

## Caracterización del sistema de crecimiento del jitomate en prototipo

### Characterization of the Ripening of Fruits by Colorimetry

RAMÍREZ-GRANADOS, Juan Carlos†\*, GÓMEZ-LUNA, Blanca E., LÓPEZ-LÓPEZ, Milagros y MAGDALENO-MEDRANO, Paola Fernanda

*Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Agroindustrial Prolongación Río Lerma s/n, Colonia Suiza, Celaya, Gto., México. C.P. 38060*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Juan Carlos, Ramírez-Granados* / ORC ID: 0000-0001-6460-6472, Researcher ID Thomson: S-5874-2018 and CVU CONACYT ID: 167866

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Blanca E. Gómez-Luna* / CVU CONACYT ID: 101592

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Milagros, López-López* / ORC ID: 0000-0002-0446-7332, Researcher ID Thomson: S-4964-2018

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Paola Fernanda, Magdaleno-Medrano* / Researcher ID Thomson: S-5943-2018

Recibido 4 de Abril, 2018; Aceptado 6 de Junio, 2018

#### Resumen

Para las personas es de vital importancia el tipo, cantidad y calidad de los alimentos que consumen. Una parte fundamental de la dieta de las personas son las frutas, y su calidad está relacionada con su grado de maduración. Las personas procuran el consumo de frutas en su punto óptimo de maduración para maximizar su contenido nutricional y sus características sensoriales tales como el color, sabor, olor, textura y tamaño. La experiencia táctil y visual del consumidor es muy útil para seleccionar correctamente las frutas que se encuentran en su punto óptimo; sin embargo, no es trivial adquirir esa experiencia y habilidad. Por esta razón, en este trabajo se estudió la relación entre el proceso de maduración de algunas frutas y su color externo. Las frutas analizadas fueron guayabas, aguacates Hass, mangos Manila y plátanos Tabasco. Este estudio condujo al desarrollo de etiquetas con colores asociados a las principales etapas de maduración de estas frutas. De esta manera, los consumidores pueden seleccionar las frutas maduras apropiadamente tan sólo con una comparación visual de su color externo con los colores de referencia impresos en una etiqueta adherida a cada espécimen.

#### Frutas, Maduración, Colorimetría

**Citación:** RAMÍREZ-GRANADOS, Juan Carlos, GÓMEZ-LUNA, Blanca E., LÓPEZ-LÓPEZ, Milagros y MAGDALENO-MEDRANO, Paola Fernanda. Caracterización del sistema de crecimiento del jitomate en prototipo. Revista de Invención Técnica 2018. 2-6:7-17

#### Abstract

For people, it is of vital importance the kind, quantity, and quality of the food they are eating. Fruits are indispensable elements of any balanced diet. The quality of fruits is directly related to their ripening degree. Usually, people seek to eat fruits at their optimum point of ripeness to obtain the maximum nutritional content and the best sensorial characteristics such as color, flavor, smell, texture, and size. The sense of touch and visual experience are very useful to correctly select fruits at their optimum point of ripeness; however, it is not easy to acquire that ability and experience. For this reason, the relationship between the ripening of some fruits and their external color was studied in this research work. The fruits analyzed here were guavas, avocados, mangos, and bananas. This study led to the development of labels with colors associated to the main ripening stages of these fruits. In this way, consumers can properly select ripe fruits just by a visual comparison of their external color to reference colors printed on a label attached to each specimen.

#### Fruits, Ripening, Maturation, Colorimetry

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sergio.martinez@utt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El consumo de frutas y vegetales ha sido asociado con una menor incidencia y mortalidad por diferentes enfermedades crónicas (Hughes & Ong, 1998). La protección que las frutas y los vegetales brindan contra las enfermedades degenerativas como el cáncer, y enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares ha sido atribuida a su alto contenido de antioxidantes (Jacob & Burri, 1996).

Los antioxidantes retrasan el proceso de envejecimiento y combaten la degeneración y muerte de las células provocada por los radicales libres. Sin embargo, el cuerpo humano es incapaz de neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, por lo que las personas están obligadas a consumir alimentos con propiedades antioxidantes para contrarrestarlos.

La mayor parte de la capacidad antioxidante de las frutas y verduras se la proporciona su contenido de vitaminas E, C y carotenos; así como diferentes polifenoles (Wagner *et al.*, 1985). Estos compuestos pueden proteger a los organismos contra lesiones causadas por radicales libres (Prior, 2005).

La maduración organoléptica es la etapa en la cual los productos hortofrutícolas alcanzan las características que esperan los consumidores. Este proceso inicia generalmente al final de la maduración fisiológica del fruto, antes de la senescencia, dando lugar a diferentes transformaciones físicas, bioquímicas y fisiológicas que determinan su calidad, vida útil, y si los frutos son aceptables o inaceptables para el consumidor. Algunas de las alteraciones que presentan la mayoría de los frutos son el cambio en el color, de forma y de algunas propiedades físicas y mecánicas (Borja *et al.*, 2016).

