



<http://opn.to/a/RYhSJ>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Proposal of Color Index Ranges According to Ripeness Stages in Fruits

Propuesta de rangos de Índice de Color según estados de maduración en frutas

MSc. Minelkis Machado-Molina*; Dr.C. Annia García-Pereira; Dr.C. Neili Machado-García

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque Cuba.

ABSTRACT. Maturity is the most important and complex stage in the development of the fruit, where they acquire sensory characteristics that define it as edible. The objective of this research is to determine the color indices associated with the different stages of maturation of the pumpkin fruit (*Carica papaya* L, variety MaradolRoja), guava (*Psidiumguajava* L, variety EnanaRoja EEA1-23) and tomato (*Solanumlycopersicum*, variety Vyta). To carry out the study, 32 pumpkins and 40 guava fruits were used. Fruits pumpkin and guava, were harvested in the Agricultural Company Ho Chi Minh, in the municipality of Jaruco, and tomato in the farm “The Papas” belonging to the National Institute of Agricultural Sciences (INCA), located in the municipality from San José de lasLajas, Mayabeque. The chemical, physical-mechanical and organoleptic properties were monitored in the different stages of maturation. In addition, the fruits were photographed and the images were analyzed to obtain the color indexes in the different stages of maturation. Finally, for the pump fruit and the tomato, four ripening stages and five for the guava are defined, in addition to the ranges of the color index associated with each one of them.

Keywords: Color, pumpfruit, guava, tomato, ripening stage.

RESUMEN. La maduración es la etapa más importante y compleja en el desarrollo de las frutas, donde las mismas adquieren características sensoriales que la definen como comestible. La presente investigación tiene como objetivo determinar los índices de color asociados a los diferentes estados de maduración de la fruta bomba (*Carica papaya* L, variedad Maradol Roja), la guayaba (*Psidiumguajava* L, variedad Enana Roja EEA1-23) y el tomate (*Solanumlycopersicum*, variedad Vyta). Para la realización del estudio se utilizaron defruta bomba y tomate 32 frutos y 40 de guayaba. Los frutos de fruta bomba y de guayaba, fueron cosechadas en la Compañía Agrícola Ho Chi Minh, en el municipio de Jaruco, y el tomate en la finca “Las Papas” perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el municipio de San José de las Lajas, Mayabeque. Se monitorearon las propiedades químicas, físico-mecánicas y organolépticas en los diferentes estados de maduración. Además, se fotografiaron las frutas y se analizaron las imágenes para obtener los índices de color en los diferentes estados de maduración. Finalmente, para la fruta bomba y el tomate se definen cuatro estados de maduración y cinco para la guayaba, además de los rangos del índice de color asociados a cada uno de ellos.

Palabras clave: color, fruta bomba, guayaba, tomate, estado de maduración.

INTRODUCTION

Over the last years, there has been a greater consensus on the need to determine the ripening states of agricultural products, based on the need for the consumer to have at their disposal, edible fruits with optimum quality parameters. This

INTRODUCCIÓN

La calidad de los productos agrícolas hace referencia a una serie de características que determinan su grado de aceptación por parte del consumidor, relacionadas fundamentalmente con su sanidad general y con su vida comercial. En función

*Author for correspondence: Minelkis Machado Molina, e-mail: minelkis_machado@unah.edu.cu

Received: 29/01/2019.

Approved: 02/09/2019.

demand for fresh fruits and vegetables obliges industry professionals and researchers to carry out tests that provide an accurate assessment of these parameters.

The quality of agricultural products refers to a series of characteristics that determine their degree of acceptance by the consumer, fundamentally related to their general health and commercial life. Based on this, knowledge of the chemical, physico-mechanical and organoleptic properties of any agricultural product play an indispensable role in achieving a good presentation and conservation of it, allowing to define the most appropriate management during the periods of pre-harvest, harvest and postharvest (Thompson, 1998). The maturation process involves physical-chemical and sensory changes that respond to those properties previously mentioned that define some essential aspects for consumption, focused on the deterioration of firmness, the variation in soluble solids content (SSC), as well as enzymatic darkening (Aranceta y Pérez-Rodrigo, 2006).

The organoleptic properties that are currently considered more important with regard to consumer appreciation are aroma, taste and color. Color is usually considered a psychological factor of appreciation and a valuable criterion for choosing a food product; even in products of plant origin, it is related to the possibility of choosing ripening and its suitability (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

Color is the most notorious feature in many fruits during ripening, and therefore it is used as a criterion to define the maturity of a fruit according Reid(2002), it is one of the main criteria of acceptance by consumers (Slaughter, 2009; Padrón *et al.* 2012). The most important transformation is the degradation of the green color, which is associated with the synthesis or unmasking of pigments whose colors range between yellow (carotenoids) and red-purple (anthocyanins). The Color Index (CI*) is one of the most efficient ways to assess color in agricultural products according Vignoniet *al.*(2006), which acquires significant importance for monitoring fruit quality through digital image processing; This constitutes an effective method to be able to describe the analysis points in the fruit where the eye is not able to distinguish hundreds of determining colors in the ripening scale. The use of IC* as a non-destructive tool allows through the use of techniques such as photography to establish the stages of maturation, it has been addressed by Vignoniet *al.*(2006); Yirat *et al.*(2009); Yam y Papadakis (2004); Vazquez (2015), among others based exclusively for this on the benefits of specialized software Adobe Photoshop v. 2007.

