

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

LA POLINIZACIÓN MANUAL Y SU EFECTO SOBRE LA REVERSIÓN DE COLOR EN ZARZAMORA (*Rubus spp* cv. Tupy).

JOSÉ ANTONIO ZACARÍAS ALEJOS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **LA POLINIZACIÓN MANUAL Y SU EFECTO SOBRE LA REVERSIÓN DE COLOR EN ZARZAMORA (*Rubus spp* cv. Tupy)**. realizada por el alumno: **JOSÉ ANTONIO ZACARÍAS ALEJOS** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Sergio Humberto Chávez Franco

ASESORA



Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada

ASESOR



Dr. Alberto Enrique Becerril Román

ASESOR



M.C. Alfonso Muratalla Lúa

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2017

La polinización manual y su efecto sobre la reversión de color en zarzamora (*Rubus spp cv. Tupy*).

José Antonio Zacarías Alejos, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017.

RESUMEN

En zarzamora (*Rubus spp.*) se presenta un fenómeno conocido como reversión de color o células rojas que se caracteriza por la presencia de drupeolas rojas en frutos que fueron retirados de un período de almacenamiento refrigerado, principalmente a 1- 2 °C por 5 días. Existen pocos trabajos que aborden el tema, siendo la información existente limitada. Por lo que con el fin de comprender mejor el fenómeno se evaluó el efecto que causa la polinización manual y natural (polinización entomófila) sobre la reversión de color en drupeolas de zarzamora. Para determinar el comportamiento de color en los frutos se usó un Sistema de Visión Computarizada (SVC), el cual consiste en un sistema de iluminación controlada, un celular y una computadora (Laptop). El procesamiento de imágenes se llevó a cabo usando el software Photoshop® CS3 Extended, con las que se obtuvieron imágenes promediadas en coordenadas L*, a* y b*. Los frutos de zarzamora polinizados manualmente y de forma natural fueron almacenados en refrigeración a 2 ± 1 °C, durante 13 días, se tomaron fotografías cada 24 horas, con la que se evaluaron las variables de porcentaje de reversión de color, los componentes de color a* y b*, así como el ángulo de tono (hue) y la saturación o croma. Se encontraron diferencias significativas entre las variables a*, b*, ángulo de tono y croma; sin embargo, en cuanto al porcentaje de reversión, los frutos polinizados manualmente presentaron el menor porcentaje. El fenómeno se presentó en frutos polinizados manualmente y con polinización natural al tercer día de almacenamiento refrigerado.

Palabras clave: drupeolas rojas, células rojas, Sistema de Visión Computarizada, almacenamiento refrigerado, color.

Manual pollination and its effect on blackberry (*Rubus spp* cv. Tupy) 's `color reversion` disorder.

José Antonio Zacarías Alejos, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017.

ABSTRACT

Blackberry (*Rubus spp.*) shows a phenomenon known as 'Color reversion' or red areas characterized by the presence of red drupelets in fruit that were kept during 5 days in a cold storage at 1 or 2 °C. There are few studies about this problem, so the information is limited. This research tries to understand this problem evaluating the effect of manual pollination against natural (by insects, wind) over the 'color reversion' on blackberry's drupelets. To measure color a Computer Vision System (CVS) was used, it has an illumination system, a smartphone camera and a laptop. Pictures were processed with a program named Photoshop CS3 Extended to get a* and b* coordinates. Blackberry fruits manual or natural pollinated were cold stored at 2 ± 1 °C, for 13 days, pictures were taken every 24 hr. to evaluate variables like percentage of 'color reversion', color components a* and b*, besides Hue angle and saturation o chroma index. Significant statistical differences were founded between a* and b*, hue angle and chroma. Fruits pollinated manually showed lower percentage of `color reversion`. After three days of been under cold storage `color reversion` appears in both manual and natural pollinated fruits.

Keywords: red drupelets, red cells, Computerized Vision System, refrigerated storage, color.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por brindar el apoyo económico para la realización de este trabajo de investigación y permitirme crecer en el ámbito profesional.

Al **Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo** por facilitarme el acceso a la educación y a la mejora continua.

Al **Dr. Sergio Humberto Chávez Franco** por la confianza puesta en mi persona para llevar a término este proyecto, por su apoyo, disponibilidad, amistad y asesoría en el proyecto de investigación.

A la **Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada** por la disponibilidad, asesoría, comprensión, y guía durante el análisis de datos estadísticos.

Al **Dr. Alberto Enrique Becerril Román** por el apoyo mostrado durante el proyecto de investigación, así como las atinadas observaciones en este trabajo.

Al **M. C. Alfonso Muratalla Lúa** por ser pieza clave en esta investigación, por la asesoría sobre el manejo del cultivo, así como las facilidades otorgadas para la obtención del material vegetal y disponer de un espacio donde llevar a cabo el experimento.

Al **Dr. Héctor González Rosas** por la disponibilidad para fungir como sinodal en el examen de grado.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz** por las facilidades otorgadas para el uso del Laboratorio Pots cosecha, así como el

Al **Sr. Arturo Veloz** por el apoyo brindado en el trabajo de laboratorio, por su tolerancia y guía en el uso del material de laboratorio.

Al programa de **Fruticultura**, al personal docente por transmitir los conocimientos de forma amena y mostrar disponibilidad para comprensión de ideas en todo momento, al personal administrativo por las facilidades otorgadas al momento de realizar algún trámite.

DEDICATORIA

A **mi poder superior** por permitirme seguir en pie de lucha.

A mi **Madre** (†) por haberme enseñado el valor de la educación, así como acompañarme en todo momento por los senderos difíciles.

A mi esposa **Yeniba Vianey** por alentarme a seguir adelante, otórgame la confianza y comprensión en todo momento, y permitirme escribir el libro de mi vida a su lado.

A mi hermana **Lurdes** por ser una figura alentadora en mi vida, por todo el apoyo que he recibido y por ser uno de los pilares importantes en mi camino.

A mi segunda familia **Everardo Molina y Rosa Bernabé**, por todo el apoyo recibido en esta nueva etapa de mi vida, a aquellos que se han convertido en mis pequeños hermanos **Emanuel, Dalila y Josué**, por regalarme muy buenos momentos.

A **Mariel del Rosario S., y Benjamín G.**, porque sin su apoyo este trabajo no hubiese llegado a término, por la buena amistad brindada y su aliento en los momentos difíciles, un especial agradecimiento a la familia **Sánchez-Vidaña**, por el apoyo durante la última etapa de este proyecto.

A **Berenice** mi amiga de aventuras y locuras, a mis buenos amigos **Carlos Daniel, Carlos Alberto “el pollo”, Martin, Roberto Carlos, Antonio Morgado** por los momentos agradables compartidos, a mis amigas **Anahí y Areli**, por sus palabras de aliento y momentos agradables, así como a **Gaby, Viviana y Rosario**.

A aquellos de amigos que nunca se han ido y siempre han permanecido fieles a nuestra amistad **Marcos Fernando C., Elvia E., Lourdes S., Nancy T., Miguel Ángel C., Ángel C., David S.**, y en especial dedicatoria a **Sergio R.** (†), en donde te encuentres amigo, gracias por los buenos momentos.

Con especial afecto por su amistad **Olivia M., Rosa Isel M., Alberto M., Norma M, Irene R, Noemí R, Juan A. P.**

A mis estimados profesores que me fueron pieza clave en mi educación **Rosa Isela Salvador y Osvaldo Gutiérrez**.

A todos mis **sobrin@s**, que son demasiados para nombrar, pero saben que son parte importante en mi vida, gracias por la amistad brindada, así como, ser cómplices de travesuras y locuras, y sobre todo por el respeto y la admiración mutua.



CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	v
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades de la zarzamora	3
2.2. Fenología de la zarzamora	4
2.2.1. Planta.....	4
2.2.2. Flor y fruto.....	4
2.3. Origen y distribución de la planta de zarzamora	5
2.4. Variedades.....	6
2.5. Importancia mundial y nacional de la zarzamora	6
2.6. Las antocianinas	8
2.6.1. Estructura de las antocianinas	8
2.6.2. Biosíntesis de antocianinas	10
2.6.3. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas.....	11
2.7. La reversión de color en zarzamora.....	12
2.8. El color y su relación con la calidad de frutos	14
2.9. El Sistema de Visión Computarizada como herramienta de evaluación de color.	16
2.10. La polinización en Zarzamora	20
CAPÍTULO III. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	26
3.1. OBJETIVOS.....	26
3.2. HIPOTESIS	26
CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1 Establecimiento del experimento	27



4.2 Manejo de plantas.....	29
4.2.1 Aplicación de Ácido Giberélico y TDZ.....	29
4.2.2 Polinización Manual.....	30
4.3 Diseño experimental.....	31
4.4. Sistema de Visión Computarizada (SVC).....	34
4.4.1 Escenario de Toma de Imagen Digitalizada.....	34
4.4.2. Computadora y Software para el procesamiento de la imagen.....	34
4.4.3. Preparación de las muestras.....	35
4.4.4. Captación de imágenes.....	35
4.4.5. Procesamiento.....	35
4.4.6. Segmentación.....	36
4.5. Cálculo del porcentaje de reversión de color.....	37
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1. Porciento de reversión de color en frutos de zarzamora.....	38
5.2. Imágenes promediadas de las drupeolas de zarzamora.....	39
5.3. Luminosidad.....	43
5.4. Coordenadas a* y b*.....	49
5.5. Coordenadas polares Ángulo de Tono (hue) y Croma.....	60
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	71
CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA.....	73
CAPÍTULO VIII. ANEXOS.....	82



LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Volumen y valor de producción de zarzamora y participación por entidad	8
Cuadro 2. Descripción de tratamientos de frutos polinizados de dos distintas maneras	33
Cuadro 3. Evolución de la coloración en drupeolas de zarzamora polinizadas manualmente y almacenados durante 13 días a 2 ± 1 °C.....	40
Cuadro 4. Evolución de la coloración en drupeolas de Zarzamora con polinización natural y almacenados durante 13 días a 2 ± 1 °C.....	42
Cuadro 5. Evolución en los valores de Luminosidad (L^*) de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).....	45
Cuadro 6. Comparación del efecto medio de los tratamientos en dos periodos, día 0 y día 13, sobre L^* en drupeolas de zarzamora.....	46
Cuadro 7. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre L^* en drupeolas de zarzamora a final del experimento.....	47
Cuadro 8. Comparación del valor de luminosidad en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.....	48
Cuadro 9. Evolución en los valores del parámetro a^* de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).	50
Cuadro 10. Comparación del efecto medio de los tratamientos entre el día 0 y día 13, sobre a^* en drupeolas de zarzamora.	51
Cuadro 11. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre a^* en drupeolas de zarzamora a final del experimento.....	52
Cuadro 12. Comparación del valor del componente de color a^* en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.....	53
Cuadro 13. Evolución en los valores de la coordenada b^* de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).....	55
Cuadro 14. Comparación del efecto medio de los tratamientos entre el día 0 y día 13, sobre b^* en drupeolas de zarzamora.	56
Cuadro 15. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre b^* en drupeolas de zarzamora a final del experimento.....	57
Cuadro 16. Comparación del valor del componente b^* en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.....	58
Cuadro 17. Evolución en los valores del ángulo de tono de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).....	62
Cuadro 18. Comparación del efecto medio de los tratamientos en dos periodos, día 0 y día 13, sobre el ángulo de tono en drupeolas de zarzamora.....	63



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



Cuadro 19. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre el valor del ángulo de tono en drupeolas de zarzamora a final del experimento.	64
Cuadro 20. Comparación del valor del ángulo de tono en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.	65
Cuadro 21. Evolución en los valores de Croma (C*) de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).	66
Cuadro 22. Comparación del efecto medio de los tratamientos en dos periodos, día 0 y día 13, sobre cromina en drupeolas de zarzamora.	67
Cuadro 23. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre cromina (C*) en drupeolas de zarzamora a final del experimento.	68
Cuadro 24. Comparación del valor del ángulo de tono en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.	69



