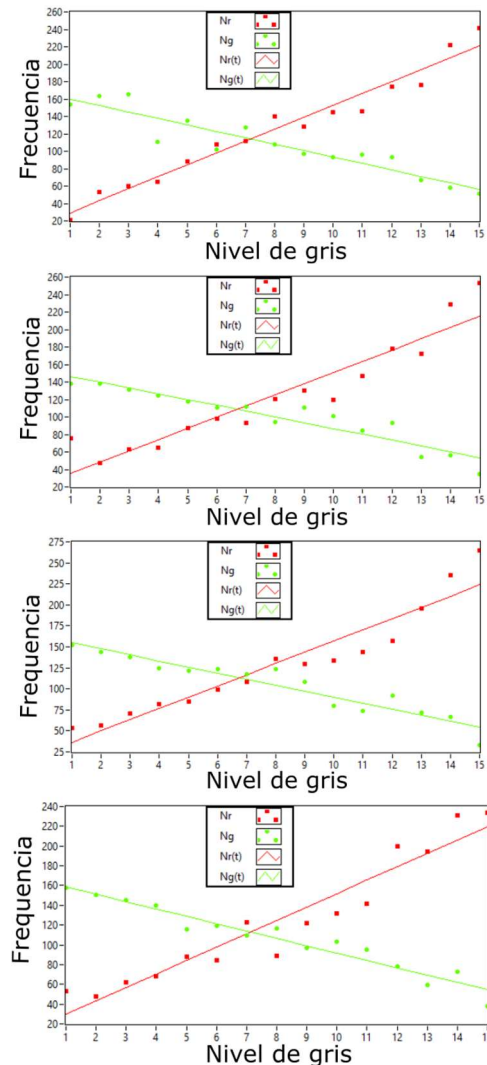
En todos los histogramas se observa que  $N_b$  permanece constante con un valor medio durante los diez días de  $11.93 \pm 0.05$ . Las imágenes de lado izquierdo muestran las imágenes promedio capturadas durante el proceso de maduración.

### 3.2. Modelos lineales

En la figura 6 se muestra gráficamente los resultados experimentales para los cuatro experimentos, en estas graficas  $N_r$  y  $N_g$  representan los valores promedios de las componentes roja y azul de las imágenes capturadas, a lo largo del tiempo. Mientras que las líneas solidas presentan los modelos lineales de  $N_r(t)$  y  $N_g(t)$ .

En todas ellas se observa un comportamiento descendente para la componente verde y un comportamiento ascendente para componente roja, conforme aumenta el tiempo. También se observa un punto de intersección de  $N_r(t)$  y  $N_g(t)$ , el cual marca el cambio hacia colores rojizos. Por ejemplo, para el experimento dos  $N_r$  y  $N_g$  inician con los valores 75.75 y 138.29 (color verde en el tomate cherry), mientras que el punto donde se intersectan los modelos es aproximadamente a los siete días, y para el ultimo día  $N_r$  y  $N_g$  termina con valores 253.55 y 34.39 (color rojizo en el tomate cherry). Se consideró un valor promedio para  $N_g = 11.93 \pm 0.05$ , en una escala de gris, pero debido a que las imágenes digitales emplean valores discretos, se optó por un valor de 12.

Los cuatro modelos lineales obtenidos para los experimentos se resumen en la tabla uno. De estos datos se obtuvo una velocidad media de



**Fig. 6.** Comportamiento ascendente, descendente de  $N_r$ ,  $N_g$ , para los cuatro experimentos

cambio de color para  $N_r(t)$  de 13.36 mientras que para  $N_g(t)$  fue de  $-7.145$ . Es decir, hay un cambio de color en la componente roja y verde de trece y siete pixeles por día respectivamente.

Por otro lado,  $r^2$  vario de 0.91 a 0.96 para  $N_r(t)$ , y para  $N_g(t)$  vario de 0.87 a 0.94, lo cual demuestra poca variabilidad en los modelos lineales.

El mejor modelo encontrado es el correspondiente al experimento cuatro, en donde los datos experimentales se asemejan más a un modelo lineal.