Some researchers have studied the correlation between the fruit skin color parameters according to different color models, acidity, SSC, citric acid and anthocyanin content (Dafny-Yalinet *al.*, 2010). Manera *et al.* (2011) studied the correlation between the parameters of the pomegranate skin color and the air temperature; also Manera *et al.* (2012) worked on the relationship between the air temperature and the color dusting in the lemon peel during ripening. Some authors studied the color changes that occur during the post-harvest storage of various fruits (Shwartz *et al.*, 2009).

de ésta, el conocimiento de las propiedades químicas, físico-mecánicas y organolépticas de cualquier producto agrícola juegan un papel indispensable para lograr una buena presentación y conservación del mismo, permitiendo definir el manejo más adecuado durante los periodos de pre-cosecha, cosecha y poscosecha (Thompson, 1998).

El proceso de maduración involucra cambios físico-químicos y sensoriales que responden a las propiedades químicas, físico-mecánicas y organolépticas que definen algunos aspectos esenciales para su consumo, enfocados en el deterioro de la firmeza, la variación en el contenido de sólidos solubles (SSC), así como el oscurecimiento enzimático (Aranceta y Pérez-Rodrigo, 2006).

Las propiedades organolépticas que actualmente se consideran más importantes respecto a la apreciación del consumidor son el aroma, el sabor y el color. El color suele ser considerado un factor psicológico de apreciación y un valioso criterio para elegir un producto alimenticio; incluso en los productos de origen vegetal, se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

El color es la característica más notoria en muchas frutas durante su maduración, y por ello se utiliza como criterio para definir la madurez de una fruta según Reid (2002), es uno de los principales criterios de aceptación por parte de los consumidores (Slaughter, 2009; Padrón *et al.* 2012). La transformación más importante es la degradación del color verde, la cual está asociada con la síntesis o desmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo (carotenoides) y el rojo-morado (antocianinas).

El Índice de color (IC*) es una de las vías más eficientes para evaluar el color en los productos agrícolas según Vignoniet *al.*(2006), el cual adquiere una importancia significativa para el monitoreo de la calidad en los frutos a través del tratamiento de imágenes digitales; éste constituye un método efectivo para poder describir los puntos de análisis en la fruta donde el ojo no es capaz de distinguir cientos de colores determinantes en la escala de maduración. El empleo de IC* como herramienta no destructiva permite a través del uso de técnicas como la fotografía establecer los estados de maduración, ha sido abordado por Vignoniet *al.*(2006); Yirat *et al.*(2009); Yam y Papadakis (2004); Vazquez (2015), entre otros basándose exclusivamente para ello en las bondades del software especializado Adobe Photoshop v. 2007.

Algunos investigadores han estudiado la correlación entre los parámetros del color de la piel del fruto según diferentes modelos de color, la acidez, los SSC, el ácido cítrico y el contenido de antocianinas (Dafny-Yalinet *al.*, 2010). Manera *et al.* (2011) estudiaron la correlación entre los parámetros del color de la corteza de la granada y la temperatura del aire; también Manera *et al.* (2012) trabajaron en la relación que existe entre la temperatura del aire y el despolvado del color de la cáscara de limón durante la maduración. Algunos autores estudiaron los cambios de color que se producen durante el almacenamiento poscosecha de varias frutas (Shwartz *et al.*, 2009).

El IC* es la propiedad cuantitativa que representa el color, el cual es un número adimensional que relaciona los distintos valores de las componentes de color (Ej.: RGB - Componentes R,

The IC* is the quantitative property that represents the color, which is a dimensionless number that relates the different values of the color components (Ex.: RGB - Components R, G and B; independently). L*a*b* is the international color measurement standard adapted by the International Lighting Commission (CIE) (León *et al.*, 2006). Although there are different color spaces, the most widely used in food color measurement is the color space L*a*b*, because a uniform distribution of colors is obtained and is very close to the characteristics of human perception of color (Velioglu *et al.*, 2011, Larraín *et al.*, 2008; Wu y Sun, 2013).

The use of color models facilitates the specification of the evaluated points of the fruits in colors, being located in a three-dimensional coordinate system defined in a subspace; each color is defined by a single point, which is obtained from the average true color of the epidermis of the fruit. This property describes the coloring of the epidermis of the fruit, allowing to follow the evolution of the ripening and for this it returns three parameters L*, a*, b*, following the standard of illumination of the spectral scale, where L* describes the luminosity, a* and b* evaluate the saturation that gives the purity of the color and the color tone itself (Francis y Clydesdale, 1975). Axis (a) that goes from green to red by measuring the purity of color, while axis (b) goes from blue to yellow by measuring the color tone itself. The Color Index according to Thompson (1998), is governed by the expression (1):

$$IC^* = \frac{a \times 1000}{L \times b} \quad (1)$$

where:

a: zone of variation between green and red of the spectrum;

L: color intensity;

b: zone of variation between blue and yellow of the spectrum.

The equation that represents the IC*, then looks for the most relevant variation between the different values (L*, a*, b*), in order to find an optimal representation of the color in the fruit (Bonilla-González y Prieto-Ortiz, 2016). The IC* of an entire fruit can vary along its entire surface due to the appearance of veins characteristic of the ripening process, hence it is convenient to establish ranges of IC* according to the EM given by the standard used as a reference.