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura y sustituyentes de las antocianinas	9
Figura 2. Ruta general de biosíntesis de antocianinas	11
Figura 3. Presencia de la reversión de color en dos cultivares de zarzamora A) Kiowa y B) Tupy, después de un periodo de almacenamiento refrigerado a $2 \pm 1^\circ\text{C}$	13
Figura 4. Curva de crecimiento doble sigmoide para una baya (Ali <i>et al.</i> , 2011)..	22
Figura 5. Establecimiento de plantas de Zarzamora, A) Llenado de bolsas; B) instalación de plantas y C) preparación de sustrato.....	27
Figura 6. Distribución de plantas de las distintas variedades de zarzamora usadas en el experimento.....	28
Figura 7. Plantas de zarzamora A) antes de la defoliación y B) posterior a la defoliación.....	29
Figura 8. A) Flor de zarzamora en estado de antesis (estado de palomita), B) eliminación de pétalos y cáliz, C) flores cubiertas una vez polinizadas.....	30
Figura 9. Escala de color CIEL*a*b* y su transformación a coordenadas polares Cromo (C*) y Ángulo de Tono (Hue).	31
Figura 10. División del fruto en cuatro secciones para estudiar la reversión de color en la circunferencia del fruto, así como en la sección superior.	32
Figura 11. Componentes del SVC usado para la obtención de los componentes de color L*, a*, b*.	37
Figura 12. Porcentaje de reversión de color en tratamientos polinizados manualmente comparados con tratamientos que tuvieron una polinización natural en frutos de zarzamora (<i>Rubus spp.</i>).....	38
Figura 13. Cambios en la luminosidad (L*) en drupeolas de zarzamora cv. Tupy polinizados manual y naturalmente evaluados a través de 13 días de almacenamiento refrigerado a $2 \pm 1^\circ\text{C}$	43
Figura 14. Cambios en la coordenada a* en drupeolas de zarzamora cv. Tupy polinizados manual y naturalmente evaluados a través de 13 días almacenamiento refrigerado a $2 \pm 1^\circ\text{C}$	49
Figura 15. Cambios en el componente de la coordenada b* en drupeolas de Zarzamora cv. Tupy polinizados manual y naturalmente evaluados a través de 13 días almacenamiento refrigerado a $2 \pm 1^\circ\text{C}$	54
Figura 16. Evolución del color de los distintos tratamientos polinizados manualmente.....	61
Figura 17. Evolución del color de los distintos tratamientos que tuvieron polinización natural.....	61



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En frutos y vegetales, las características que imparten calidad distintiva se pueden agrupar en cuatro atributos estos son, color y apariencia, sabor (gusto y aroma), textura y valor nutricional (Barrett *et al.*, 2010). El color es considerado el más importante atributo en la percepción de la calidad de un producto (Pedreschi *et al.*, 2006). El aspecto y color de la superficie del alimento son los primeros parámetros de calidad evaluados por el consumidor y es crítico en la aceptabilidad del producto, se asocia el color con el sabor, la seguridad, tiempo de almacenamiento, nutrición y nivel de satisfacción (Pedreschi *et al.*, 2006). Los consumidores manifiestan una fuerte preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva (Rettig y Ah-Hen, 2014). Se produce cierto rechazo por parte del consumidor, al percibir cambios y anomalías en la coloración de un producto (Cornejo *et al.*, 2013).

Una alteración en el color se presenta en zarzamora, la cual se conoce como reversión de color, está es un fenómeno que se caracteriza por la presencia de drupeolas rojas en frutos que hayan sido removidos de un período de almacenamiento refrigerado (5 días a 1-2 °C), también se le conoce como células rojas o drupeolas rojas (Perkins-Veazie y Clark, 2011). Se ha considerado que la reversión de color es causada principalmente por dos factores, uno genético y otro ambiental, se ha encontrado que el periodo de cosecha tiene relación con la reversión, frutos cosechados en un período temprano presentan mayor reversión de color, que aquellos cosechados en períodos medio o tarde, también se hace referencia al efecto temperatura, pues, mantener el almacenamiento refrigerado de 5 a 10 °C reduce la incidencia del fenómeno comparado con almacenar los frutos a 1.6 °C (Perkins-Veazie y Clark, 2011).



Los estudios que abordan el fenómeno de la reversión de color son limitados, sin embargo, los existentes sirvieron de base para plantear éste trabajo, se piensa que la polinización manual tiene relación directa sobre la reversión de color, debido a que cada una de las drupeolas en el fruto de zarzamora actúa como un fruto individual, por lo que, si se lleva a cabo la polinización de flores de zarzamora en un solo momento o en tiempos similares, se obtendrán drupeolas con la misma edad fenológica, y la concentración de antocianinas será homogénea dando como resultado una baja o nula incidencia de la reversión de color comparada con frutos que fueron polinizados naturalmente, en los que las edades de las drupeolas será más heterogénea, así como su concentración de antocianinas.

Para evaluar la evolución de color se hace mano de un sistema de visión computarizada que ha sido catalogado como una potente herramienta de inspección de calidad, la cual puede ser aplicada en reconocimiento de patrones en análisis de frutas y hortalizas (Saldaña *et al.*, 2013). El sistema de visión computarizado está relacionado con el procesamiento y análisis de imágenes, permitiendo la segmentación de color, cuantificación y clasificación de elementos de interés. La utilización de un sistema de visión computarizado es un instrumento para estimar los cambios en las características de color de los alimentos sumamente ventajosa (Saldaña *et al.*, 2013, Brosnan y Sun, 2004).

Una alternativa para la medición de color y que resulta adecuada en alimentos es el método de imágenes digitales (Sistema de Visión Computarizada), debido a su versatilidad, simplicidad y bajo costo (Yam y Papadakis, 2004). Un Sistema de Visión Computarizada (SVC) consiste en la instalación de un escenario iluminado, una cámara para la captación de imágenes y un computador para el procesamiento de estas, involucrando la segmentación y la clasificación de imágenes y objetos de interés en esas imágenes (Misimi *et al.*, 2007).



CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la zarzamora

El nombre científico de la zarzamora es *Rubus spp.* y pertenece a la familia de las Rosáceas (Morales, *et al*, 2010), su nombre científico deriva del latín “Ruber” (rojo), por el color de sus frutos” (Parra-León, 2011) pertenece al género *Rubus*, las zarzamoras son el producto del cruzamiento entre varios *Rubus* de frutos nativos de Norteamérica y de Europa, con *Rubus idaeus* (Muñoz-Rodríguez y Juárez, 1995).

El género *Rubus*, es uno de los géneros de plantas más numerosos con aproximadamente 750 especies y con mayor adaptación ambiental ya que sus especies se encuentran distribuidas en todo el mundo excepto en la Antártica (Alice Y Campbell, 1999), en su caso, Romoleroux, (1991) asegura que el género *Rubus* posee 700 especies alrededor del mundo, en especial en zonas templadas del hemisferio norte, agrupadas en 12 subgéneros, en cambio Muñoz-Rodríguez y Juárez (1995) señalan que el género *Rubus* comprende alrededor de 500 especies, siendo las especies *R. idaeus*, *R. occidentalis* y *R. strigosus* las cultivadas debido a la calidad de sus frutos.

Las especies de *Rubus* suelen ser muy variables, aparentemente como resultado de la frecuente reproducción apomíctica e hibridación. Los componentes mexicanos del género necesitan de una profunda revaloración debido al gran número de colectas que se han hecho recientemente (Cuevas, 2011).



2.2. Fenología de la zarzamora

2.2.1. Planta

La zarzamora es un arbusto espinoso que alcanza una altura de 150 a 200 cm y una anchura entre 100 y 150 cm; cuando es nuevo el follaje tiende a ser color verde claro el cual se torna verde oscuro al madurar la hoja (Pérez y Vázquez, 2004), tiene un hábito de crecimiento erecto por lo que debe ser cultivada en línea. La mayoría de las especies son deciduas (tiran las hojas durante el invierno). Con raíces y cañas perenes, estas últimas contando con espinas que varían en densidad e incluso existen algunos cultivares sin espinas. El género (*Rubus*) es prácticamente cosmopolita, se pueden encontrar todavía zarzamos silvestres en muchas partes del mundo (Chávez-Martínez, 2011).

2.2.2. Flor y fruto

Tienen hojas imparipinadas, compuestas por 3 o 5 folíolos peciolados, de forma elíptica ovada u obovada, con borde dentado o aserrado, de color verde oscuro por el haz y blanco-tomentosa por el envés. (Chávez-Martínez, 2011; Parra-León, 2011). La zarzamora es una polidrupa compuesta por pequeños glóbulos que contienen en su interior una semilla diminuta, es un arbusto sarmentoso de ramas arqueadas y espinosas, con hojas compuestas de 3 o 5 folíolos elípticos y de borde aserrado, dispuestos de forma palmeada. Sus flores crecen en racimos compuestos, con 5 sépalos y 5 pétalos blancos o rosados sobre un receptáculo ensanchado, con numerosos estambres. La zarzamora es rojiza al principio y finalmente negra brillante cuando madura. (Sánchez-García, 2009).



2.3. Origen y distribución de la planta de zarzamora

El origen de la zarzamora es muy antiguo, se dice que fue conocida en el mundo clásico de hace 2000 años atrás, como alimento, medicamento y como cercas de protección para las viviendas. Se le considera nativa de Europa y Asia, y posteriormente traída a América (Ortiz *et al.*, 2010). Sin embargo, Pérez-Barraza y Vázquez-Valdivia (2004) indican que la zarzamora es una especie nativa de América, la cual ha proliferado rápidamente llegando a colonizar grandes superficies, a su vez Parra-León (2011), afirma que, el origen de la zarzamora silvestre se desconoce y hasta el momento no se ha llevado a discusión alguna de su posible origen, dado que cuando llegaron los españoles al pueblo Azteca ya conocían el cultivo y lo llamaban “coatlantli” o “cuatlamitli” por tener una gran cantidad de grandes espinas curvadas que se asemejaban a los colmillos de las víboras.

En Estados Unidos y Canadá la zarzamora era abundante como planta nativa y los colonizadores la utilizaban como producto de recolección; a pesar de su utilización en diversos platillos y otros fines, a nadie le parecía atractivo practicar su cultivo de manera comercial por las características de la planta (demasiadas espinas) (Plan Rector de Zarzamora, 2013).

Fue hasta el siglo XVII que se domesticó el cultivar Evergreen, y el resto de los cultivares conocidos actualmente fueron producidos hasta el siglo XIX y XX. En América comenzaron a ser cultivadas por los años de 1850-1860, el tipo Himalaya y Evergreen de Europa fueron las primeras en introducirse. En 1867 se listaron 18 cultivares, la mayoría seleccionados de plantas nativas. En Norteamérica fue a fines del siglo XIX que comenzaron a establecerse huertos comerciales en forma notable (Parra-León, 2011).



2.4. Variedades

En México se han cultivado variedades como Cherokee, Comanche, Cheyenne, Shawnee, Choctaw y Brazos, originarias del programa de mejoramiento genético de la Universidad de Arkansas en E.U.A. (Chávez-Martínez, 2011). De acuerdo al Sistema Producto de Zanzamora, (2013), las variedades que se cultivan en la en la región productora de zanzamora de Michoacán son Shawnee, Cheyenne y Cherokee; las tres son plantas arbustivas semileñosas cuyo crecimiento es de forma erecta.

Otra variedad que se explota a nivel comercial es la variedad 'Tupy', según informa Parra-León, (2011) en los últimos años la demanda ha favorecido a 'Tupy' por lo que ha sustituido a 'Brazos', de manera muy rápida, debido a mayores atributos de firmeza que le da una mejor calidad de fruto básicamente en cuanto a vida postcosecha, por lo que, se hace más atractiva para exportación.

2.5. Importancia mundial y nacional de la zanzamora

La producción mundial de zanzamora para el año 2014 de acuerdo a las estadísticas de la FAO, sitúa a la República Islámica de Irán como principal productor con 313, 880 toneladas, que representa el 25.98% del total mundial, México se encontró en segundo lugar con una producción de 152, 922 toneladas, en tercer lugar se encuentre Vietnam, seguido de Papúa Nueva Guinea, Italia y Turquía, siendo estos los principales productores y sumando una producción del 72.61% respecto al total mundial. La producción mundial ascendió a 1, 208,077 toneladas de zanzamora para el año 2014 (FOASTAT, 2014). Cabe destacar que la producción de zanzamora se encuentra dentro del grupo de bayas o berries de acuerdo a la clasificación de la FAO.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



A nivel nacional la producción de zarzamora para el año 2014 fue de 152,921.52 toneladas, de los cuales el estado de Michoacán produjo 146,092.77 toneladas, que represento el 95.5% de la producción nacional. Los principales estados productores de zarzamora fueron Michoacán, Jalisco, Colima y Baja California sumando una producción nacional del 99.68 %, el resto del país produjo 0.32%, repartiendo dicho porcentaje entre los estados de Puebla, Estado de México, Querétaro, Morelos, Nayarit, principalmente (Cuadro 1).

La producción nacional de zarzamora del año 2015 mostro una disminución de 19.5% comparada con la producción del 2014, pasando de 152,921.52 toneladas a 123,090.56 toneladas, en este año Michoacán, Jalisco, Colima y Baja California siguieron siendo los principales productores, en el caso de los estado de Michoacán y Jalisco presentaron disminuciones en la producción del 20.48% y 3.2%, respectivamente, comparada con la producción del 2014, los estados que mostraron incrementos en la producción fueron Colima y Baja California, de 11.90% para Colima y 20.56% para Baja California.