El desarrollo de los frutos es un proceso que involucra varias etapas y se acompaña de diversas transformaciones bioquímicas que ocurren de manera continua aun después que las frutas son cosechadas. Estas transformaciones promueven cambios que conducen a la maduración de los frutos y a su posterior deterioro (Samson, 1985).

Los aspectos importantes que determinan la calidad de las frutas se basan en atributos sensoriales tales como su color, aroma, textura, tamaño y equilibrio entre azúcares y acidez (Shamaila *et al.*, 1992). El índice de madurez comercial se basa en el color del fruto (Moccia *et al.*, 2007) por ser uno de los parámetros que más información proporciona sobre la evolución de la maduración (Almenar, 2005). Los colores de los frutos se acentúan más cuando están maduros. Esto significa que aumentan las concentraciones de carotenos (amarillo, naranjas, rojos) y antocianinas (rojos, morados, azules). Durante la maduración del fruto ocurren cambios importantes en las sustancias pépticas, carbohidratos, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y otros componentes. (Bowers, 1992). Esta madurez se asocia a una cierta cantidad de sólidos solubles totales, los cuales están compuestos por un 75% de azúcares que determinan el sabor del fruto (Cote, 2011).

En la industria son usuales las técnicas colorimétricas para gestionar la calidad de los productos como frutas y/o verduras (Vignoni *et al.*, 2006; Artigas *et al.*, 2002; Prieto & Carballo, 1997), ya que desafortunadamente, la identificación visual aún no era una herramienta con la precisión necesaria para la descripción del color de las frutas dada la gran variedad de factores que intervienen tales como la fuente de luz incidente y la propia diferencia de apreciación entre observadores (Kenneth *et al.*, 1993). Mediante la colorimetría es posible caracterizar numéricamente el color de un fruto. Esta caracterización es de tipo perceptual, es decir, el color percibido se asocia a valores numéricos definidos en algún espacio de color. Además, es importante mencionar que la percepción del color depende de la luz reflejada por el fruto hacia el ojo y de la luz que recibimos del entorno (Pujol, 2002; Hunt 1991, 1994).

Típicamente se utilizan diferentes métodos de medición conforme al producto de interés y a las características ópticas del instrumento. Estos métodos consisten en cuantificar el color y en establecer una correlación con la medida de la calidad que caracteriza al producto. Al contar con una mejor descripción del color mediante el uso de instrumentos colorimétricos se puede trazar una correlación más precisa entre la medida del color y la calidad de los frutos.

## Justificación

La producción de frutas a nivel industrial requiere de varias etapas tales como la siembra, germinación, trasplante, riego, fertilización, desinfección, cosecha y varios procesos postcosecha que pueden incluir el lavado, clasificación, empaçado, distribución y venta final de las frutas. Los procesos postcosecha necesitan de un cierto lapso para su realización. Esto implica que el productor requiere de un amplio conocimiento del proceso de maduración de las frutas; además del dominio de la logística necesaria para hacer llegar su producto hasta el vendedor cuando aún está ligeramente inmaduro. Esto da oportunidad al vendedor para ofrecer las frutas en los anaqueles durante uno o dos días para que los consumidores los compren y, de ser necesario, los almacenen en casa durante algunos días más antes de consumirlos.

El proceso de maduración organoléptica y el periodo óptimo para consumo es limitado y diferente para cada tipo de fruta. Además, las frutas disponibles en cada región también pueden ser muy diversas. Más aún, varios factores externos pueden modificar significativamente la rapidez del proceso de maduración en las frutas, y extender o acortar su vida útil.

Por otra parte, los consumidores también requieren de ciertos conocimientos y habilidades para seleccionar adecuadamente estos alimentos y consumirlos cuando se encuentren en su punto. Para los consumidores, la adquisición de estos conocimientos y habilidades no es una tarea trivial. Adicionalmente, muchas personas tienen un estilo de vida con alta movilidad, lo cual también dificulta la adquisición del conocimiento y experiencia necesaria para la selección adecuada de frutas de otras regiones.

Por lo anterior, consideramos que es necesario el desarrollo de herramientas cualitativas y cuantitativas que ayuden a los consumidores a determinar fácil y rápidamente el punto óptimo de maduración de las frutas. Estas herramientas pueden ser incorporadas por el productor a cada uno de los frutos de manera similar a una pequeña etiqueta, dándole un valor agregado a su producto y facilitando la selección y el consumo óptimo de estos alimentos.

## Definición del problema

Las frutas y verduras sufren un proceso de maduración que modifica sus propiedades físicas y bioquímicas. La maduración fisiológica y organoléptica de las frutas es un proceso natural dependiente del tiempo que es influenciado por varios factores tales como la temperatura, la humedad del ambiente, la composición química de la atmósfera que los rodea, el momento que son cosechados, etc. Usualmente, las personas determinan el punto de maduración óptimo de las frutas a través del tacto y del análisis visual de su aspecto. Sin embargo, la presión ejercida por el consumidor sobre la fruta durante la prueba de tacto puede dañar los tejidos vegetales irreversiblemente y ocasionar que la fruta se pudra prematuramente generando pérdidas al vendedor.