The current investigation is aimed to determine the IC* associated with each ripeness stages in papay (*Carica papaya L.*, Maradol Roja var.), guava (*Psidium guajava L.*, Enana Roja EEA1-23 var.) and tomato (*Solanum lycopersicum*, Vyta var.)

METHODS

The papayfruit and guava, were harvested in the Ho Chi Minh Agricultural Company, in the municipality of Jaruco and the tomato on the farm “Las Papas” belonging to the National Institute of Agricultural Sciences (INCA), located in the municipality of San José de Las Lajas, Mayabeque. The fruits were randomly collected without presenting physical or mechanical damage and guaranteeing the representati-

G y B; independientemente). L*a*b* es la norma internacional de medición de color adaptado por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) (León *et al.*, 2006). Si bien existen diferentes espacios de color, el más utilizado en la medición del color de los alimentos es el espacio de color L*a*b*, debido a que se obtiene una distribución uniforme de los colores y es muy cercana a las características de la percepción humana del color (Velioglu *et al.*, 2011, Larraín *et al.*, 2008; Wu y Sun, 2013).

La utilización de los modelos de color facilita la especificación de los puntos evaluados de los frutos en colores, ubicándose en un sistema de coordenadas tridimensional definido en un subespacio; cada color queda definido por un punto único, que se obtiene del promedio de color verdadero de la epidermis del fruto. Esta propiedad describe la coloración de la epidermis de la fruta, permitiendo seguir la evolución de la maduración y para ello devuelve tres parámetros L*, a*, b*, siguiendo el estándar de iluminación de la escala espectral, donde L* describe la luminosidad y a*, b* evalúan la saturación que da la pureza del color y el tono es el color propiamente (Francis y Clydesdale, 1975).

Eje (a) que va del verde al rojo midiendo la pureza del color.

Eje (b) que va del azul al amarillo midiendo el tono del color propiamente.

El Índice de Color según Thompson (1998), está regido por la expresión (1):

$$IC^* = \frac{a \times 1000}{L \times b} \quad (1)$$

donde:

a: zona de variación entre el verde y el rojo del espectro;

L: intensidad del color;

b: zona de variación entre el azul y el amarillo del espectro.

La ecuación que representa el IC*, busca entonces la variación más relevante entre los diferentes valores (L*, a*, b*), con el fin de encontrar una óptima representación del color en el fruto (Bonilla-González y Prieto-Ortiz, 2016).

El IC* de una fruta entera puede variar a lo largo de toda su superficie debido a la aparición de vetas propias del proceso de maduración, de ahí que sea conveniente establecer rangos de IC* según los EM dados por la norma que se emplee como referencia.

La presente investigación tiene como objetivo determinar los índices de color asociados a los diferentes estados de maduración de la fruta bomba (*Carica papaya L.*, variedad Maradol Roja), la guayaba (*Psidium guajava L.*, variedad Enana Roja EEA1-23) y el tomate (*Solanum lycopersicum*, variedad Vyta)

MÉTODOS

Los frutos de fruta bomba y de guayaba, fueron cosechadas en la Compañía Agrícola Ho Chi Minh, en el municipio de Jaruco y el tomate en la finca “Las Papas” perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el municipio de San José de las Lajas, Mayabeque. Los frutos se recolectaron al azar garantizando que no presenten daños físicos o mecánicos en su exterior y la representatividad de cada EM. Fueron cuidadosamente ubicados en posición vertical apoyados sobre la unión fruto-pedúnculo, en cajas de cartón

veness of each EM. They were carefully placed vertically on the fruit-peduncle junction, in commercial cardboard boxes with breathing holes to ensure homogeneity between indoor and outdoor temperatures. The boxes are covered with a tarp to avoid the dust and foreign particles adhesion during transportation, and then they were transported to the Quality Laboratory at the Faculty of Technical Sciences of the Agrarian University of Havana, in the province of Mayabeque to develop the experiments and data processing. Upon arriving at the Quality laboratory, the total sample was washed and dried, latter an expert panel proceeds to select and sort the final sample. The fruits were carefully placed on a plateau, always ensuring that they remained in an upright position (fruit-peduncle break down). The average temperature of the room was 25.4 ° C and the environmental relative humidity of 74%.

The total sample for the determination of the IC* values and their ranges consisted of 32 papaya and 32 tomatoes, randomly selected, separated into four groups of eight (8) and 40 guava fruits separated into five groups of eight fruits for each maturation state. The IC* is obtained by the method of image capture, according to Vignoni *et al.* (2006), expression (1).

The images of each fruit were captured from the front using a Canon Rebel XS W18-55ls digital camera, Taiwan, located on a professional tripod raised 1.40 meters from the ground surface and connected to a computer (CPU: 2.5 GHz, 4 GB of RAM, 64-bit Windows operating system). The fruits were arranged in front of an achromatic background, resting on the fruit-peduncle junction. The distance fruits - camera was approximately 1.5 meters. The fruits were lightened by means of a 120W incandescent bulb located parallel to the camera, 0.50 m above it. The size of the images was 780 x 640 pixels. The resolution of levels of each color plane R, G and B was 256 levels. Four images of each fruit were taken by means of rotating the fruit 90° around an imaginary vertical axis, seeking to have some redundancy in the colors that are captured from the fruit, which is always advantageous. The images are exported to Photoshop portable software (Adobe System, 2007), to get the numerical representation of the variables L*, a* and b* of 10 randomly selected points and finally obtain the average value for the whole fruit. The value of the IC* is determined according to the mathematical expression (1) and is located in a color plane defined by two axes that allows to visualize the correspondence of this property with the colors of the maturation scale (Figure 1).