En cuanto al valor de la producción nacional, SIAP reporta que para el año 2014 la producción de zarzamora produjo 5,111 millones de pesos (MDP), donde Michoacán apporto 4,990 MDP; tomando en cuenta dichas cifras notamos que la participación del estado de Michoacán fue del 97.6% de valor total de la producción nacional de zarzamora (Cuadro 1), para el año 2015 el valor de la producción disminuyo a 3,757 MDP, representando una reducción de 1,354 MDP, aproximadamente o lo que es lo mismo, 26.49% de reducción en el valor de producción del año 2014 a 2015.



Cuadro 1. Volumen y valor de producción de zarzamora y participación por entidad

ESTADO	2014		2015	
	Volumen (Miles de toneladas)	Valor (mdp)	Volumen (Miles de toneladas)	Valor (mdp)
Michoacán	146.09	4,990.62	116.17*	3,615.72**
Jalisco	4.53	43.29	4.38	42.17
Colima	1.36	48.88	1.53	54.14
Baja California	0.45	24.92	0.54	38.92
Puebla	0.28	0.42	0.27	3.08
México	0.12	1.88	0.12	1.75
Querétaro	0.02	0.31	0.03	0.41
Morelos	0.02	0.21	0.02	0.22
Nayarit	0.02	0.43	0.02	0.36
Resto del País	0.03	0.64	0.03	0.43
Total Nacional	152.92	5,111.59	123.09	3,757.20

*Producción de zarzamora en Miles de toneladas, **Valor de la producción de zarzamora en Millones de pesos. Fuente: SIAP, 2014, 2015.

2.6. Las antocianinas

2.6.1. Estructura de las antocianinas

Las antocianinas son flavonoides pigmentados responsables de la mayoría de los colores de las flores y los frutos (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009) son glucósidos de antocianidina, compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 C. Las variaciones estructurales en el anillo B, dan como resultado seis antocianidinas conocidas (Garzón, 2008). Las antocianinas se sintetizan a partir de la conversión de los precursores fenilalanina y acetato, vía el metabolismo del fenil propanoide, y se acumulan en las vacuolas de las células hipodermales (Valle-Leguizamón *et al.*, 2005), su síntesis y acumulación ocurre generalmente en las etapas finales de su desarrollo y maduración (Salinas-Moreno *et al.*, 2009), las más abundantes en la naturaleza son las del tipo 3-glucósido, tales como la cianidina- 3-glucósido, delfinidina-3-glucósido, malvidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido y petunidina-3-glucósido (Castañeda *et al.*, 2009).

El color particular de cada antocianina depende del número y orientación de los grupos hidroxilos y metoxilos. Un incremento en la hidroxilación produce un color azul, mientras un incremento en la metoxilación produce un color rojo (Cuevas *et al.*, 2008). Las antocianinas son las responsables de conferir los colores rojo, azul y violeta (Valle-Leguizamón *et al.*, 2005) representan un grupo de metabolitos vegetales responsables de la pigmentación (Dios-López *et al.*, 2011), solubles en agua, visibles al ojo humano (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011).

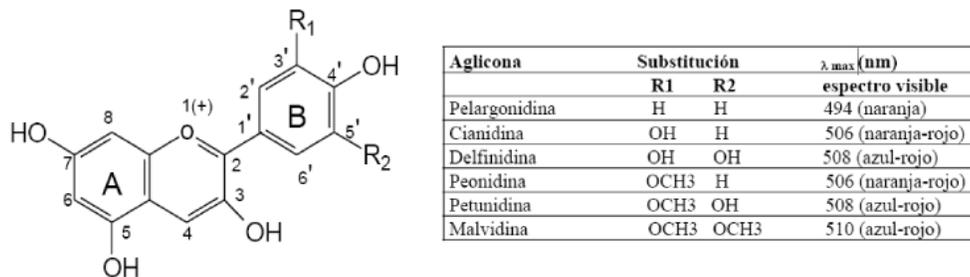


Figura 1. Estructura y sustituyentes de las antocianinas

Fuente: Garzón (2008).

Los efectos terapéuticos de las antocianinas están relacionados con su actividad antioxidante (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011) que tiene relevancia porque impide las reacciones de oxidación en cadena que desatan los radicales provenientes del metabolismo celular (Salinas-Moreno *et al.*, 2009).

La concentración y perfil de antocianinas varía entre especies, cultivares, estados de madurez, condiciones estacionales, áreas de producción, prácticas culturales y niveles de rendimiento. La luminosidad y la temperatura son las principales variables ambientales que regulan la síntesis de estos compuestos; la primera estimula las altas temperaturas parecen inhibirla (Valle-Leguizamón *et al.*, 2005).



2.6.2. Biosíntesis de antocianinas

Se ha establecido experimentalmente que el anillo A de las antocianinas se sintetiza por la ruta del ácido malónico con la condensación de tres moléculas de malonil-CoA, mientras que el anillo B se sintetiza por la ruta del ácido shikímico. El ácido shikímico da paso a la fenilalanina que por acción de una fenil amonio liasa (PAL) y, después de una pérdida de NH_3 se convierte en ácido p-coumárico. El p-coumaril-CoA luego participa en una reacción de condensación con las tres moléculas de maloni-CoA para formar una chalcona de 15 C, reacción propiciada por una chalcona sintetasa. Este compuesto intermedio de 15 C es transformado en una flavona en una reacción catalizada por una chalcona isomerasa. Finalmente, la flavona es transformada en la correspondiente antocianidina por una reacción de hidroxilación en el carbono 3 seguida por una deshidratación. La molécula de antocianidina se estabiliza por glicosilación del heterociclo; reacción en la que interviene una glicolisis transferasa y posterior posibles reacciones de metilación de hidroxilos seguidas de acilaciones (Garzón, 2008).

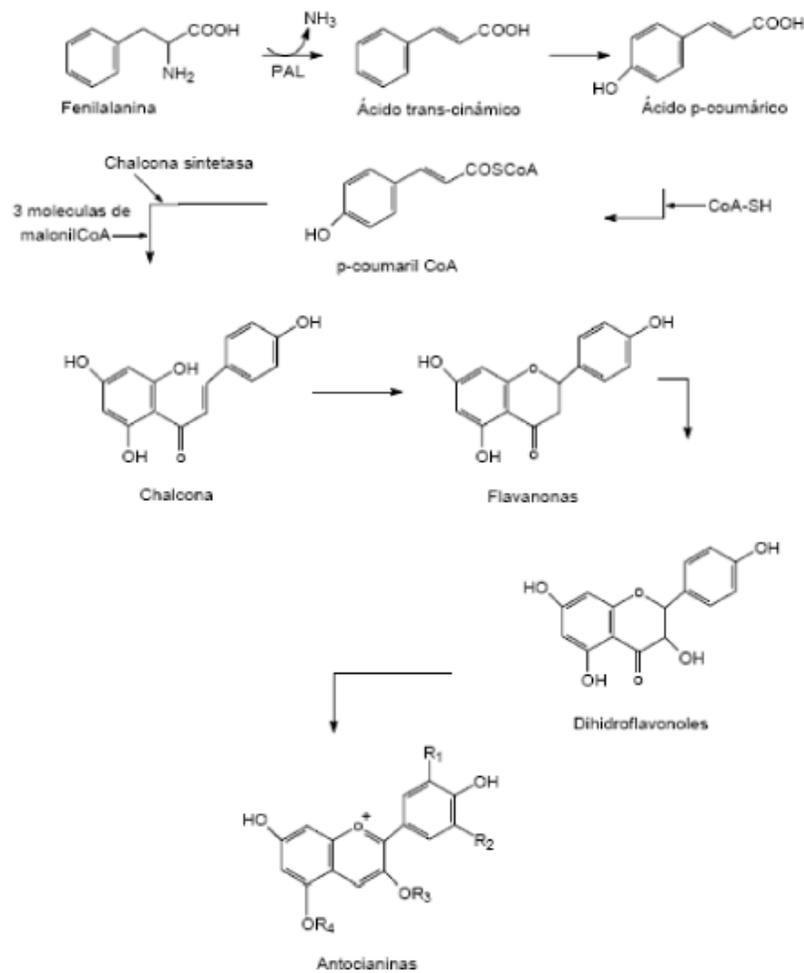


Figura 2. Ruta general de biosíntesis de antocianinas

2.6.3. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

La estabilidad de las antocianinas depende de factores como enzimas, luz, metales (Cuevas *et al.*, 2008) estructura química, pH, concentración, temperatura, presencia de oxígeno y ácido ascórbico, y actividad de agua de la matriz (Garzón, 2008). El pH tiene un efecto importante en la degradación del contenido de antocianinas y dicha degradación se hace menor a valores bajos de pH. (Martínez-Zambrano *et al.*, 2011; Aguilera-Ortiz *et al.*, 2009). Santacruz *et al.* (2012) encontraron que el color de los extractos, de cuatro frutas tropicales, motilón, coral, uva de árbol y mora, variaba con el pH y fue estable a pH ácido. La antocianina es destruida por el calor durante el procesamiento y almacenamiento.



Escalante-Aburto *et al.* (2013) indican que en maíces pigmentados durante la nixtamalización del grano se pierde gran cantidad de antocianinas, porque se degradan mediante solubilización, por la remoción del pericarpio y por la labilidad térmica. Asimismo Valle-Colchao *et al.* (2011), reportaron que existe un efecto sinérgico entre el tipo de empaque y temperatura de almacenamiento sobre la estabilidad de antocianinas de una fruta u hortaliza, el primero por efecto de presencia de oxígeno y el segundo por efecto de temperatura, ambos casos son factores que degradan las antocianinas.

2.7. La reversión de color en zarzamora

La reversión de color es un fenómeno que se caracteriza por la presencia de drupeolas rojas en frutos que hayan sido removidos de un período de almacenamiento refrigerado (5 días a 1-2 °C) (Perkins-Veazie y Clark, 2011), consiste en la pérdida del color púrpura, característico del fruto al momento de la cosecha, hasta tonalidades rojas, confiriéndole al fruto una apariencia de coloración irregular (Barrera-Moreno, 2003), también se le conoce como células rojas o drupeolas rojas, su ocurrencia fue rastreada 1992 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos al examinar el germoplasma de zarzamora para conferir una vida postcosecha adecuada (Perkins-Veazie y Clark, 2011), en México se ha presentado en diversas regiones productoras (Barrera-Moreno, 2003). La Figura 3 muestra el fenómeno de reversión de color en dos cultivares de zarzamora.

Se ha considerado que la reversión de color es causada principalmente por dos factores, uno genético y otro ambiental, Perkins-Veazie y Clark (2011) plantearon en primer término, la hipótesis que la reversión de color se presentaba con mayor frecuencia en selecciones con espinas que en selecciones sin espinas, sin embargo, después de varios años de mejoramiento genético y varias selecciones (5 años y 50 selecciones) encontraron que dicha relación no se encuentra bien definida, pues las selecciones sin espinas también llegaban a tener cierto grado de reversión de color.

A) cv. Kiowa



B) cv. Tupy



Figura 3. Presencia de la reversión de color en dos cultivares de zarzamora A) Kiowa y B) Tupy, después de un periodo de almacenamiento refrigerado a $2 \pm 1^\circ\text{C}$.

Asimismo Perkins-Veazie y Clark (2011), estudiaron el efecto del periodo de cosecha (temprano, medio y tarde), encontrando que frutos cosechados en un periodo temprano presentaron mayor reversión de color, además, señalan que los frutos cosechados en negro brillante presentan mayor reversión de color que aquellos cosechados en negro opaco. En cuanto al efecto de la temperatura, indican que mantener el almacenamiento en un rango de 5 a 10 °C reduce ligeramente la incidencia del fenómeno comparado a almacenar los frutos a 1.6 °C.

Se determinó la cantidad de antocianinas totales en algunas variedades de zarzamora, pensando que las variedades con mayor incidencia de reversión de color tendrían pérdida total de pigmentos, encontrando que no en todos los casos es verdadero, debido a que variedades como Arapho, que casi no presenta reversión de color, tiende a tener pérdida de antocianinas en comparación con otras con alta incidencia, como Shawnee. (Perkins-Veazie y Clark, 2011)



Así también se evaluó la acides individual de las drupeolas de variedades como Shawnee y Navaho, encontrando que en las drupeolas con reversión de color el pH fue de 3.04 y en las drupeolas normales fue de 3.41, con lo que las antocianinas mostraran un cambio visible debido a la variación del pH, sin embargo, el problema se complica, ya que no se encuentra determinado que tipo de pigmento de la zarzamora realizara dicho cambio en un rango tan estrecho de cambio de pH, por ejemplo de 3 a 3.5 (Perkins-Veazie y Clark, 2011). En otro estudio Perkins-Veazie y Fernández (2012), encontraron que las zarzamoras que exhibieron reversión de color fueron ligeramente menor en pH y contenían un 50 % menos antocianinas totales, pero, se indica que los perfiles de pigmentos similares en drupeolas rojas y negras indica que la cantidad de pigmentos más bien tiene un cambio en el tipo de pigmento, siendo la causa primaria de drupeolas rojas.