Por otra parte, la prueba visual requiere de conocimiento y experiencia previa por parte del consumidor a fin de determinar si el color, manchas y otros aspectos visuales de un ejemplar coinciden con los de una imagen mental que sirve como patrón o referencia. La dificultad en la determinación del punto óptimo de maduración de las frutas a través de una prueba visual radica en que no todas las personas llegan a tener la experiencia y habilidades necesarias para realizar esta inspección de manera confiable. Además, esta dificultad se puede incrementar debido a la gran diversidad de frutas que se producen en diferentes regiones a nivel nacional e internacional.

## Hipótesis

Durante el proceso de maduración, las frutas experimentan cambios físicos y bioquímicos que modifican sus propiedades, incluyendo su color. El color de las frutas está relacionado con su grado de maduración. Por lo tanto, es posible determinar el grado de maduración de las frutas mediante la comparación de su color externo con colores de referencia que estén asociados a determinadas etapas del proceso de maduración.

## Objetivos

A continuación, se presentan los objetivos general y específicos de este trabajo.

### Objetivo general

Caracterizar el proceso de maduración de cuatro tipos de frutas o verduras de manera cualitativa, cuantitativa y no-destructiva mediante colorimetría.

### Objetivos específicos

Estudiar el proceso de maduración de cuatro tipos de frutas o verduras de interés comercial mediante el análisis de cambios en su coloración externa a través de colorimetría.

Relacionar las principales etapas del proceso de maduración de las frutas o verduras con colores característicos.

Generar etiquetas colorimétricas con los colores característicos del proceso de maduración de una fruta para ayudar al consumidor a determinar fácil y rápidamente su grado de maduración a través de su color externo; así como también el tiempo que le falta para alcanzar su punto óptimo de maduración o que ha pasado desde éste.

### Marco teórico

En frutas climatéricas, el proceso de maduración continúa aun después de que el fruto es cortado debido a que sus tejidos siguen vivos. Durante esta maduración de tipo organoléptica de las frutas ocurren varios procesos de transformación que modifican sus características físicas y bioquímicas. Estas transformaciones generalmente se llevan a cabo mientras el producto es cosechado, lavado, clasificado, empacado, almacenado, distribuido y vendido. Algunas de las principales transformaciones que ocurren durante esta maduración de las frutas son los cambios en la respiración, el contenido de azúcares y nutrientes, la firmeza de los tejidos, el aroma, el sabor y el color (Eroski consumer, 2018).

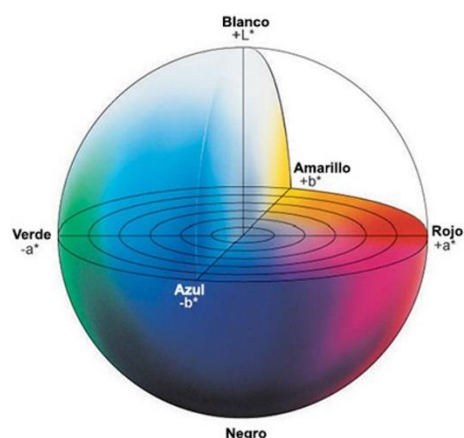
El cambio que ocurre en la coloración de las frutas es justamente el proceso de transformación que aquí será correlacionado con el grado de maduración. Para lograr lo anterior es necesaria la medición cuantitativa y el análisis de los cambios en el color superficial de las frutas a lo largo del tiempo.

El color es una propiedad de los objetos que está relacionada con la percepción visual de las personas. En los humanos, el color de los objetos es percibido gracias a que los ojos contienen en la retina varios tipos de células sensibles a la radiación luminosa que son los bastones y los conos. Los conos S, M y L son células sensibles a diferentes rangos de longitudes de onda debido a que contienen un fotopigmento llamado opsina (Zelanski & Fisher, 2001). La combinación de los estímulos luminosos correspondientes a los colores primarios da origen a toda la gama de colores que componen al espectro de luz visible.

Se han desarrollado varias teorías que explican la composición de los colores. Estas teorías del color tuvieron su origen en el prisma y el círculo cromático de Newton, y luego evolucionaron gracias a las aportaciones de otros científicos como Johann Wolfgang Von Goethe y Wilhelm Ostwald (Küppers, 2005). En estas teorías, los colores primarios difieren porque dependen de si son generados por una fuente de luz o por un objeto que refleja la luz; lo que dio origen a dos tipos de síntesis de color: la aditiva y la sustractiva. En la síntesis aditiva, las lámparas emiten luces de colores que se combinan para obtener colores secundarios más claros; en contraste, en la síntesis sustractiva los pigmentos se mezclan para absorber o restar ciertos tonos de la luz incidente y reflejar un color más oscuro. Para cada método de síntesis del color existen varios modelos o formas de representar al color. Un modelo de composición del color genera a un espacio de color que puede tener de una a cuatro dimensiones relacionadas con sensaciones cromáticas elementales en el ojo humano. Algunos de los espacios de color son el CIE 1931, las escalas de grises, los subespacios rg y xy, el RGB, HSV, YCbCr, CMYK,  $L^*c^*h^*$  y  $L^*a^*b^*$ , entre otros (Parramón, 1993).