The ranges are defined based on the Mexican standard NMX-FF-041-SCFI (2007), for the papaya that considers seven EM and the Mexican standard NMX-FF-031 (1997), for the tomato establishes six EM. In the case of Guava was considered the Ecuadorian Technical Standard NTE-INEN-1911 (2009) and the research carried out by Yirat (2009), that establishes five EM. It also takes into account the results of the properties, the values of L*, a* and b* obtained from the images and the assessment criteria of the experts.

tipo comercial con orificios de respiración para garantizar la homogeneidad entre las temperaturas interior y exterior. Las cajas son tapadas con una lona para evitar la adherencia de polvo y partículas extrañas durante la transportación, posteriormente se transportaron al Laboratorio de Calidad en la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de La Habana, en la provincia de Mayabeque para desarrollar los experimentos y el procesamiento de datos.

Al llegar al laboratorio de Calidad el panel de expertos procede al lavado, secado, selección y marcaje de la muestra final. Las frutas fueron cuidadosamente ubicadas sobre una meseta garantizando siempre que las mismas se mantuvieran en posición vertical (ruptura fruto-pedúnculo hacia abajo). La temperatura promedio de la habitación donde se conservaron fue de 25.4 °C y con una humedad relativa ambiental de 74%.

La muestra total para la determinación de los valores de IC* y sus rangos consistió en 32 fruta bombas y 32 tomates, seleccionados aleatoriamente, separadas en cuatro grupos de ocho (8) y 40 frutas de guayaba separadas en cinco grupos de ocho frutas para cada estado de maduración. El IC* se obtiene por el método de captación de imágenes, acorde con Vignoni *et al.* (2006), expresión (1). La captura de las imágenes de cada fruta fue hecha de frente utilizando una cámara digital Canon Rebel XS W18-55ls, Taiwán, ubicada en un trípode profesional elevado a 1,40 metros desde la superficie del suelo y conectada a una computadora (CPU: 2.5 GHz, 4 GB de RAM, sistema operativo Windows de 64 bits).

Las frutas fueron dispuestas delante de un fondo acromático, apoyadas sobre la unión fruto-pedúnculo. La distancia de la cámara a las frutas, fue de 1.5 metros, aproximadamente. La iluminación de las frutas se llevó a cabo mediante un bombillo incandescente de 120W ubicado paralelo a la cámara, 0.50 m por encima de esta. El tamaño de las imágenes fue de 780 x 640 píxeles. La resolución de niveles de cada plano de color R, G y B fue de 256 niveles.

Se tomaron cuatro imágenes de cada fruta, rotando cada fruta 90° alrededor de un eje imaginario vertical con el propósito de tener cierta redundancia en los colores que se capturen de la fruta, lo cual siempre es ventajoso. Las imágenes son exportadas al software portable Photoshop, donde de cada una de ellas se le obtiene la representación numérica de las variables L*, a* y b* de 10 puntos seleccionados aleatoriamente, para finalmente obtener el valor promedio de ellas. El valor del IC* se determina según la expresión matemática (1) y se ubica en un plano de colores definido por dos ejes que permite visualizar la correspondencia de dicha propiedad con los colores de la escala de maduración (Figura 1).

Los rangos se definen tomando como base la norma mexicana NMX-FF-041-SCFI (2007), para la fruta bomba que considera siete EM y la norma mexicana NMX-FF-031 (1997), para el tomate establece seis EM y para la guayaba la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN-1911 (2009) y la investigación realizada por Yirat (2009), que establece cinco EM. Asimismo se tiene en cuenta los resultados de las propiedades, los valores de L, a y b obtenidos de las imágenes y el criterio valorativo de los expertos.

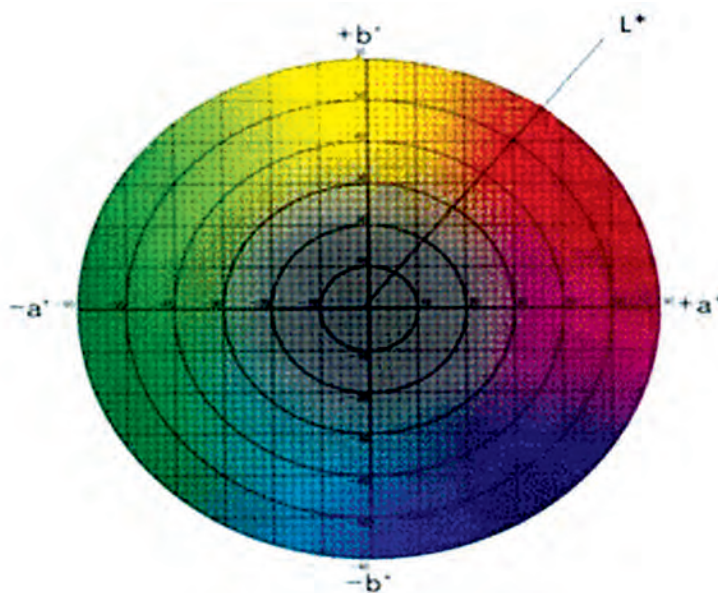


FIGURE 1. Spectral color diagram (L * a * b *) for fruit analysis.
 FIGURA 1. Diagrama espectral del color (L*a*b*) para el análisis de frutas.