2.8. El color y su relación con la calidad de frutos

La percepción y reproducción del color es una cuestión que no sólo tiene que ver con un fenómeno físico, sino que también involucra aspectos perceptivos ligados a la visión (Nieves, *et al.*, 2010), es el resultado de una serie compleja de procesos en el sistema visual humano (Castro *et al.*, 2013). El color y su uniformidad son dos de las principales características que determinan la calidad de un fruto u hortaliza y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto (García-Taín *et al.*, 2011).

El análisis de color es frecuentemente una importante consideración cuando se determina la eficacia de una variedad de tratamiento postcosecha (McGuire, 1992). Si el color no es atractivo, el sabor y la textura no serán probadas con placer (Francis, 1980). El color es un atributo que ayuda a inferir en la calidad de un producto, causando cierto rechazo por parte del consumidor, al percibir cambios y anomalías en su coloración (Cornejo *et al.*, 2013).



En la industria alimentaria, el color es un parámetro en base al cual se realizan clasificaciones de productos, se evalúan materias primas, se hace control de procesos y se miden indirectamente otros parámetros (Delmoro *et al.*, 2010). Numerosas escalas y cartas de color se han desarrollado para realizar una clasificación subjetiva. Se han diseñado instrumentos portátiles que han permitido ampliar las mediciones que ofrecen exactitud, como los colorímetros (Padrón *et al.*, 2011). Los aspectos de color son dirigidos directamente en la tabla Munsell que especifica los elementos del color que son percibidos como valor, luminosidad (de negro a blanco), croma (grado de desviación del gris hacia el color cromático puro), y hue (rojo, naranja, amarillo, verde, etc.) (McGuire, 1992).

Para la visión y medida del color en alimentos se recurre a la utilización de coordenadas colorimétricas, entre las que se destacan las pertenecientes a los espacios de color RGB, CIE-XYZ y CIE-L*a*b; estos modelos tienen la particularidad de permitir su interrelación mediante la utilización de matrices de transformación (Castro *et al.*, 2013). Los parámetros de color L*, a* y b* en una muestra de alimento, designa: L* la luminosidad (0=negro y 100= blanco), siendo a* y b* las coordenadas cromáticas rectangulares (+a=rojo y -a=verde/+b=amarillo y -b=azul) (Padrón-Pereira, 2010). Además una medida más apropiada de medir el color es calculando el ángulo hue (h°) y Croma C*.

Hue y Croma pueden ser calculados de a* y b*, Croma C* es calculado como $(a^2 + b^2)^{1/2}$ y representa la hipotenusa de un triángulo rectángulo creado uniendo los puntos (0,0), (a*, b*) y (a*, 0). El ángulo hue será definido como el ángulo entre la hipotenusa y 0° en el eje a* (verde-azulado/rojo-púrpura), h es calculado del arco tangente de b*/a*. El arco tangente, sin embargo, asume valores positivos en el primero y tercer cuadrante y negativos en el segundo y cuarto cuadrante (McGuire, 1992).



2.9. El Sistema de Visión Computarizada como herramienta de evaluación de color.

En la industria de alimentos ha habido un rápido crecimiento desde la década pasada (Valencia y Millán, 2005), en América Latina es uno de los sectores económicos relevantes, debido a que muchos países de América Latina tienen productos alimenticios como parte de sus principales exportaciones (Aguilera *et al.*, 2005). La gran preocupación se centra en el control de calidad, debido a las nuevas restricciones de mercado en los últimos años, se ha vuelto tan importante que ha exigido una tecnología de proceso orientada hacia pruebas más confiables y nuevos métodos de monitoreo de la calidad del producto (Rafiq *et al.*, 2013). La capacidad de fabricar productos de alta calidad consistentemente es la base para el éxito en la industria alimentaria altamente competitiva (Gunasekaran, 1996).

Siendo que la calidad y seguridad son los principales motores en la industria alimentaria (Aguilera *et al.*, 2005), los métodos de aseguramiento de calidad utilizados en la industria alimentaria han implicado tradicionalmente la inspección visual humana. Tales métodos son tediosos, laboriosos, requieren mucho tiempo y son inconsistentes (Gunasekaran, 1996), por lo que las tecnologías de visión por computadora podrían resultar muy relevantes proporcionando mediciones objetivas de atributos visuales relevantes, relacionados con la calidad y seguridad de los alimentos, como la forma o el color (Aguilera *et al.*, 2005).

Hay dos procedimientos fundamentales para medir color: sensorial e instrumental, la medición sensorial hace uso de evaluadores entrenados que usan referencias como el Atlas RHS, las Guías Pantone, y el Sistema Munsell (Delmoro *et al.*, 2010). En el caso de evaluación de calidad usando inspección visual humana, resulta ser un método tedioso, laborioso, se pierde tiempo y resulta ser inconsistente (Gunasekaran, 1996). La evaluación instrumental se basa en el uso de colorímetros (Delmoro *et al.*, 2010).



Existen instrumentos colorimétricos de alto costo económico que presentan inherentemente carencias para describir completamente respuestas perceptuales cromáticas ante una multitud de parámetros visuales (Martínez-Verdú, 2001). Muchos instrumentos comerciales de medida del color no son muy adecuados para la investigación en alimentos, porque estos son diseñados principalmente para el control de calidad. Dado que estos instrumentos sólo pueden proporcionar valores medios, sería bastante difícil y requiere mucho tiempo si se utilizan para la medición de punto por punto en algunos lugares para obtener la distribución de color (Yam y Papadakis, 2004).

Las computadoras son uno de los grandes inventos en nuestros tiempos. En la actualidad el uso de las computadoras es amplio. Junto con la red informática mundial (World Wide Web), las computadoras han cambiado para siempre el camino de nuestra vida, revolucionando diversas áreas en las que el hombre está involucrado, y el campo del color no es la excepción (Vyawahare *et al.*, 2013). Los métodos objetivos de medición de color han experimentado cambios significativos en los últimos años con los avances en hardware y software y en la tecnología de la digitalización. Escáneres, cámaras y software como Adobe Photoshop están encontrando aplicaciones para la medición y monitoreo del color (Vyawahare *et al.*, 2013).

El sistema de visión artificial, también conocido como visión computarizada es una potente herramienta de inspección de calidad, la cual puede ser aplicada en patrones de reconocimiento para análisis de frutas y hortalizas (Saldaña *et al.*, 2013). Siendo una alternativa para la medición de color y que resulta adecuada en alimentos, debido a su versatilidad, simplicidad y bajo costo (Yam y Papadakis, 2004). Dichos sistemas remplazan a los inspectores en la evaluación de una variedad de atributos de calidad de alimentos procesados y crudos (Gunasekaran, 1996).



La visión computarizada es la ciencia que desarrolla la base teórica y algorítmica mediante la cual la información útil sobre un objeto o escena puede extraerse y analizarse automáticamente a partir de una imagen observada, un conjunto de imágenes o una secuencia de imágenes (Gunasekaran, 1996). Un Sistema de Visión Computarizada (SVC) consiste en la instalación de un escenario iluminado, una cámara para la captación de imágenes y un computador para el procesamiento de estas, involucrando la segmentación y la clasificación de imágenes y objetos de interés de esas imágenes (Misimi *et al.*, 2007). La visión por computadora se relaciona con el procesamiento y análisis de imágenes, permitiendo la segmentación del color, cuantificación y clasificación de elementos de interés (Saldaña *et al.*, 2013). El procesamiento y análisis de imágenes son reconocidos como el núcleo de la visión por computadora (González-Tomás y Costell, 2006).

La aplicación de la visión por computadora en la industria ha aumentado considerablemente en los últimos años y se pueden encontrar aplicaciones en el mapeo terrestre y aéreo de recursos naturales, monitoreo de cultivos, agricultura de precisión, robótica, inspección no destructiva de las propiedades del producto, clasificación en línea de procesos y automatización general procesos (Cubero, 2012).

Además técnicas como la resonancia magnética, la tomografía por ultrasonido o las radiografías permiten nuevas oportunidades para aplicar la visión por computadora en la industria alimentaria. Debido a que dichos sensores son capaces de proporcionar imágenes internas de productos alimenticios que pueden ser analizados por técnicas de visión por computadora para acceder a parámetros internos relevantes relacionados con la calidad y la seguridad de los productos (Aguilera *et al.*, 2005).



La microscopía provee otra fuente relevante de la aplicación de la tecnología de visión por computadora en la industria alimentaria. Las imágenes de alta resolución capturadas bajo los lentes de los nuevos poderosos microscopios proveen nuevos tipos de información visual que pueden ser usados para estudiar la distribución de elementos químicos y macromoléculas dentro de la estructura de los productos alimenticios (Aguilera *et al.*, 2005).

Diversos trabajos se han llevado a cabo usando el SVC, Padrón-Pereira *et al.* (2012), usaron un SVC para estudiar la evolución del color de tomates durante la maduración a temperatura ambiente y otras en refrigeración, asimismo Cornejo *et al.* (2013) midieron el color de diferentes tipos de arroz, así como distintas harinas y un pan precocido con el objetivo de validar el método comparando los resultados obtenidos con un colorímetro Konika Minolta CR-400, a su vez Padrón-Pereira (2009), midió el color de 23 muestras de alimentos usando el SVC, Mendoza y Aguilera (2004) usaron un SVC para identificar estados de maduración de bananas basados en el color y desarrollo de manchas oscuras. El SVC ha sido utilizado para evaluar el color y la textura de hojuelas de papas fritas con el objetivo de clasificar la apariencia para modelar preferencias de calidad (Mendoza *et al.*, 2007).



2.10. La polinización en Zarzamora

Las zarzadoras son frutos agregados con pistilos individuales que forman drupeolas (Andersen y Crocker, 2001). Las flores regularmente nacen en racimos axilares o panículas formando laterales fructíferas que se desarrollan en cañas bianuales. El número de flores por lateral varia de una a varias de acuerdo a la especie o cultivar (Darrow, 1937). La porción central de cada flor de zarzamora contiene un gran número de pistilos (parte femenina) rodeado por muchos estambres (parte masculina). La flor de zarzamora tiene de 5 a 8 pétalos y 50 a 100 estambres agrupados alrededor de 50 a 100 pistilos (Demchak, 2014), cada flor tiene múltiples ovarios, estilos y estigmas unidos a un receptáculo central, los cuales maduran para formar un fruto agregado (Darrow, 1937).

Se define a la polinización como, la transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma y hace posible la fecundación, y por lo tanto la reproducción de frutos y semillas (Pantoja *et al.*, 2014). Es un proceso esencial para el mantenimiento de la viabilidad y la diversidad genética de las plantas con flor, además de mejorar la calidad y cantidad de semillas y frutos (Chautá-Mellizo *et al.*, 2012). Puede ser llevada a cabo por factores bióticos, principalmente animales, y abióticos, como el agua o el viento, en la gran mayoría de las plantas con flores (angiospermas) dependen de los primeros, principalmente aquella mediada por insectos (Pantoja *et al.*, 2014).

En la polinización por vectores bióticos participan diversos grupos de animales, que incluyen a mamíferos, aves e insectos (Bonilla, 2012). Las abejas, son los insectos que por excelencia participan en la polinización, la gran mayoría de los alimentos que hoy se consumen y comercializan dependen directamente e indirectamente de la polinización realizada por abejas. La especie de abeja reconocida a nivel mundial es *Apis mellifer* L. o abeja melífera (Pantoja *et al.*, 2014).



En zarzamora una buena polinización es relevante, debido a que cuando esta es realizada de forma adecuada se obtiene una mora grande y bien formada, para ello muchos de los pistilos individuales en una inflorescencia deben ser polinizados (Andersen y Crocker, 2001), ya que, el tamaño de las bayas para un cultivar dado depende de la cantidad de semillas. (Andersen y Crocker, 2001). Una polinización inadecuada resulta en frutos pequeños e imperfectos (Andersen y Crocker, 2001). Sin embargo, aunque aparentemente los frutos son perfectos, menos del 100% de los óvulos se convierten en drupeolas (Strik *et al.*, 1996).

Una óptima polinización requiere de la visita de múltiples abejas en el periodo de dos días cuando las flores individuales son viables (Demchak, 2014). La abertura de las flores puede ser perjudicada por una temperatura de $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos (Andersen y Crocker, 2001).

Una vez realizada la polinización comienza una serie de eventos que determinan el tamaño final del fruto, el crecimiento se puede referir a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma o número de estructuras, como una función del genotipo y el ambiente (Krug, 1997). El crecimiento puede ser cuantificado mediante el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones matemáticas o funciones matemáticas (Hunt, 1990). Es un proceso complejo que incluye diversos fenómenos tales como división celular, elongación, fotosíntesis, translocación, absorción y transpiración (Gómez *et al.*, 1999).

Las curvas de crecimiento del diámetro transversal en función del tiempo son las más empleadas (Casierra y Cardozo, 2009). En zarzamora el comportamiento del crecimiento es doble sigmoide (Salisbury y Ross, 2000). Aunque se sabe que en zarzamora el crecimiento sigue una curva doble sigmoide, se desconocen el tiempo en que las distintas fases se desarrollan.