### 3.3. Ejemplo de predicción

La predicción de una cierta tonalidad, en un determinado tiempo, es uno de los objetivos esenciales en esta investigación, para comprobar la utilidad, se fijó un tiempo de diez días, en todos los modelos (ver tabla uno), y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla dos, en promedio se obtuvo un nivel de gris para rojo de  $153.14 \pm 2.66$  mientras que para verde fue de  $90.53 \pm 2.75$  en una escala de nivel de gris, el valor para el color azul se consideró constante para los cuatro modelos y fue de  $11.93 \pm 0.05$ , si se consideran valores enteros las componentes que generan el color para este tiempo son roja=153, verde=91 y azul=12, esta mezcla de colores genera la tonalidad que se muestra en la figura 7.

Por otro lado, estos modelos también fueron empleados para estimar el tiempo de obtención de una tonalidad determinada, como un ejemplo, se propuso un color estándar con  $Nr=144$   $Ng=93$ , los resultados de la estimación del tiempo para esta tonalidad, fue en promedio de  $9.32 \pm 0.19$  y  $9.64 \pm 0.41$  para  $Nr(t)$  y  $Ng(t)$  respectivamente. Se puede decir, que en promedio para obtener la tonalidad establecida será de diez días (Tabla 3).

### 4. Conclusiones

La metodología para predecir niveles de gris (tiempo fijo) y el tiempo en obtener una tonalidad estándar ( $Nr$  y  $Ng$  constantes), por el cambio de color que sufría el tomate cherry durante diez días, fue expuesta en este artículo.

Esta metodología se basada en la teoría de modelos del color y en las ecuaciones 6 y 7, con las cuales se demostró que el color del jitomate cherry en función del tiempo, depende solo de las componentes roja y verde, mientras que la componente azul permanece constante.

Además, se estableció una correlación lineal entre  $Nr(t)$ ,  $Ng(t)$  y el tiempo, los resultados mostraron que los modelos lineales obtuvieron un valor de regresión alto, por lo que la metodología concuerda con la teoría expuesta.

Los ejemplos de aplicación mostraron que los modelos son útiles para predecir niveles de gris (tiempo fijo) con una incertidumbre pequeña de

**Tabla 1.** Modelos lineales  $Nr(t)$ ,  $Ng(t)$

E	$Nr(t)/ r^2$	$Ng(t)/ r^2$
1	$13.72t+15.52$ 0.96	$-7.40t+167.23$ 0.87
2	$12.81t+22.85$ 0.89	$-6.62t+152.95$ 0.89
3	$13.37t+23.08$ 0.91	$-7.12t+161.71$ 0.90
4	$13.57t+16.20$ 0.92	$-7.44t+166.04$ 0.94

**Tabla 2.** Tonalidades obtenidas para un tiempo de diez días  $Nb=11.93 \pm 0.05$

E	$Nr(10)$	$Ng(10)$
1	152.72	93.23
2	150.95	86.75
3	156.98	90.51
4	151.90	91.64
Promedio	$153.14 \pm 2.66$	$90.53 \pm 2.75$



**Fig. 7.** Color obtenido, con los modelos, para un tiempo de diez días

**Tabla 3.** Tiempo de predicción para obtener una tonalidad de  $Nr=144$   $Ng=93$

E	Tiempo $Nr(t)$	Tiempo $Ng(t)$
1	9.36	10.03
2	9.46	9.06
3	9.03	9.65
4	9.42	9.82
Promedio	$9.32 \pm 0.19$	$9.64 \pm 0.41$

$\pm 2.66$  y  $\pm 2.75$  para las componentes roja y verde (en una escala de gris).

Asimismo, el tiempo en obtener una tonalidad estándar fue más precisa con una incertidumbre de  $\pm 0.19$  y  $\pm 0.41$  es decir 9.32 y 9.64 horas para las componente roja y verde, respectivamente.

Por otro lado, la velocidad de cambio de color fue de 13 y 8 pixeles por día, para las ambas componentes, esta medida es de importancia ya que dicta el cambio del color en función del tiempo.