RESULTS AND DISCUSSION

Tables 1, 2 and 3 show the average experimental values of the physical-chemical, mechanical and organoleptic properties of the Papay (MaradolRoja var.), the guava (EnanaRoja EEA1-23 var.) and the tomato (Vyta var.) such as: pH, soluble solids content (SSC), firmness and IC *, calculated for the different ripeness stages. The behavior of the properties coincides with that described by Yirat *et al.* (2009), Aranceta & Pérez-Rodrigo (2006); Bonilla-González & Prieto-Ortiz, (2016), showing a marked tendency to decrease in the case of firmness as the fruit gets ripe and the increase in pH, SSC and IC in the same process. The firmness and IC * values coincide with those obtained by Yirat (2009), for the guava and Muñiz *et al.* (2011) for the papay, while a slight appreciable dispersion in the pH and SSC for both properties is observed being less noticeable in the papay. In all cases it coincides with the values described in the literature for the fruits under study Yirat *et al.* (2009), Muñiz *et al.* (2011), Padrón *et al.* (2012), Vazquez (2015). The results shown corroborate the correspondence with the EM in which they were classified for the subsequent obtaining of the IC * ranges.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 1, 2 y 3 se muestran los valores experimentales promedios de las propiedades físico-químicas, mecánicas y organolépticas de la fruta bomba variedad Maradol Roja, de la guayaba variedad Enana Roja y del tomate variedad Vyta, calculadas en los distintos estados de maduración, como son: pH, contenido de sólidos solubles (SSC), firmeza e IC*. El comportamiento de las propiedades coincide con el descrito por Yirat *et al.* (2009), Aranceta y Pérez-Rodrigo (2006); Bonilla-González y Prieto-Ortiz, (2016), mostrando una tendencia marcada a la disminución en el caso de la firmeza según el fruto es más maduro y al incremento del pH, SSC e IC en ese mismo proceso. Los valores de firmeza e IC* coinciden con los obtenidos por Yirat (2009), para la guayaba y Muñiz *et al.* (2011) para la fruta bomba, se aprecia una dispersión ligeramente apreciable en el pH y SSC para ambas propiedades siendo menos notable en la fruta bomba. En todos los casos coincide con los valores descritos en la literatura para los frutos en estudio de Yirat *et al.* (2009), Muñiz *et al.* (2011), Padrón *et al.* (2012), Vazquez (2015). Los resultados mostrados corroboran la correspondencia con el EM en el que fueron clasificados para la obtención posterior de los rangos de IC*.

TABLE 1. Physico-chemical, mechanical and organoleptic properties of the papay Maradol Roja variety
 TABLA 1. Propiedades físico-químicas, mecánicas y organolépticas de la fruta bomba variedad Maradol Roja

EM	pH	SSC °Brix	Firmness (kgf/cm ²)	IC*
I	4.60	8.36	31.02	-10.25
II	4.90	8.51	18.7	-4.89
III	5.25	8.8	6.1	1.81
IV	5.65	9.0	3.9	25.04

TABLE 2. Physico-chemical, mechanical and organoleptic properties of the guava Enana Roja variety
TABLA 2. Propiedades físico-químicas, mecánicas y organolépticas de la fruta guayaba variedad Enana Roja

EM	pH	SSC °Brix	Firmness (kgf/cm ²)	IC*
I	3.265	6.64	2.20	-9.13
II	4.27	6.94	1.97	-4.2
III	5.13	7.06	1.84	0.92
IV	6.24	7.94	1.69	3.31
V	6.96	8.89	1.50	5.39

TABLE 3. Physico-chemical, mechanical and organoleptic properties of the tomato Vyta variety
TABLA 3. Propiedades físico-químicas, mecánicas y organolépticas del tomate variedad Vyta

EM	pH	SSC °Brix	Firmness (kgf/cm ²)	IC*
I	3.931	2.372	1.94	-3.21
II	4.313	3.73	1.80	-1.06
III	4.645	5.63	1.71	4.73
IV	5.198	7.77	1.39	20.98

According to the obtained results, it can be observed that as the maturation state increases, the IC* values also increase (see, figure 2), which demonstrates a high dependence between the maturation state and this organoleptic property

Figure 2 illustrates the variation of the average IC values according to the EM for fruits where a more marked color transformation in the papaya was noticeable according to this fruit goes through the whole ripening process, followed by the tomato and then the guava.

Acorde a los resultados obtenidos se puede observar como a medida que aumenta el estado de maduración aumentan también los valores de IC* (Figura 2), lo que demuestra una estrecha relación entre el estado de maduración y dicha propiedad organoléptica.

La Figura 2 ilustra la variación de los valores de IC promedio según los EM por frutas donde fue apreciable una transformación del color más marcada en la frutabomba según este fruto atraviesa por todo el proceso de maduración, seguida del tomate y posteriormente la guayaba.