Para términos de comprensión se mencionara los distintos fenómenos que suceden en cada etapa en una curva de crecimiento doble sigmoide establecida para vid; el tamaño de la baya en función del tiempo y las distintas fases se pueden observar en la Figura 4. En la fase I, ocurre un rápido crecimiento, inicia inmediatamente después de la floración. En esta etapa la bayas crecen tanto por división celular como alargamiento celular, el contenido de azúcares es bajo, mientras que los ácidos orgánicos se acumulan. En la etapa II, ocurre una fase lenta de crecimiento, el contenido de ácidos orgánicos alcanza el nivel más alto, comienza un descenso de clorofila. En la fase III, comienza la segunda etapa de rápido crecimiento y la etapa de maduración, inicia la etapa de desarrollo de color, por lo que, inicia la acumulación de pigmentos, los azúcares se acumulan y los ácidos orgánicos declinan. Los componentes de aroma y sabor se acumulan en la fruta. El crecimiento de la baya se limita al alargamiento celular (Dokoozlian, 200). Por lo que se infiere que en zarzamora se lleven a cabo los distintos fenómenos por cada etapa al igual que en vid.

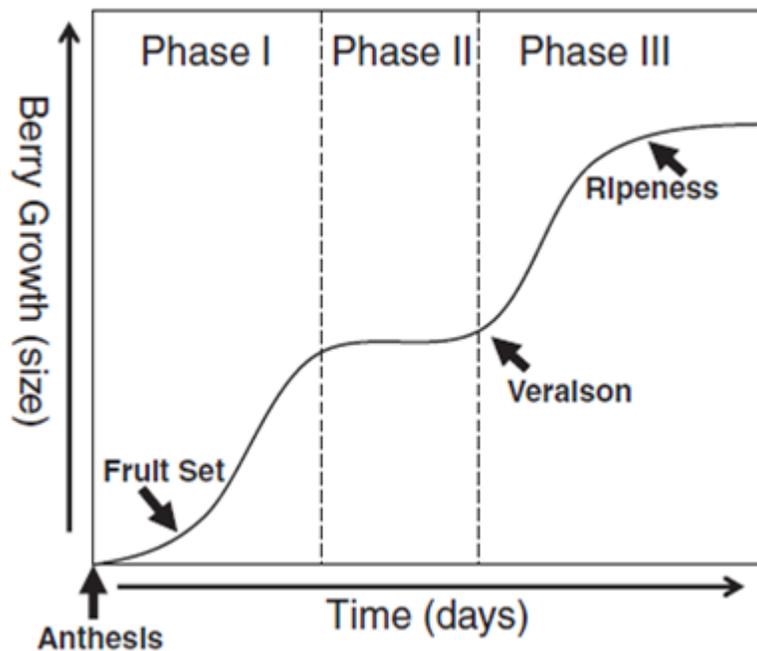


Figura 4. Curva de crecimiento doble sigmoide para una baya (Ali *et al.*, 2011).



En la actualidad la polinización manual en zarzamora se reduce a su aplicación en el mejoramiento genético, cada programa de mejoramiento genético establece su protocolo de polinización, el siguiente procedimiento de polinización controlada fue descrito por Finn (1996):

- Seleccionar una lateral fructificante, que puede tener una flor primaria abierta y el resto completamente desarrollada, pero con los pétalos aún no separados.
- Se eliminan las flor(es) abierta(s) y las flores inmaduras, las flores restantes se emasculan.
- Una bolsa de papel encerado blanco se coloca sobre la lateral emasculada y es asegurada en la base con un clip.
- La bolsa se asegura, además a otros laterales, con ayuda de un clip o alambre para disminuir lesiones mecánicas.
- Dos o tres días después, las bolsas se retiran, las flores emasculadas se polinizan, y las bolsas son aseguradas firmemente a la lateral.
- Este procedimiento de polinización se repite hasta que los estigmas ya no son receptivos. Regularmente, una flor será polinizada por lo menos dos veces o hasta cinco veces.

El uso de polinización manual o controlada en frutales se realiza cuando se presentan problemas de polinización, para probar ciertos tratamientos sobre la calidad de los frutos, así como en los casos de mejoramiento genético; Rueda-Luna *et al.* (2015), aplicaron una solución de CPPU (Forcloffenuron 1-(2-cloro-4-piridil)-3-fenilurea), producto comercial Sitofex® por inmersión a ovarios no polinizados en dosis de 25, 50 y 100 ppm y polinización manual en sandía (*Citrus lanatus*) para determinar el efecto en calidad del fruto, encontrando que los mejores parámetros productivos (peso medio, diámetro y longitud del fruto) y la más alta concentración de glucosa y sacarosa fueron encontrados con la dosis de 25 ppm y polinización manual.



Diversos trabajos de polinización se han realizado en el género *Passiflora*, Rendón *et al.* (2013) estudiaron el mecanismo de polinización natural y asistida para comprender el sistema reproductivo de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) con el fin de implementar estrategias de premejoramiento genético y de conservación. Arias-Suarez *et al.* (2014) estudiaron los mecanismos de la polinización en el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) y la importancia de los polinizadores naturales, estudiaron cinco tratamientos de polinización: natural (P.N), manual dirigida (P.M.D), autopolinización manual y espontánea (A.P.A.P.E) y geitonogamia (G), encontrando diferencias significativas entre tratamientos, la P.N realizada por abejorros del género *Xylocopa* spp. obtuvo el mayor porcentaje de frutos formados (88%), seguido de P.M.D (60%) y solo 3% en los frutos de autopolinización.

Otro trabajo que se realizó en el género *Passiflora* fue realizado por Arias-Suarez *et al.* (2016) quienes estudiaron la efectividad de los polinizadores naturales y el porcentaje de autopolinización con fines de mejoramiento genético de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). Encontraron que la granadilla alcanzó hasta 34.4% de formación de frutos por autopolinización espontánea, no obstante la intervención de un vector animado (*Xylocopa* spp.) incrementó significativamente la formación de los frutos (70%).

En un estudio en guanábana (*Annona muricata* L.) Franco-Mora *et al.* (2001) realizaron polinización manual en flores de guanábano con el fin de determinar la influencia del grado de polinización en el crecimiento y calidad de frutos. Consideraron guanábanas procedentes de polinización manual controlada a 100, 75, 50 y 25 % y polinización libre, encontrando que la polinización a 100% generó 70% de amarre y 67.5% de frutos cosechados con forma simétrica, radial y bilateral, con un mayor contenido de azúcares totales (199 mg g⁻¹ pulpa fresca), azúcares reductores (47 mg g⁻¹ pulpa fresca) y azúcares no reductores (152 mg g⁻¹ pulpa fresca) al alcanzar el fruto la madurez de consumo.



En otro caso Guerrero-Prieto *et al.* (2006) evaluaron el efecto de los polinizadores 'Winter Banana', 'Snow Drift', 'Manchurian' y 'Rome Beauty' en los cultivares 'RedChief Delicious', 'Golden Delicious' y 'Golden Delicious Tardío', encontrando que 'Golden Delicious Tardío' logró un cuajado de 20% de frutos con la polinización abierta y la incremento a 90% cuando se polinizó con 'Rome Beauty', 'Golden Delicious' presentó un amarre inicial de frutos de 98% al polinizarse con 'Snow Drift'. Se presentó un porcentaje bajo (14%) de cuajado de fruto cuando las polinizaciones se realizaron con 'Winter Banana'.

En la producción comercial la estrategia para conferir buena calidad a los frutos se restringe al uso de abejas o abejorros como polinizadores, en zarzamora las flores producen néctar y polen que atraen abejas, los cuales sirven como polinizadores (Andersen y Crocker, 2001). Dos colmenas de abejas son recomendados por acre (0.4046 ha) para asegurar una adecuada polinización (Jones y Strang, 2005). Investigaciones han documentado la importancia de la polinización de abejas en las zarzamoras y frambuesas para un buen rendimiento y calidad (Demchak, 2014).

El uso de abejas como polinizadores y su efecto en la calidad en diversos frutos se hace importante como lo establece Castañeda *et al.* (2012) quienes estudiaron el efecto de la polinización dirigida con abejas *Apis mellifera* sobre la cantidad y calidad en el fruto de naranja (*Citrus sinensis*), encontrando que el uso de 0.5 colmenas /ha aumentó el cuaje entre 20.9% y 28.7% por árbol, también mejoraron el peso, volumen de jugo y grados °Brix de los frutos, asimismo Chautá-Mellizo *et al.* (2012) encontraron que en comparación con la polinización manual y la autopolinización, la polinización con abejas aumentó el tamaño de fruto, el número de semillas y la tasa de germinación, esto en un experimento realizado en uchuva (*Physalis peruviana* L.).



CAPÍTULO III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. General

- Determinar el efecto, positivo o negativo, que causa la polinización manual sobre la reversión de color en zarzamora, monitoreando la evolución de color de distintas drupeolas usando un Sistema de Visión Computarizada (SVC).

3.1.3 Particulares

- Determinar cuál de los dos espacio, CIELa*b* y CIELC*H*, es el más conveniente para describir el color.
- Estudiar secciones en frutos de zarzamora polinizados manualmente y con polinización natural, para determinar si existe diferencias en el color.
- Determinar la aplicabilidad del uso del Sistema de Visión Computarizada para describir el color en frutos de zarzamora.

3.2. HIPOTESIS

- La polinización manual causara un efecto positivo en la reversión de color, es decir una nula o baja incidencia del fenómeno, esto debido a que la edad fisiológica de las drupeolas será homogénea y por ende el desarrollo del color impartido por las antocianinas será uniforme no habiendo o siendo baja la presencia del desorden fisiológico.

CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Establecimiento del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo situado en las coordenadas 19° 27' 58.91" latitud norte y 98° 53' 43.47" longitud Oeste, localizado a una altura de 2250 msnm. En el mes de agosto de 2014 se establecieron plantas de cinco variedades de zarzamora bajo condición de invernadero (22.34°C, 62.98 % H.R., 7878.21 candelas) las variedades que se manejaron fueron: "Kiowa", "Shawnee", "Tupy", "Cheyenee" y "Logan", de las cuales, la última es una variedad de guía y las demás son clasificadas como variedades semi erectas. Cada una de las plantas se colocó en bolsas de polietileno negro de 40 x 40 cm calibre 400, el sustrato utilizado fue una combinación de tierra, tezontle y hoja de pino en proporción 1:1:1 (Figura 5).

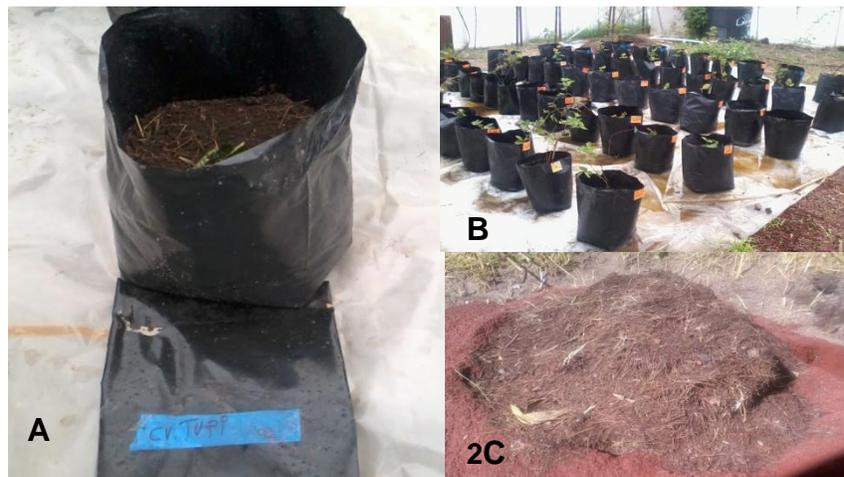


Figura 5. Establecimiento de plantas de Zarzamora, A) Llenado de bolsas; B) instalación de plantas y C) preparación de sustrato.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



Para el establecimiento de las plantas, se colocó sustrato en cada una de las bolsas, dejando un espacio de 10 cm en la parte superior en cada bolsa, con el objetivo de conservar el agua de riego; se realizaron perforaciones en la parte inferior para permitir el drenado del agua. Al momento del trasplante se humedeció el sustrato hasta capacidad de campo e inmediatamente se procedió a realizar el trasplante. Las plantas fueron aleatorizadas, como se observa en la Figura 6, con el fin de evitar efectos por factores climáticos, cabe destacar que las plantas localizadas en las orillas no fueron consideradas dentro del experimento, esto con la finalidad de evitar el efecto orilla.