En este trabajo se usó el espacio de color  $L^*a^*b^*$  o CIELAB para especificar la composición del color de las frutas debido a que se correlaciona bien con la forma en que el ojo humano percibe el color y porque actualmente es uno de los espacios de color más aceptados y usados en el mundo.

El espacio de color  $L^*a^*b^*$  emplea tres dimensiones o coordenadas que son: la luminancia ( $L^*$ ), el gradiente verde-rojo ( $a^*$ ) y el gradiente azul-amarillo ( $b^*$ ), Fig. 1. La luminancia se refiere al contenido de blanco o negro.  $a^*$  y  $b^*$  son coordenadas cromáticas, donde  $-a^*$  corresponde al verde y  $+a^*$  al rojo; mientras que  $-b^*$  son tonos azules y  $+b^*$  son amarillos.



**Figura 1** Espacio de color  $L^*a^*b^*$  o CIELAB Fuente: Konica-Minolta, 2018

La combinación lineal de las dimensiones  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  genera a todo un espacio de colores. Cabe mencionar que el concepto de color se aplica sólo a la radiación electromagnética perceptible por el ojo humano; en bandas espectrales no visibles sólo se mide la intensidad. Para realizar las mediciones se utilizó un colorímetro con una lámpara que ilumina a la fruta y luego analiza la luz que refleja.

## Métodos y materiales

Para este estudio se escogieron cuatro tipos de frutas con alta producción y demanda en México que son: guayaba, aguacate Hass, mango Manila, y plátano Tabasco, Fig. 2.



**Figura 2** Ejemplares de frutas inmaduras de guayaba (A), aguacate Hass (B), mango Manila (C) y plátano Tabasco (D) que fueron utilizadas en el estudio.

Se usaron 15 ejemplares inmaduros de cada fruta y cada día se les midió el color con un colorímetro.

## Manejo de los ejemplares

Los ejemplares de las diferentes frutas fueron seleccionados al azar. Después, los ejemplares fueron lavados con agua y jabón para eliminar la suciedad y otros agentes externos que pueden afectar a las mediciones, Fig. 3. De esta manera se minimizan los posibles errores en la cuantificación del color de las frutas.

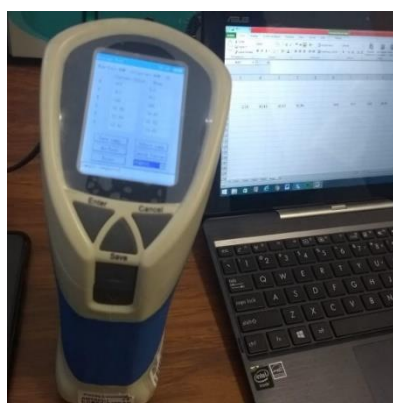


**Figura 3** Lavado de las frutas con agua y jabón

Además, cada ejemplar fue identificado con una etiqueta y almacenado a temperatura ambiente. Los especímenes no fueron apilados durante su almacenamiento, sino que fueron colocados en cavidades individuales que evitaron que sufrieran daños que afectarían su condición física.

## Medición del color en las frutas

El dispositivo utilizado para la medición colorimétrica de los frutos fue un colorímetro ATM501U, Fig. 4.



**Figura 4** Colorímetro ATM501U

El primer paso en cada sesión de medición fue la calibración del colorímetro. El procedimiento de calibración diaria consistió en realizar dos mediciones. La primera medición corresponde al patrón negro, que se conoce como calibración a cero, y se hizo midiendo una cavidad totalmente oscura. La segunda medición es la calibración del blanco que se realizó con un disco plano de ópalo finamente pulido.

Después, se determinó el color promedio de cada ejemplar diariamente durante un cierto periodo. El color promedio diario de cada ejemplar fue calculado a partir de 10 mediciones en secciones aleatorias de la superficie de la fruta, Fig. 5.



**Figura 5** Medición del color en secciones aleatorias de la superficie de las frutas

Luego, se promedió el color promedio de los 15 ejemplares de fruta para obtener el color del día. Las mediciones se realizaron en el espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$ .

### Periodos de medición en las frutas

La medición del color abarcó toda la etapa de maduración organoléptica, desde que el fruto fue cosechado hasta que comenzó su putrefacción o senescencia, Fig. 6.