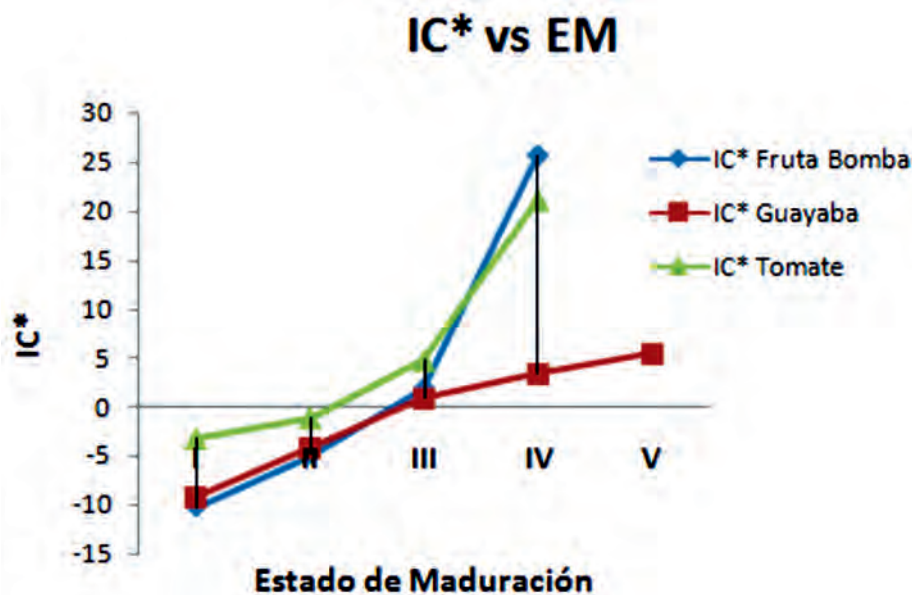


FIGURE 2. Average IC* variation according to the EM of each studied fruit.
 FIGURA 2. Variación del IC* promedio según los EM de las frutas estudiadas.

The color index ranges proposed for each EM according to the modifications realized to the NMX-FF-041-SCFI (2007), which describes seven EM for the papaya and the NMX-FF-031 (1997) with six EM for tomato remind as follows. In the case of the Red Maradol variety, it is observed that the color depends on the percentages of presence of green, yellow or orange outer stripes. When establishing the correspondence between the IC* and the maturation status, the IC* values in states 1 and 2 and similarly in states 3, 4 and 5 did not vary significantly. Therefore, because it has a large burden of subjectivity, according to experts, it is proposed as a result of this investigation to consider only four ripeness stages for the papaya (Table 4). In the case of tomato, the same conclusion was reached for similar small color variations, so that, from six maturation stages, four maturation states are defined (Table 6).

For the determination of the IC* ranges of guava, the ripening states are described in the Ecuadorian Technical Standard NTE-INEN-1911 (2009) with six EM. However, the results obtained correspond to those achieved by Yirat (2009) when studying the Enana Roja variety EEA1-23, which establishes five EM, so that the same amount of EM is maintained, they are shown in the Table 5. The simplification or reduction of the quantity of EM facilitates the implementation of fruits classification tools in an automated way based on techniques such as those employed by Vignoniet al.(2006); Yirat et al.(2009); Yam & Papadakis (2004); León et al.(2006); Hassanafshari-Jouybaria(2011); Padrón et al. (2012) y Vazquez (2015). Through the following IC* intervals the EM proposed are defined and shown below for papaya (Table 1) four EM, for guava (Table 2) five EM and for tomato (Table 3) four EM.

Los rangos de índice de color propuestos para cada EM según las modificaciones realizadas a la NMX-FF-041-SCFI (2007), para la fruta bomba con siete EM y la NMX-FF-031 (1997) para el tomate que establece seis EM. En el caso de la variedad Maradol Roja se observa, que el color depende de los porcentajes de presencia de franjas externas verdes, amarillas o naranjas. Al establecer la correspondencia entre el IC* y el estado de maduración, los valores de IC* en los estados 1 y 2 y de manera similar en los estados 3, 4 y 5 no variaron significativamente. Por lo tanto, por tener una carga grande de subjetividad, en opinión de los expertos, se propone como un resultado de esta investigación considerar solo cuatro estados de maduración para la variedad de fruta bomba (Carica papaya L., var. Maradol Roja) (Tabla 4). En el caso del tomate (*Solanum lycopersicum*, var. Vytá), se llegó a la misma conclusión para pequeñas variaciones de color similares, de modo que, a partir de seis estados de maduración, se definen cuatro estados de maduración (Tabla 6).

Para la determinación de los rangos de IC* de la guayaba, los estados de maduración son descritos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN-1911 (2009) con seis EM. Sin embargo, los resultados obtenidos se corresponden con los alcanzados por Yirat (2009) al estudiar la variedad Enana Roja EEA1-23, que establece cinco EM, por lo que se mantiene la misma cantidad de EM, los mismos se muestran en la Tabla 5. La simplificación o disminución de la cantidad de EM facilita la implementación de herramientas para la clasificación de frutas de manera automatizada basadas en técnicas como las empleadas por Vignoniet al.(2006); Yirat et al.(2009); Yam y Papadakis (2004); León et al.(2006); Hassanafshari-Jouybaria(2011); Padrón et al. (2012) y Vazquez (2015). A través de los siguientes intervalos de IC* se definen los EM que se proponen y que se muestran a continuación para la fruta bomba (Tabla 4) cuatro EM, para la guayaba (Tabla 5) cinco EM y para el tomate (Tabla 6) cuatro EM.