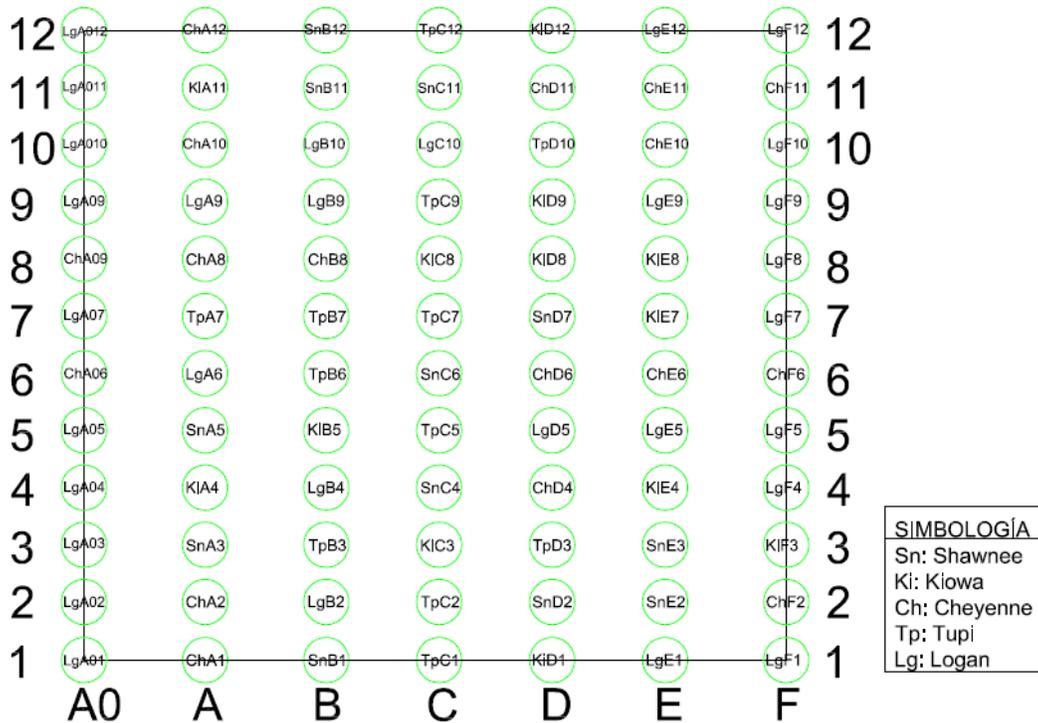


Figura 6. Distribución de plantas de las distintas variedades de zarzamora usadas en el experimento.

Nota: Letras en mayúsculas indican el nombre de la columna y números indican la fila. Así por ejemplo ChA2 indica la planta perteneciente a la variedad Cheyenne localizado en la columna A fila 2.

4.2 Manejo de plantas

4.2.1 Aplicación de Ácido Giberélico y TDZ

Cuando las plantas tuvieron 10 meses de ser trasplantadas se procedió a realizar el corte del ápice, con el objetivo de romper dominancia apical y promover el crecimiento de las brotes laterales, en las que se llevara a cabo la floración y fructificación.

Asimismo se procedió a realizar una aplicación de Ácido Giberélico y TDZ en concentraciones de 200 ppm y 100 ppm, respectivamente, con la finalidad de promover el alargamiento de los brotes laterales. Posterior a la aplicación de los productos antes mencionados se realizó una poda de hojas adultas (defoliación), la cual se efectuó usando unas tijeras de podar, marca Truper® de 8 pulgadas, cuchilla de paso y de acero templado; cada una de las hojas adultas se cortó desde el peciolo, lo más cercano a la yema axilar, pero sin dañar la misma. El resultado de la defoliación se puede observar en la Figura 7, fotografía B.



Figura 7. Plantas de zarzamora A) antes de la defoliación y B) posterior a la defoliación.

4.2.2 Polinización Manual

Cabe destacar que solo se trabajó con la variedad Tupy, debido a que presentó la mayor cantidad de flores, lo cual permitió obtener el material vegetal necesario para llevar a cabo el experimento.

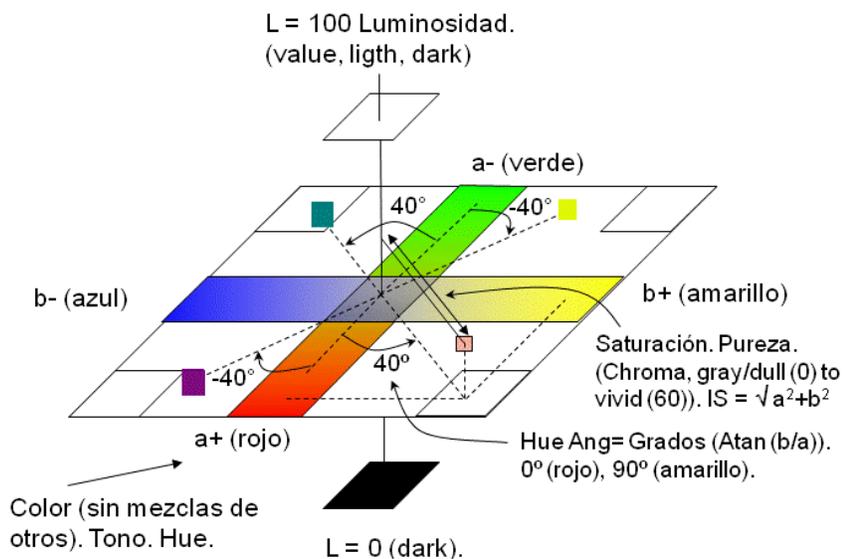
Una vez que las plantas entraron a floración, se seleccionó al azar cinco plantas para realizar la polinización manual, por cada planta se seleccionaron flores en estado de antesis (estado de palomita), se cortaron los pétalos y el cáliz, dejando ver los estambres, transcurridas 24 horas con ayuda de un pincel redondo del número 4, se procedió a transferir el polen de las anteras hacia los estigmas; una vez realizada esta acción se cubrieron las flores con algodón para evitar la transferencia de polen de otras flores cercanas, transcurridas otras 24 horas, se procedió a realizar un segundo barrido con la finalidad de asegurar que la mayor cantidad de polen llegara a los estigmas. Cada una de las flores que fueron polinizadas manualmente, fueron etiquetadas añadiendo el día en que fue realizada la polinización para tener un control sobre el tiempo en que cada fruto alcanzó la madurez de consumo y con ello el punto en el que fueron cosechados (Figura 8).



Figura 8. A) Flor de zarzamora en estado de antesis (estado de palomita), B) eliminación de pétalos y cáliz, C) flores cubiertas una vez polinizadas.

4.3 Diseño experimental

Se estudió el efecto producido por el tipo de polinización sobre la reversión de color de las drupeolas de zarzamora durante almacenamiento refrigerado. Para el establecimiento del experimento se utilizó como unidad experimental 1 drupeola. Se ensayaron 10 tratamientos, cada tratamiento estuvo compuesto por 12 frutos los cuales se almacenaron a 2 ± 1 °C y 85 ± 2 % humedad relativa (HR) por 13 días. Se tomaron fotografías usando un sistema de iluminación controlada, de cada fotografía se obtuvieron componentes de color L^* , a^* y b^* , pertenecientes al espacio de color CIELa*b* (Figura 9), utilizando los valores a^* y b^* , se determinó croma y ángulo hue. También se evaluó el porcentaje de reversión de color en cada tratamiento.



Elaboración del Dr. Sergio Humberto Chávez Franco

Figura 9. Escala de color CIEL*a*b* y su transformación a coordenadas polares Croma (C*) y Ángulo de Tono (Hue).

Para formar los tratamientos, cada uno de los frutos, tanto de polinización manual como los que tuvieron polinización natural, se dividieron en cuatro partes, cada 90° se colocó una referencia de color hasta cubrir los 360° de la circunferencia del fruto, el colocar una referencia de color nos permitió analizar una cara del fruto, en cada sección se estudió el desarrollo de la reversión de color desde el día 0 hasta el día 13, asimismo se analizó una quinta sección denominada superior. Cada 24 horas se tomaron fotografías digitales (imágenes) usando un celular marca CellAllure Book II; el giro del fruto, para la toma de imágenes, fue en sentido horario, iniciando con la sección azul, después naranja, púrpura, rojo y terminando con la sección superior, la Figura 10 muestra la forma en como fueron colocadas las referencias de color y el sentido del giro del fruto al momento de tomar las imágenes, cabe destacar que cuando se tomaron las fotografías, el sentido de giro fue el mismo desde el día 0 hasta el día 13 (fin del experimento).

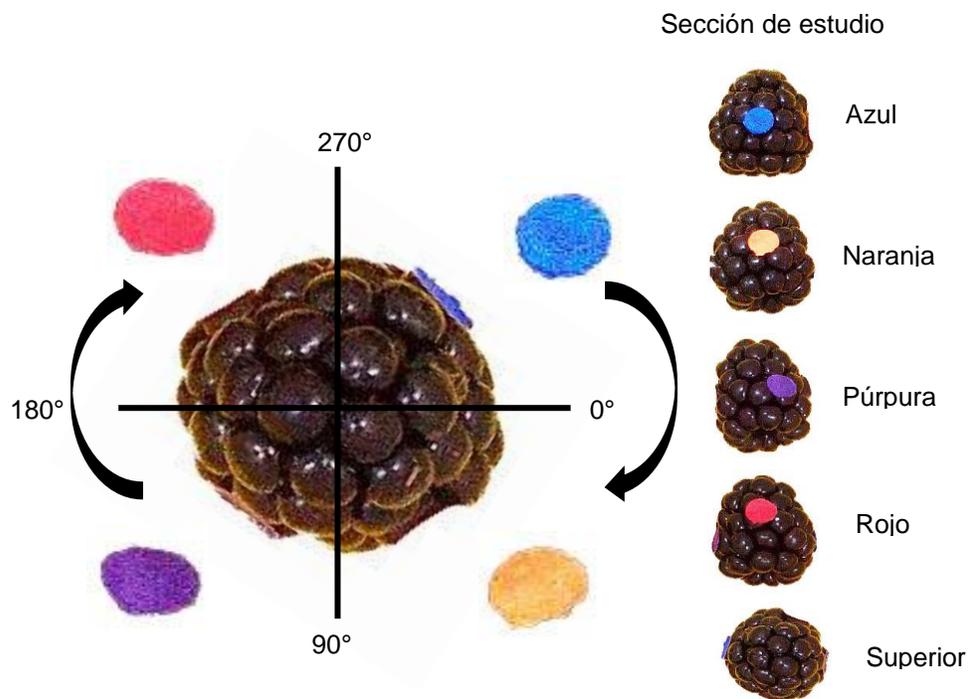


Figura 10. División del fruto en cuatro secciones para estudiar la reversión de color en la circunferencia del fruto, así como en la sección superior.



El cuadro 2 muestra de manera resumida la descripción de tratamientos que se manejaron en el estudio, en la que se conjugo el tipo de polinización, así como la sección de estudio, esto con la finalidad de entender las características de cada tratamiento al momento de realizar el análisis y la discusión de resultados.

Cuadro 2. Combinación de tratamientos de frutos polinizados manualmente y de forma natural.

TRATAMIENTO	POLINIZACIÓN	SECCIÓN DE ESTUDIO
T1	MANUAL	AZUL
T2	MANUAL	NARANJA
T3	MANUAL	PÚRPURA
T4	MANUAL	ROJO
T5	MANUAL	SUPERIOR
T6	NATURAL	AZUL
T7	NATURAL	NARANJA
T8	NATURAL	PÚRPURA
T9	NATURAL	ROJO
T10	NATURAL	SUPERIOR

Se utilizó un diseño con medidas repetidas completamente al azar con el fin de analizar el efecto del tipo de polinización sobre los tratamientos a través del tiempo, teniendo 14 tiempos, considerando el inicio como día 0 y el final como día 13. Se realizaron comparaciones de medias con la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ para las interacciones que resultaron significativas.

La significancia de la interacción (valor $\alpha<0.0001$) indica que las diferencias entre tratamientos no son consistentes con el tiempo. Por lo que, para efectos prácticos se analizaron comparaciones definidas entre las combinaciones de tratamientos (día 0 y 13).



Cabe destacar que para los resultados se verificaron los supuestos, normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de las observaciones, a través de gráficas de residuales se checó homogeneidad de varianzas y la prueba de Bartlett sirvió para determinar la normalidad. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico SAS® versión 9.0.

4.4. Sistema de Visión Computarizada (SVC)

4.4.1 Escenario de Toma de Imagen Digitalizada

Se construyó un sistema de luz controlada, el cual consistió de una cabina fabricada de papel cascaron de pared blanca con las siguientes medidas 27 cm x 21 cm x 26 cm de largo, ancho y alto, respectivamente; en la parte superior se ubicaron dos linternas de aluminio de LED de luz ajustable de uso continuo con pilas alcalinas (3 pilas AAA), lente de policarbonato; ubicadas en un ángulo de 90° respecto del plano horizontal. Para la toma de imágenes se utilizó un celular marca Cell Allure Book II, el cual fue ubicado en la parte superior a una distancia de 26 cm y en un ángulo de 90° respecto a las muestras.