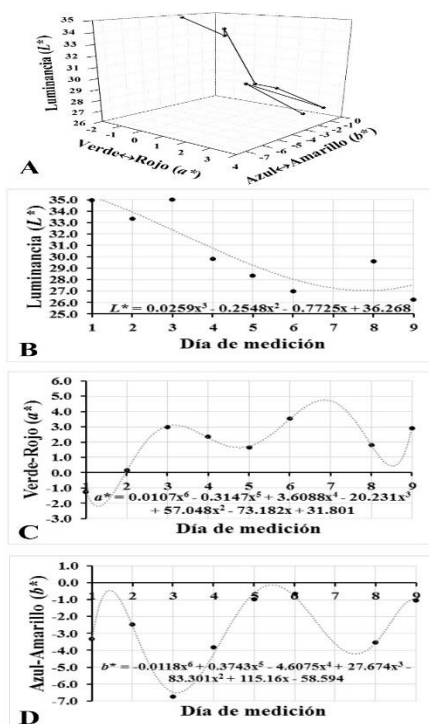
**Figura 6** Ejemplares de guayaba (A), aguacate Hass (B), mango Manila (C) y plátano Tabasco (D) que están comenzado su senescencia

El total de días en que se midió el color fue diferente en cada fruta, ya que algunos tipos de fruta maduran más rápido. Para las guayabas, el periodo de medición fue de 15 días; mientras que para los aguacates Hass el tiempo en que se realizaron las mediciones fue de 9 días. En los mangos Manila las mediciones se hicieron por 16 días y en los plátanos Tabasco el periodo fue de 13 días. Al finalizar estos periodos de medición los especímenes ya no eran aptos para consumo humano y se dio por terminado el proceso de medición.

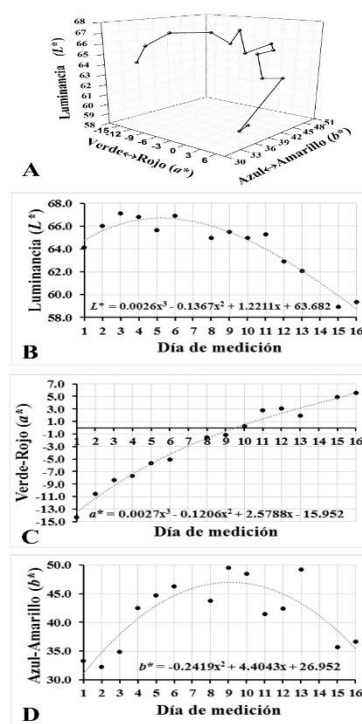
De esta manera, se determinó la evolución temporal del color superficial de las frutas. Esto permitió la definición de colores característicos que están asociados a las principales etapas de maduración de las frutas. Con los colores característicos del proceso de maduración de cada tipo de fruta se generaron patrones de etiquetas para ayudar a los consumidores a identificar fácilmente el punto óptimo de maduración de estas frutas o para determinar si están inmaduras o pasadas por 3 días.

### Resultados

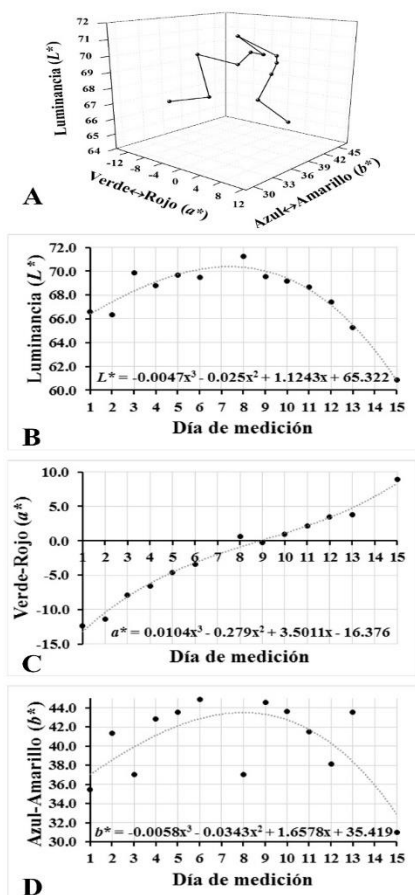
Los Gráficos 1, 2, 3, y 4 presentan la evolución temporal del color promedio de 15 ejemplares de guayaba, aguacate Hass, mango Manila y plátano Tabasco durante su maduración organoléptica. En cada una de estas imágenes se muestran cuatro gráficas que describen la evolución temporal del color en los diferentes tipos de fruta empleando el espacio  $L^*a^*b^*$  (A); así como la luminancia  $L^*$  (B) y las coordenadas cromáticas  $a^*$  (C) y  $b^*$  (D), individualmente. En la parte A de estos gráficos cada punto representa el color promedio de la fruta en un día diferente. En las partes B, C y D se incluye un ajuste polinomial que describe matemáticamente el cambio en las coordenadas cromáticas como función del tiempo.