TABLE 4. Ripeness stages for papaya Maradol Roja variety
TABLA 4. Estados de maduración de la fruta bomba, variedad Maradol Roja

IC* ranges	Fruitskin color description	Ripeness Stage (EM)
$-13.28 \leq IC^* \leq -7$	Dark green	EM 1. Physiological maturity (all green)
$-7 < IC^* \leq -1$	Clear green with incipient yellow vein	EM 2. Green
$-1 < IC^* \leq 2.5$	Slight green tonality, prevalence of yellow color	EM 3. Middleripe
$2.5 < IC^* \leq 48.31$	Orange color 90 to 100%.	EM 4. Ripe

TABLE 5. Ripeness stage for Enana Roja EEA1-23 variety
TABLA 5. Estados de maduración de la guayaba, variedad Enana Roja EEA1-23

IC* ranges	Fruitskin color description	Ripeness Stage (EM)
$-12.34 \leq IC^* \leq -7$	Green	EM 1. Green
$-7 < IC^* \leq -1$	Green yellowish	EM 2. Middleripe
$-1 < IC^* \leq 1.9$	Yellow with incipient tonalities of green	EM 3. Ripe
$1.9 < IC^* \leq 4$	Yellow pale with tonalities orange	EM 4. Overripe
$4 < IC^* > 6.10$	Yellow reddish with Carmelite tonalities	EM 5. Industrial ripeness

TABLE6. Ripeness stage for tomato Vyta variety
Tabla 6.Estados de maduración del tomate, variedad Vyta

IC* ranges	Fruitskin color description	RipenessStage (EM)
$-5.21 \leq IC^* \leq -2$	Darkgreen	EM 1. Physiological maturity (all green)
$-2 < IC^* \leq 0$	Clear green with incipient yellow vein	EM 2. Green
$0 < IC^* \leq 8.9$	Slight green tonality, prevalence of red color.	EM 3. Middleripe
$8.9 < IC^* \leq 32.51$	Orange reddish 90 to 100%.	EM 4. Ripe

CONCLUSIONS

- Four EM were established for the papaya Maradol Roja: physiological maturity (all green), green, middle ripe and ripe; with IC* average for EM of -10.25; -4.89; 1.81 and 25.64, with IC* ranges from -13, 28 to -7; -7 to -1; from -1 to 2.5 and from 2.25 to 48, 31 for EM from I to IV respectively.
- Five EM were established for the Guava Enana Roja EEA1-23: green, middle ripe, ripe, overripe and industrial ripeness, with an IC* average of EM of -9.13; -4.2; 0.92, 3.31 and 5.39, with IC* ranges from -12, 34 to -7; -7 to -1; from -1 to 1.9; 1.9 to 4 and from 4 to 6.10 for EM from I to V respectively.
- Four EM were established for the tomato Vyta variety: physiological maturity (all green), green, middle ripe and ripe; with an IC* average for EM of -3.21; -1.06; 4.73 and 20.98, with IC* ranges from -5.21 to -2; -2.0 to 0; from 0 to 8.9 and from 8.9 to 32.51 for EM from I to IV respectively.
- The decrease in firmness and pH is ratified, as well as an increase in the soluble solids content and IC* values as the fruits ripening process progresses, while the greatest variation in IC* was obtained in papaya, followed by tomato and guava in that order.