Esta medida puede ser empleada por productores agroindustriales y la industria alimentaria para estimar el color en otros frutos, en función del tiempo, ya que solo se utilizó el jitomate cherry como modelo para comprobar la teoría de la dinámica del cambio de color en frutos.

## Referencias

- Bhargava, A., Bansal, A. (2018).** Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *Computer and Information Sciences*, Vol. 33, No. 4, pp. 243–257. DOI:10.1016/j.jksuci.2018.06.002.
- Vijayarekha, K. (2008).** Multivariate image analysis for defect identification of apple fruit image. *Ann. Conf. IEEE Ind. Electr.*, pp. 1499–1503. DOI: 10.1109/IECON.2008.4758175.
- Bayarri, S., Calvo, C., Costell, E., Durán, L. (2001).** Influence of color on perception of sweetness and fruit flavor of fruit drinks. *Food Science and Technology International*, Vol. 7, No. 5, pp. 399. DOI: 10.1106/JJWN-FFRQ-JBMC-LQ5R.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., Al-Said, F. A. J. (2013).** Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food Bioprocess Technol*, Vol. 6, pp. 36–60. DOI: 10.1007/s11947-012-0867-9.
- Malacara, D. (2011).** Color vision and colorimetry theory and applications. Second Edition, SPIE Press, Bellingham.
- Almela, L., Javaloy, S., Fernández-López, J. A., López-Roca, J. M. (1995).** Comparison between the tristimulus measurements  $Y_{xy}$  and  $L^* a^* b^*$  to evaluate the colour of young red wines. *Food Chemistry*, Vol. 53, No. 3, pp. 321–327. DOI:10.1016/0308-8146(95)93940-S.
- Tijskens, L., Unuk, T., Tojnko, S., Hribar, J., Simcic, M. (2011).** Colour development in the apple orchard. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, Vol. 19, No. 1, pp. 113–121.
- Ahmed, J., Kaur, A., Shivhare, U. (2002).** Color degradation kinetics of spinach, mustard leaves, and mixed puree. *Journal of Food Science*, Vol. 67, No. 3, pp. 1088–1091. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09457.x.
- Ahmed, J., Shivhare, U., Kaur, M. (2002).** Thermal colour degradation kinetics of mango puree. *International Journal of Food Properties*, Vol. 5, No. 2, pp. 359–366. DOI: 10.1081/JFP-120005791.
- Bendig, J., Bolten, A., Bareth, G. (2013).** UAV-based imaging for multi-temporal, very high resolution crop surface models to monitor crop growth variability. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, Vol. 6, pp. 551–562. DOI:10.1127/1432-8364/2013/0200.
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., Fereres, E. (2009).** Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 47, pp. 722–738. DOI: 10.1109/TGRS.2008.2010457.
- Adekunte, A., Tiwari, B., Cullen, P., Scannell, A., O'Donnell, C. (2010).** Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, Vol. 122, No. 3, pp. 500–507. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.026.
- Ahmed, J., Shivhare, U., Raghavan, G. (2000).** Rheological characteristics and kinetics of colour degradation of green chilli puree. *Journal of Food Engineering*, Vol. 44, No. 4, pp. 239–244. DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00034-0.
- Ahmed, J., Kaur, A., Shivhare, U. (2002).** Color degradation kinetics of spinach, mustard leaves, and mixed puree. *Journal of Food Science*, Vol. 67, No. 3, pp. 1088–1091. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09457.x.
- Ahmed, J., Shivhare, U., Sandhu, K. (2002).** Thermal degradation kinetics of carotenoids and visual color of papaya puree. *Journal of Food Science*, Vol. 67, No. 7, pp. 2692–2695. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08800.x.
- Arabhosseini, A., Padhye, S., Huisman, W., van Boxtel, A., Müller, J. (2011).** Effect of drying on the color of tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.) leaves. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4, pp. 1281–1287. DOI: 10.1007/s11947-009-0305-9.

Article received on 18/05/2022; accepted on 02/11/2022.  
Corresponding author is Israel Jesús Orlando-Guerrero.