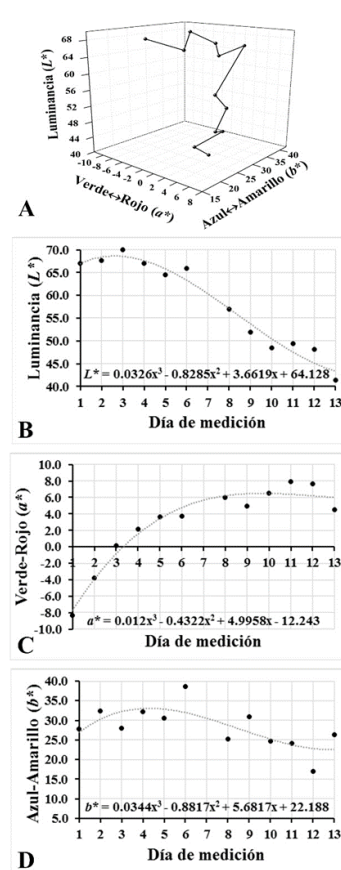
**Gráfico 1** Evolución temporal del color promedio de los especímenes de guayaba durante su maduración organoléptica empleando el espacio de color  $L^*a^*b^*$  (A); así como la luminancia  $L^*$  (B), y las coordenadas cromáticas  $a^*$  (C) y  $b^*$  (D) de manera individual



**Gráfico 3** Evolución temporal del color promedio de los mangos Manila durante su maduración organoléptica empleando el espacio de color  $L^*a^*b^*$  (A); así como la luminancia (B), y las coordenadas cromáticas  $a^*$  (C) y  $b^*$  (D) individuales



**Gráfico 2** Evolución temporal del color promedio de los aguacates Hass durante su maduración organoléptica empleando el espacio de color  $L^*a^*b^*$  (A); así como la luminancia  $L^*$  (B), y las coordenadas cromáticas  $a^*$  (C) y  $b^*$  (D) de manera individual.



**Gráfico 4** Evolución temporal del color promedio de los plátanos Tabasco durante su maduración organoléptica empleando el espacio de color  $L^*a^*b^*$  (A); así como la luminancia (B), y las coordenadas cromáticas  $a^*$  (C) y  $b^*$  (D) de manera individual

En los mapas de color (parte A de los Gráficos 1, 2, 3 y 4) se observa el cambio del color promedio de las frutas. En estas gráficas, el color se representa como un punto localizado en un espacio tridimensional. Aunque estas gráficas contienen toda la información colorimétrica, su interpretación puede ser compleja. Para facilitar el análisis e interpretación de la información colorimétrica se graficaron los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$  de manera individual y como función del tiempo o día de medición ( $x$ ).

En el caso de las guayabas tanto la luminancia, como la coordenada  $b^*$  alcanzaron su máximo valor en el noveno día (Gráficos 1B y 1D); mientras que la coordenada  $a^*$  (que indica el contenido de verde [ $-a^*$ ] o rojo [ $+a^*$ ]) alcanzó un valor de cero justo en ese mismo día, Gráfico 1C. Las guayabas inmaduras tienen una coloración verde y las maduras se tornan amarillas por su alto contenido de carotenos. Por lo tanto, se puede decir que estas frutas alcanzaron su punto óptimo de maduración cuando  $a^*$  fue igual a cero, y su luminancia y tonalidad amarilla ( $L^*$  y  $b^*$ ) adquirieron valores máximos.

Para los aguacates Hass (Gráfico 2), el comportamiento de la luminancia y la coordenada  $b^*$  fue totalmente distinto que en las guayabas. Su luminancia disminuye con el tiempo debido a que al madurarse los aguacates pasan de verdes a tonos oscuros, Gráfico 2B. Los aguacates Hass alcanzaron su punto óptimo de maduración al segundo día de medición ya que en ese momento su coordenada  $a^*$  fue igual a cero, Gráfico 2C. La coordenada  $b^*$  se mantuvo en valores negativos indicando que los aguacates conservaron una ligera tonalidad azulada (Gráfico 2D); sin embargo, la variación de esta coordenada cromática no aportó información concluyente acerca de su maduración.

El Gráfico 3 presenta los parámetros colorimétricos correspondientes al mango Manila. En la parte B, se observa que la luminancia se incrementó en los primeros cinco días de medición y luego disminuyó de manera monótona; sin embargo, no se encontró una correlación evidente entre su luminancia y el proceso de maduración.