4.4.2. Computadora y Software para el procesamiento de la imagen

El equipo utilizado fue una computadora portátil, marca TOSHIBA, modelo Satellite L845D, con un procesador AMD A6-4400M APU con 2.70 GHz de tarjeta gráfica, memoria RAM de 4 GB, sistema operativo Microsoft® Windows® 10.

Para el procesamiento de la imagen digital se utilizó el software Adobe® Photoshop® CS3, el cual presenta reguladores en el espacio de color CIE-L*a*b*, los cuales son de interés en el experimento.



4.4.3. Preparación de las muestras

Los frutos fueron cosechados de plantas cultivadas en invernadero, se cuidó que cada fruto estuviera libre de daño mecánico, defectos fisiológicos y daños por sol, se tomó en cuenta que el color fuera 90% negro u oscuro.

Se cosecharon 12 frutos provenientes de flores polinizadas manualmente y 12 frutos de flores con polinización natural, de los 12 frutos se formaron cuatro grupos, cada grupo fue una repetición y estuvo conformada por tres frutos, con el fin de estudiar la evolución del color alrededor del fruto se coloraron referencias (azul, naranja, púrpura y rojo) a cada 90° con el fin de cubrir los 360° de la circunferencia del fruto, además se estudió el ápice del fruto, una vez colocadas las referencias, los frutos se colocaron en un Clamshell y fueron almacenados en refrigeración a una temperatura de $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 13 días.

4.4.4. Captación de imágenes

Para la toma de imágenes se usó un celular marca Cell Allure modelo Book II, colocado a 26 cm de la muestra y en un ángulo de 90°, flash apagado, balance de blanco automático, unida de resolución 2 megapíxeles, resolución 72 ppp, (píxeles/pulgada), formato JPG. Cada 24 horas por 13 días fueron colocados los frutos en el escenario establecido tomando imágenes por triplicado.

4.4.5. Procesamiento

Las imágenes se descargaron en un computador (Laptop) marca TOSHIBA, modelo Satellite L845D, con un procesador AMD A6-4400M APU con 2.70 GHz de tarjeta gráfica, memoria RAM de 4 GB, sistema operativo Microsoft® Windows® 10, con pantalla de 14 pulgadas, a cada imagen se realizó un ajuste con el objetivo de hacer más claras las imágenes, para lo cual en el menú imagen, submenú ajuste, opción brillo/contraste se aumentó el brillo a 80.



4.4.6. Segmentación

Se recortó una zona de 15 X 15 píxeles en cada imagen (tamaño adecuado para abarcar una drupeola). En cada una de las imágenes se presentaron zonas con brillo, producido por el reflejo de la luz que emitían las lámparas, por lo cual dichas regiones fueron discriminadas con el objetivo de evitar errores del cálculo del valor del color promedio de las muestras, para tal objetivo se procedió a utilizar una técnica de segmentación por regiones, la cual divide las imágenes en zonas de interés y de discriminación (Gonzales *et al.*, 2004, Duda *et al.*, 2001), procediendo de la siguiente manera, en la paleta color se cambiaron los reguladores RGB por los reguladores $L^* a^* b^*$, en el menú **selección** se abrió la ventana gama de colores, se seleccionó la opción muestreados y pre visualización con máscara rápida (la casilla invertir fue activada). Con la herramienta cuentagotas se tomó una muestra a criterio de tamaño un punto al brillo (ese punto selecciona todos los puntos del mismo color en las imágenes), se incrementó la tolerancia a criterio (lo cual permite seleccionar colores semejantes al punto seleccionado que se desea excluir), esta acción seleccionó las áreas con brillo y las excluyó para el promedio de los píxeles; luego en el menú **filtro**, submenú desenfocar, opción promediar, automáticamente se realizó la sumatoria de todos los píxeles de las imágenes, menos las zonas de brillo.

Con la herramienta cuentagotas se tomó una muestra del color promediado cuyas coordenadas CIE $L^* a^* b^*$ quedaron reflejadas en la paleta de colores; seguidamente se invirtió la selección en el menú **selección**, opción invertir, luego en el menú edición, opción rellenar, se escogió el color que dio el mejor contraste (blanco o negro) con fusión en modo normal y opacidad 100% para rellenar el contenido de las áreas seleccionadas. Se deseleccionaron las áreas con brillo y se guardaron las imágenes en formato JPEG, pero se mantuvieron activas. Finalmente, con la herramienta bote de pintura se rellenaron repetidamente las imágenes con el color frontal, que es el promedio con antelación de las coordenadas CIE $L^* a^* b^*$ en la paleta de colores y se guardaron las imágenes con otro nombre en formato JPEG (Padrón-Pereira, 2009).

La Figura 11 muestra los componentes del Sistema de Visión Computarizada que fue usado en este estudio, el cual consistió de A) un sistema de iluminación controlada, B) un celular para toma de fotografías digitales y C) el programa Adobe® Photoshop® CS3 para el procesamiento y segmentación de imágenes digitales.

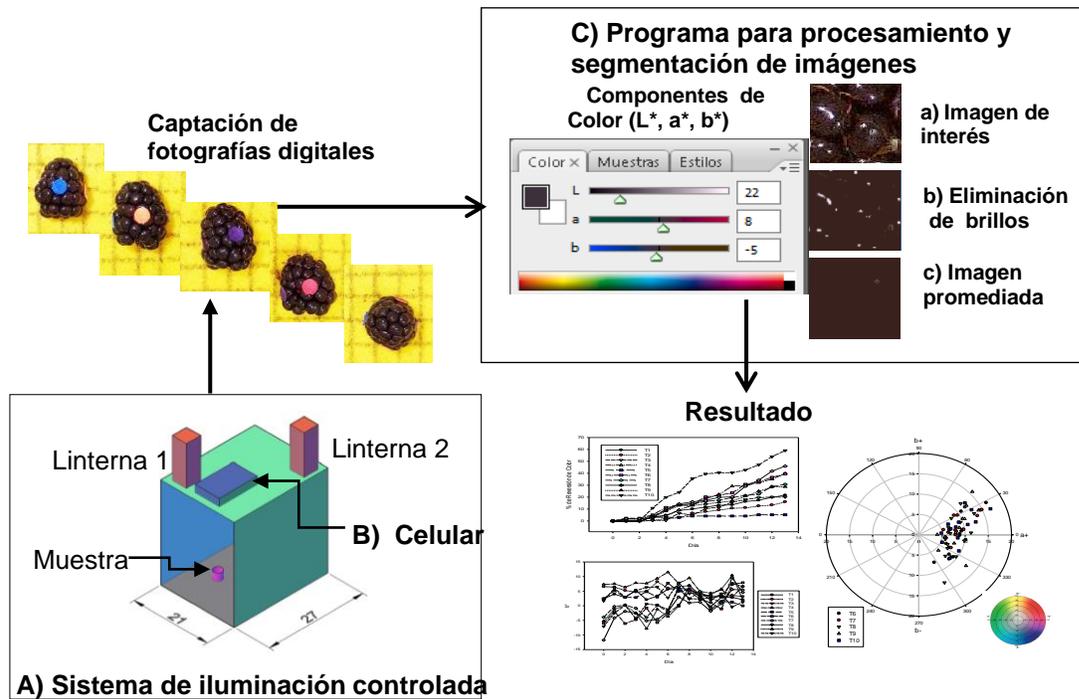


Figura 11. Componentes del SVC usado para la obtención de los componentes de color L^* , a^* , b^* .

4.5. Cálculo del porcentaje de reversión de color

Para determinar el porcentaje de reversión de color se contaron las drupeolas totales en cada sección de estudio (tratamiento), monitoreando la evolución del color de las drupeolas día a día, desde el día 0 hasta el 1, contando aquellas drupeolas en las cuales se mostró incidencia de la reversión de color, esto es aquellas drupeolas que presentaron un cambio de color púrpura a colores rojos. Teniendo en cuenta las drupeolas totales y las que presentaron reversión de color se obtuvo el porcentaje de las mismas.



CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Porcentaje de reversión de color en frutos de zarzamora

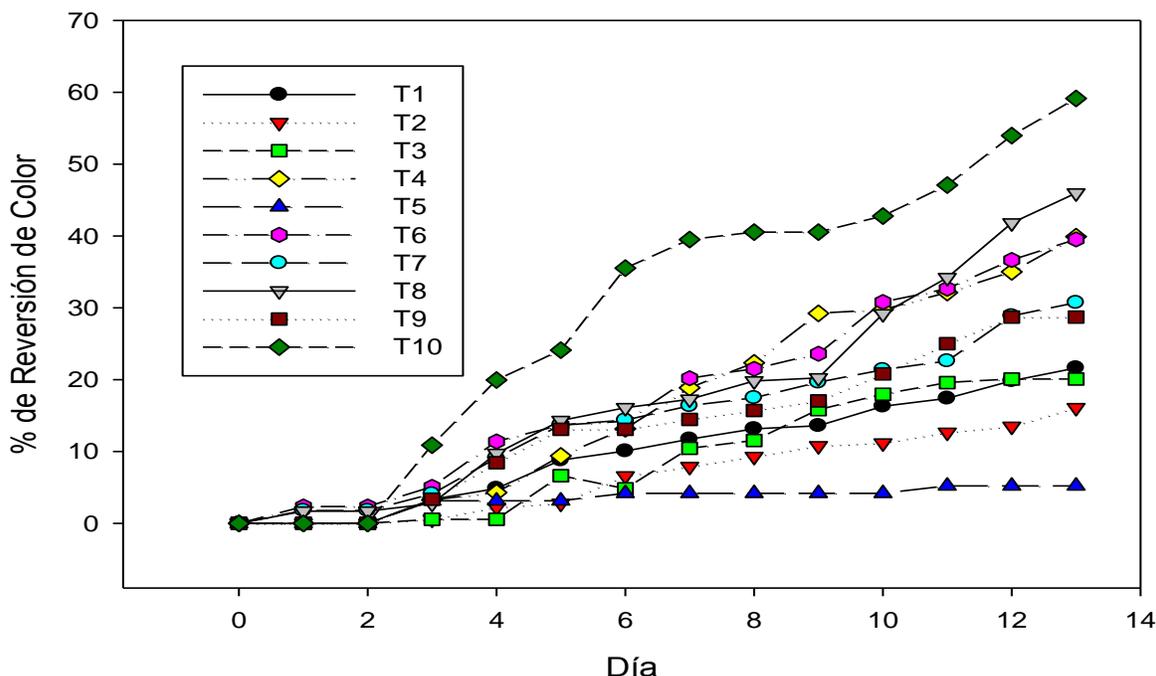


Figura 12. Porcentaje de reversión de color en tratamientos polinizados manualmente comparados con tratamientos que tuvieron una polinización natural en frutos de zarzamora (*Rubus spp.*).

La Figura 12 muestra el porcentaje de reversión de color en frutos de zarzamora que fueron polinizados manualmente, comparándolos con frutos que tuvieron una polinización natural (polinización entomófila).

Los tratamientos de T1 a T5 pertenecen a los frutos polinizados manualmente y los tratamientos de T6 a T10 son frutos con polinización natural, se observa que todos los tratamientos mostraron la incidencia del desorden fisiológico, conocido como reversión de color, siendo T5 y T10 con el mayor y menor porcentaje, respectivamente, de reversión de color.



De forma general se aprecia que los tratamientos que fueron polinizados manualmente presentaron el menor porcentaje de reversión, siendo $T5 < T2 < T1 < T4$, de los tratamientos polinizados manualmente T4 presentó el mayor porcentaje de reversión, dentro de este grupo, con 39.9% en el día 13. En cuanto a los tratamientos que se refieren a los frutos que tuvieron una polinización natural, el tratamiento T9, presentó el menor porcentaje con 28.7% y el T10 mostró el mayor porcentaje de reversión con 59.1%, ambos al día 13.

Cabe señalar que en condiciones de almacenamiento refrigerado a 2 ± 1 °C y 85 ± 2 % de Humedad relativa, es en el día tres, para la mayoría de los tratamientos, cuando inicia el fenómeno de reversión de color, se sabe que en algunas variedades como Shawnee y Choctaw presentan hasta en un 30% de reversión de color, y en otras como Navaho y Arapho, rara vez presentan el 5%. (Perkins-Veazie y Clark, 2011), en el caso de la variedad Tupy, no se cuentan con datos en lo que se indique el porcentaje de reversión de color para dicho cultivar.