CONCLUSIONES

- Se establecieron cuatro EM para la fruta bomba Maradol Roja: Madurez fisiológica, verde, rayona y madura; con IC* promedio por EM de -10,25; -4,89; 1,81 y 25,64, con rangos de IC* de -13, 28 a -7; -7 a -1; de -1 a 2,5 y de 2,25 a 48, 31 para los EM del I al IV respectivamente.
- Se establecieron cinco EM para la guayaba Enana Roja EEA1-23, verde, pintona, madura, sobremadura y maduración industrial, con IC* promedio por EM de -9,13; -4,2; 0,92, 3,31 y 5,39, con rangos de IC* de -12, 34 a -7; -7 a -1; de -1 a 1,9; 1,9 a 4 y de 4 a 6,10 para los EM del I al V respectivamente.
- Se establecieron cuatro EM para el tomate variedad Vyta: Madurez fisiológica, verde, pintón y maduro; con IC* promedio por EM de -3,21; -1,06; 4,73 y 20,98, con rangos de IC* de -5,21 a -2; -2,0 a 0; de 0 a 8,9 y de 8,9 a 32,51 para los EM del I al IV respectivamente.
- Se ratifica la disminución de la firmeza y el pH así como aumento del contenido de sólidos solubles y de los valores del IC* según avanza el proceso de maduración en frutas, mientras que la mayor variación del IC* se obtuvo en la fruta bomba, seguida del tomate y la guayaba en ese orden.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUSTÍ, M.: *Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2004. Pág. 493.*, 2004.
- ARANCETA, J.; PÉREZ-RODRIGO, C.: *Maduración de la Fruta. 2006. III MASSON. Barcelona, España. Pág. 8.*, 2006, ISBN: 978-84-458-1669-1.
- ARNAL, L.; DEL RÍO, M.: "Quality of persimmon fruit cv. Rojobrillante during storage at different temperatures", 2(2): 243–247, 2004.
- BONILLA-GONZÁLEZ, J.P.; PRIETO-ORTÍZ, F.A.: "Determinación del estado de maduración de frutos de feijoa mediante un sistema de visión por computador utilizando información de color", 7(1): 11-126, 2016, DOI: 10.19053/20278306.v7.n1.2016.5603.
- DAFNY-YALIN, M.; GLAZER, I.; BAR-LLAN, I.; KEREM, Z.; HOLLAND, D.; AMIR, R.: "Color, sugars and organic acids composition in aril juices and peel homogenates prepared from different pomegranate accessions.", 58(7): 4342-52, 2010, DOI: 10.1021/jf904337t.
- FRANCIS, F.; CLYDESDALE, F.: "Food colorimetry: Theory and applications. Westport, Conn, The AVI Pub. Co.", 1975, DOI: 10.1002/food.19770210122.
- HASSANAFSHARI-JOUYBARIA, A.F.: "Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry", *Journal of Food Engineering*, 106(2): 170-175, September, 2011, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.034>.
- LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEON, J.: "Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. Maryland and Washington, D.C.", *Food research international*, 39(10): 1084-1091, 2006, DOI: 10.1016/j.foodres.2006.03.006.
- MANERA, F.J.; BROTONS, J.M.; CONESA, A.; PORRAS, I.: "Relationship between air temperature and degreening of lemon (Citrus lemon L. Burm. f.) peel colour during maturation", 6(6): 1051–1058, 2012.

- MANERA, F.J.; LEGUA, P.; MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, R.; MARTÍNEZ, J.J.; HERNÁNDEZ, F.: "Effect of air temperature on rind colour development in pomegranates", 134: 245–247, 2011.
- MATHIAS-RETTIG, K.; AH-HEN, K.: "El color en los alimentos un criterio de calidad medible", 2014, DOI: 10.4206/agrosur.2014.v42n2-07.
- MUÑOZ, B.S.; GARCÍA, P.A.; CALDERÍN, G.A.; HERNÁNDEZ, G.A.: "Evaluación de la calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.) variedad Maradol roja deshidratada utilizando el método de deshidratación osmótica (DO)", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 52-56, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- NMX-FF-031, 1997: *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate - (Lycopersicon esculentum Mill.)*, Inst. Economía Dirección General de Normas, Norma mexicana, 1997.
- NMX-FF-041-SCFI, 2007: *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Papaya (Carica papaya L)*, Inst. Economía Dirección General de Normas, Norma mexicana, México D. F., 2007.
- NTE-INEN-1911, 2009: *Frutas frescas. Guayaba a (Psidium guajava L.). Requisitos. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1911:2009*, Inst. Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. 2009., Norma Técnica Ecuatoriana, 2009.
- REID, M.: *Maturation and maturity indices. pp. 55-62. En: Kader, A.A. (ed.) Postharvest technology of horticultural crops. 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California. 535 p.*, 2002.
- SHWARTZ, E.; GLAZER, I.; BAR-YA'AKOV, I.; MATIYAHU, I.; BAR-ILAN, I.: "Changes in chemical constituents during the maturation and ripening of two commercially important pomegranate accessions", 115: 965–973, 2009.
- SLAUGHTER, D.C.: "Nondestructive maturity assessment methods for mango: A Review of Literature and Identification of Future Research Needs.", 1-18, 2009.
- THOMPSON, A.: "Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas. Armenia, Colombia. pág. 268, 1998.
- VELIOGLU, H.; BOYACI, I.; KURULTAY, S.: *Determination of visual quality of tomato paste using computerized inspection system and artificial neural networks. Computers and Electronics in Agriculture, 77(2), 147–154. doi:10.1016/j.compag.2011.04.007*, 2011.
- VIGNONI, L.; CESARI, R.; FORTE, M.; MIRÁBILE, M.: "Determinación de índice de color en ajo picado. Información tecnológica. Vol. 17:(16)., p. 63-67.", 2006, ISSN: 0718-0764, DOI: 10.4067/S0718-07642006000600011.
- WILLS, R.B.H.; GLASSON, M.W.B.; GRAHAM, D.; LEE, T.H.; HALL, E.G.: "Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables.(Eds.). AVI. USA.", 1986.
- YIRAT, M.: *Estudio de las propiedades de calidad de la guayaba (Psidium guajava L.), (variedad Enana roja EEA 1-23)*, Inst. Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Habana, Cuba, 2009.
- YIRAT, B.M.; GARCÍA, P.A.; HERNÁNDEZ, G.A.; CALDERÍN, G.A.; CAMACHO, N.A.: "Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 70-73, 2009, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

Minelkis Machado Molina, Profesora, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería Informática, Carretera Tapaste, km 22 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: minelkis_machado@unah.edu.cu

Annia García Pereira, Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería, Carretera Tapaste, km 22 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: annia@unah.edu.cu

Neili Machado García, Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería Informática, Carretera Tapaste, km 22 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: neili@unah.edu.cu

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.