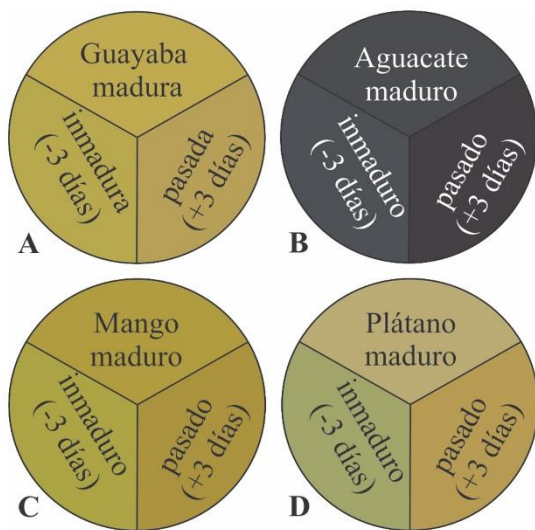
En el Gráfico 3C se observa que los mangos dejaron de tener una coloración verde entre el noveno y décimo día, y justamente en ese lapso alcanzó su máxima coloración amarilla (mayor contenido de carotenos), Gráfico 3D. Por esta razón se puede decir que los mangos Manila alcanzaron su punto óptimo de maduración cuando su coordenada cromática  $a^*$  fue igual a cero y simultáneamente su coordenada  $b^*$  adquirió un valor máximo.

Por otra parte, en el Gráfico 4 se muestran los resultados de la colorimetría de los especímenes de plátano Tabasco. Al igual que las guayabas, los ejemplares de plátano Tabasco alcanzaron valores máximos en su luminancia (Gráfico 4B) y en su coordenada  $b^*$  (Gráfico 4D) de manera simultánea entre el tercero y cuarto día de medición. Al mismo tiempo, la coordenada  $a^*$  tuvo un valor igual a cero (Gráfico 4C), indicando que justo en ese momento los plátanos dejaron de estar inmaduros. Por lo anterior, se encontró que los plátanos Tabasco llegaron a su punto óptimo de maduración entre el tercero y cuarto día de medición cuando su luminancia y coordenada  $b^*$  adquirieron valores máximos, y al mismo tiempo su coordenada cromática  $a^*$  fue igual a cero.

Los Gráficos 1, 2, 3 y 4 contribuyen a un mejor entendimiento acerca de la transformación que ocurren en el color de estas frutas durante el proceso de maduración. Y más aún, estos análisis colorimétricos permiten el establecimiento de relaciones cualitativas y cuantitativas que ayudan a determinar fácilmente el día en que una fruta alcanzará su punto óptimo de maduración sólo mediante su color externo; así como cuando esta inmadura o pasada por un determinado número de días. Así pues, estas etapas distintivas del proceso de maduración pueden ser asociadas a colores definidos mediante el análisis colorimétrico de las frutas.

### Etiquetas colorimétricas

Con el análisis colorimétrico de los ejemplares de guayaba, aguacate Hass, mango Manila y plátano Tabasco se generaron patrones para etiquetas circulares divididas en tres secciones iguales, Fig. 7.



**Figura 7** Patrones de etiquetas para determinar el grado de maduración de guayabas (A), aguacates Hass (B), mangos Manila (C), y plátanos Tabasco (D) a través de su color externo. También se indica el número de días que faltan para que la fruta alcance su punto óptimo de maduración o los días que han pasado.

En la Fig. 7, cada sección de los círculos fue rellena con el color promedio de una fruta inmadura, madura o pasada. En el caso de las frutas inmaduras y pasadas se utilizó el color promedio que tienen los ejemplares 3 días antes o después de su punto óptimo de maduración para abarcar una semana completa.

La intención de generar estos patrones con colores es imprimirlos en papel autoadherible para crear etiquetas que sean pegadas por el productor en cada una de las frutas. De esta manera, el consumidor podrá comparar visualmente y lado a lado el color actual de la fruta con los colores de referencia en la etiqueta colorimétrica para determinar su grado de maduración.

Cabe recordar que la maduración de las frutas es un proceso continuo y, por lo tanto, el color de las frutas cambia con el tiempo. Por esta razón, el color de la fruta podría no coincidir exactamente con alguno de los colores en la etiqueta al momento de la comparación. Sin embargo, aun así, el consumidor podría determinar a cuál color de referencia se parece más el tono de la fruta.

## Conclusiones

En este trabajo se estudió la relación que existe entre el proceso de maduración organoléptica de cuatro tipos de frutas y su color externo mediante colorimetría.

Para este estudio empleamos ejemplares de guayaba, aguacate Hass, mango Manila y plátano Tabasco. Se midió el color externo promedio de estas frutas desde que los ejemplares fueron cortados hasta el momento en que habían sobrepasado su punto óptimo de maduración y ya no eran aptos para consumo humano. Se analizó el comportamiento del color externo de las frutas. En el caso de la guayaba y el plátano Tabasco, el punto óptimo de maduración se alcanzó cuando la luminancia y la coordenada cromática  $b^*$  lograron valores máximos, y al mismo tiempo la coordenada  $a^*$  fue igual a cero debido a un mayor contenido de carotenos. Para el aguacate Hass sólo la coordenada cromática  $a^*$  tuvo correlación con la maduración y el punto óptimo de maduración se dio cuando  $a^*$  fue cero.

En el mango Manila, las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  tuvieron correlación con el proceso de maduración y se observó que estos mangos llegaron a su óptima maduración cuando  $a^*$  fue cero y  $b^*$  alcanzó un valor máximo. Por lo anterior, se concluyó que las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  son las que tienen mejor correlación con la maduración de las frutas por estar asociadas al contenido de pigmentos tales como los carotenos y las antocianinas. Esto se debe a que la concentración de dichos pigmentos aumenta durante la maduración de estas frutas y al mismo tiempo disminuye su coloración verde debido a la descomposición de las clorofilas. De hecho, se estableció el criterio de que cuando estas frutas llegan a su punto óptimo de maduración, su coordenada cromática  $a^*$  es igual a cero. Por otra parte, la evolución temporal del color superficial de las frutas permitió la definición de colores de referencia asociados a las etapas de inmadurez, madurez y senescencia.

Estos colores de referencia fueron colocados en patrones de etiquetas que el productor puede adherir a cada fruta. Las etiquetas le permiten al consumidor determinar fácil y rápidamente el grado o etapa de maduración de una fruta a través de la comparación visual y lado a lado del color externo de un ejemplar con los colores de referencia en la etiqueta, simplificando el proceso de selección.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, la División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, y la Rectoría del Campus Celaya-Salvatierra de la Universidad de Guanajuato.

## Referencias

- Almenar R. E., (2005). *Envasado activo de fresas silvestres*. Tesis doctoral, Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Artigas J. M., Perea P. C., Ramo J. P., (2002). *Tecnología del color*. 1<sup>ra</sup> ed., Universidad de Valencia, Valencia, España, pp. 429.
- Borja S., Percy M., Nevado C., Dick D., (2016). *Evaluación del color del epicarpio de tomate (Solanum lycopersicum) en el espacio cromático CIElab, en relación con sus propiedades fisicoquímicas, en el proceso de maduración*. Tesis, Universidad de Sipán, Perú.
- Bowers J., (1992). *Food theory and applications*. Macmillan Pub. Int. Ed. Nueva York, USA, pp. 952.
- Cote Daza S. P. (2011). *Efecto de la intensidad de la radiación UVC sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, La Plata, Argentina, pp. 85.
- Eroski Consumer, (2018). *Frutas*. Consultada en <http://frutas.consumer.es/info/maduracion> (fecha de consulta 30-06-2018).
- Hughes K., Ong C. N. (1998). Vitamins, selenium, iron, and coronary heart disease risk in Indians, Malays, and Chinese in Singapore. *J Epidemiol Community Health* 52(3): 181-185.
- Hunt R. W., (1991). Revised color-appearance model for related and unrelated colors. *Col. Res. Appl.* 16, pp. 146-165.
- Hunt R. W., (1994). An improved predictor of colorfulness in a model of color vision. *Col. Res. Appl.* 19, pp. 23-33.
- Jacob R. A., Burri B. J., (1996). Oxidative damage and defense. *Am J Clin Nutr.* 63(6): 985-990.
- Kenneth R., Harding J., Byrne T. G., (1993). Colorimetric analysis of gerbera flowers. *Hort Science* 28: 735-737.
- Konica-minolta (2008). "Color spaces". Consultada en <http://sensing.konica-minolta.com.mx/learning-center/color-measurement/color-spaces/> (fecha de consulta 30-06-2018).
- Küppers, H., (2005). *Fundamentos de la teoría de los colores*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España.
- Moccia S., Monaco E., Oberti A., Chiesa Á., (2007). Evaluación comparativa de índices de calidad a cosecha y post cosecha en seis variedades de frutilla (Frutilla x ananassa Duch.). *En memorias del V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*. Cartagena, España, pp. 432-441.
- Parramón, J. M., (1993). *El gran libro del color*. Parramón ediciones, Barcelona, España.
- Prieto B., Carballo J., (1997). El control analítico de la calidad en los productos cárnicos crudos-curados. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 1(5): 112-120.
- Prior R. L., Wu X., Schaich K., (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem* 53 (10): 4290-4302.
- Pujol J., Capilla P. P., Artigas J. M., (2002). *Tecnología del color*. Editorial Universitat de València, Servei de Publicacions, España.
- Samson J., (1985). *Tropical fruits*. Longman. Malden, MA, USA, pp. 336.
- Shamaila M., Baumann T. E., Eaton G. W., Powrie W. D., Skura B. J., (1992). Quality attributes of strawberry cultivars grown in British Columbia. *Journal of Food Science* 57(3): 696-699.

Vignoni L. A., Césari R. M., Forte M., Marabile M. L., (2006). Determinación del índice de color en ajo picado. *Información Tecnológica* 17(6): 63–67.

Wagner D., Burton G.W., Ingold K.U., Locke S., (1985). Quantitative measurement of the total peroxy radical-trapping antioxidant capability of human blood plasma by controlled peroxidation. *FEBS Lett.* 187: 33-40.

Zelanski, P. y Fisher M. P., (2001). *Color*. Editorial Tursen y M. Blume, Madrid, España.