5.2. Imágenes promediadas de las drupeolas de zarzamora

En el Cuadro 3 y 4 se presentan las imágenes promediadas obtenidas de drupeolas de zarzamora que fueron polinizadas manualmente y aquellas que tuvieron polinización natural, una vez cosechadas fueron almacenadas a 2 ± 1 °C y 85 ± 2 %H.R, durante 13 días. Uno de los objetivos primordiales en esta investigación es determinar el efecto que produce la polinización manual sobre la reversión de color en las drupeolas, para lo cual se monitoreó el color durante los 13 días de almacenamiento refrigerado. El Cuadro 3 se enfoca a analizar la variación de color para los tratamientos que fueron polinizados manualmente (T1 a T5), se pudo observar que al inicio del estudio (día 0) T1, T3 y T5 mostraron coloraciones purpuras, no así para los tratamientos T2 y T4, donde las coloraciones mostradas fueron tonalidades rojas, al final del experimento (día 13) sólo el tratamiento T4 mostró tonos rojos, en los demás tratamientos se conservó el color purpura.



Cuadro 3. Evolución de la coloración en drupeolas de zarzamora polinizadas manualmente y almacenados durante 13 días a 2 ± 1 °C.

Día	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					



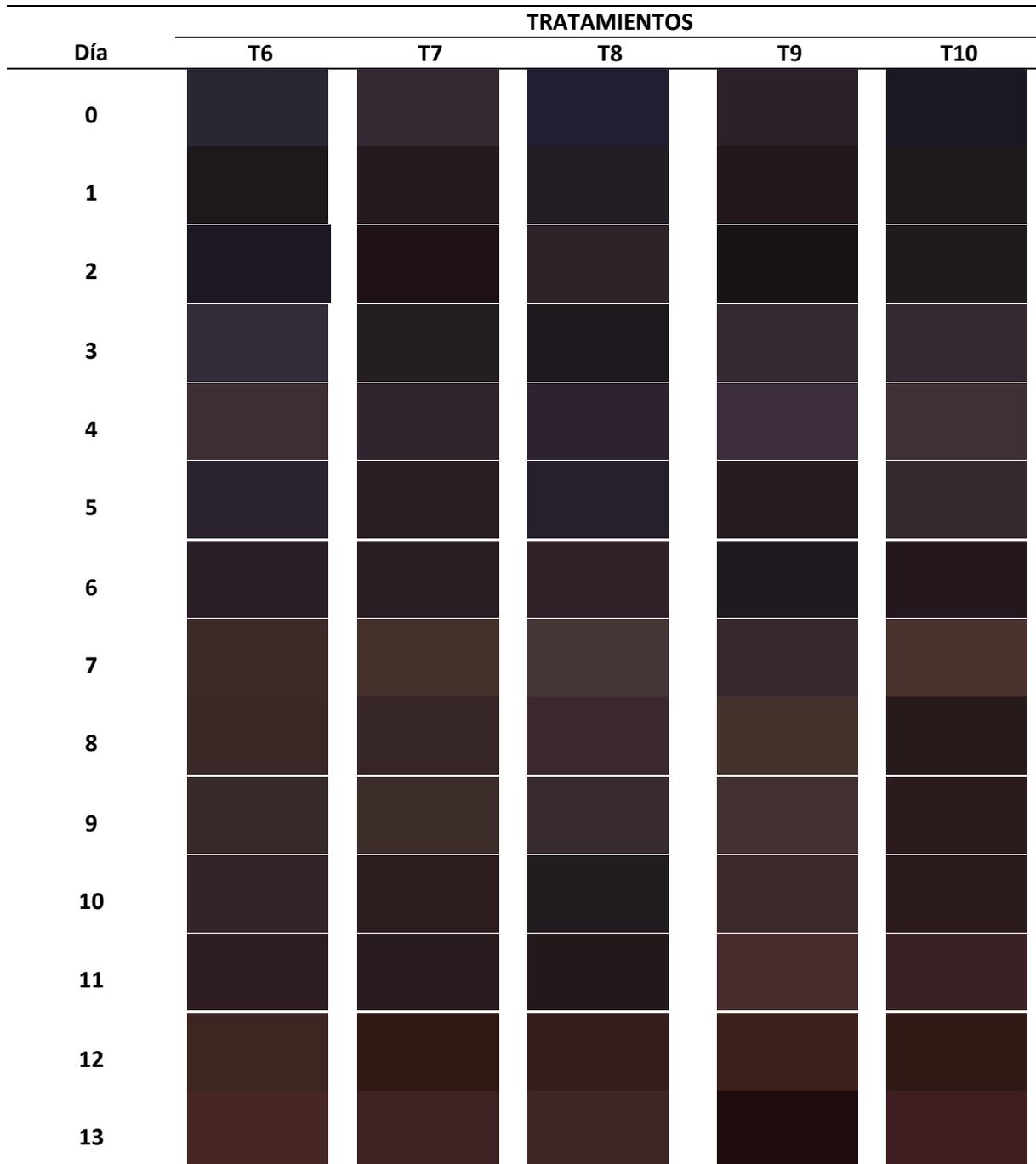
El Cuadro 4 muestra imágenes promediadas de muestras obtenidas de drupeolas que tuvieron polinización natural (polinización entomófila) y que fueron almacenadas en refrigeración (2 ± 1 °C y 85 ± 2 %H.R) durante 13 días, en la cual se observa la variación de color a través del periodo de almacenamiento.

En el caso de los tratamientos que conforman este grupo (T6 A T10), se observa que las coloraciones iniciales (día 0) se inclinan más hacia los tonos azules (Cuadro 3), diferente a lo mostrado en el grupo de los tratamientos con polinización manual (T1 A T5), donde los colores iniciales son purpuras, en la mayoría de los tratamientos; cabe indicar que es en el día 7, cuando se observa una variación de la coloración de tonos azules y purpuras hacia colores con tonalidades rojizas y es hasta en el día 12, cuando se muestran las coloraciones rojizas más intensas.

Se observa una evolución en el color de azul a púrpura, a medida que avanza el tiempo de estudio, y aunque los tratamientos T7 y T9 mostraron coloraciones rojizas en el día 12, para el día 13 se visualiza una coloración púrpura como en el resto de los tratamientos. Esto se pudo deber a que la elección de las drupeolas de estudio no fue la indicada o que la fuente de iluminación no fue la adecuada al momento de tomar las fotografías, ya que la representación del color no fue la adecuada.



Cuadro 4. Evolución de la coloración en drupeolas de Zarzamora con polinización natural y almacenados durante 13 días a 2 ± 1 °C.



5.3. Luminosidad

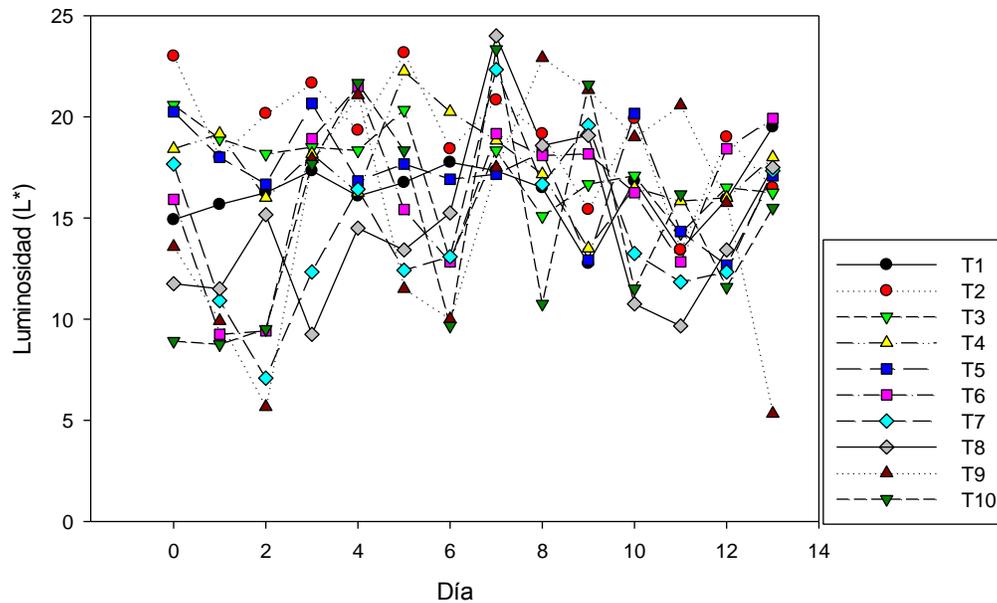


Figura 13. Cambios en la luminosidad (L^*) en drupeolas de zarzamora cv. Tupy polinizados manual y naturalmente evaluados a través de 13 días de almacenamiento refrigerado a 2 ± 1 °C.

La coordenada L^* recibe el nombre de claridad o luminosidad y puede tomar valores entre 0 y 100 (Domínguez-Soto *et al.*, 2012). La Figura 13 muestra el comportamiento del valor L^* a través del tiempo de estudio de los distintos tratamientos, dicha evolución se puede observar en el Cuadro 5 de forma numérica. Los tratamientos pertenecientes a la polinización manual que mostraron una disminución en el valor L^* entre el día 0 y 13 fueron T2, T3, T4 y T5, asimismo en T7 y T9 (polinización natural) se encontró un comportamiento similar. Si consideramos que un valor de 0 corresponde a un color negro y un valor de 100 representa al color blanco (Padrón-Pereira, 2010), entonces, se puede afirmar que en los tratamientos en donde se presentó una disminución en el valor L^* hubo un oscurecimiento del color.



La disminución en el valor de L^* , en zarzamora, se considera normal, debido a que es un producto altamente perecedero y una disminución de la luminosidad se relaciona directamente con la senescencia del producto, Vargas *et al.* (2013) indican que la disminución en los valores de luminosidad se deben a un oscurecimiento, como lo encontrado en la pulpa de chicozapote refrigerado a 4°C durante 30 días y después sometidos a temperatura ambiente para su maduración, donde los valores de L^* disminuyeron de 52 a 49.9, lo que representa un oscurecimiento de pulpa, casos similares han sido reportados en otros cultivos. Padrón-Pereira *et al.* (2012) evaluando tomate, indican que a medida que el fruto fue madurando el valor de L^* disminuyó, indicando un oscurecimiento, también Bañuelos-Hernández *et al.* (2016) encontraron una disminución en el valor de la luminosidad a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento con tendencias al negro, esto es un efecto de la senescencia de las inflorescencias de *Heliconia psittacorum* L.f. cv. Trópica.

Los tratamientos T1, T6, T8 y T10 mostraron un incremento en el valor de la luminosidad del día 0 al 13, el cual es un patrón atípico, pues se esperaría que el valor de L^* disminuyera. Claramente el aumento del L^* indica la evolución de los colores a ser más claros, como lo indican Katusca *et al.* (2013) quienes evaluando guayaba pera con una recolección tradicional de 120 días después de floración y almacenadas en condiciones ambientales de 26 °C y con 58% H.R. los valores de L^* evolucionaron de 57.66 a 88.08 indicando una tendencia en la piel del fruto hacia colores más claros a medida que avanzó la maduración.

Se han reportado valores de luminosidad en zarzamora de 10.5 a 14.0 (Turemis *et al.*, 2003) y 17.35 ± 1.45 (Tosun *et al.*, 2008), dichos valores corresponden a zarzamora en estado de madurez de consumo, por lo que, el valor de L^* mostrado en el día 0 para los distintos tratamientos debería encontrarse cerca de esta cifra, debido a la condición de similitud en el estado de madurez, sin embargo, T2, T3 y T5 muestran valores superiores a los establecidos anteriormente, dichos tratamientos pertenecen al grupo de los polinizados



manualmente, en el caso de los demás tratamientos se encuentran dentro del rango de luminosidad establecido por Turemis *et al.* (2003) y Tosun *et al.* (2008) para zarzamora (Cuadro 5).

Cuadro 5. Evolución en los valores de Luminosidad (L*) de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).

TRATAMIENTOS										
Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
0	14.9	23.0	20.6	18.4	20.3	15.9	17.7	11.8	13.6	8.9
1	15.7	18.0	18.9	19.2	18.0	9.3	10.9	11.5	9.9	8.8
2	16.3	20.2	18.2	16.0	16.7	9.4	7.1	15.2	5.7	9.5
3	17.3	21.7	18.5	18.2	20.7	18.9	12.3	9.3	17.9	17.7
4	16.1	19.3	18.3	16.3	16.8	21.5	16.4	14.5	21.1	21.7
5	16.8	23.2	20.3	22.3	17.7	15.4	12.4	13.4	11.5	18.3
6	17.8	18.4	12.9	20.3	16.9	12.8	13.1	15.3	10.0	9.7
7	17.3	20.8	18.3	18.8	17.2	19.2	22.3	24.0	17.5	23.3
8	16.5	19.2	15.1	17.2	18.3	18.1	16.7	18.6	22.9	10.8
9	12.8	15.4	16.7	13.5	12.9	18.2	19.6	19.1	21.3	21.6
10	16.8	19.9	17.1	16.5	20.2	16.3	13.3	10.8	19.0	11.5
11	13.4	13.4	14.3	15.8	14.3	12.8	11.8	9.7	20.6	16.2
12	15.9	19.0	16.5	16.0	12.7	18.4	12.3	13.4	15.8	11.6
13	19.5	16.5	16.3	18.0	17.1	19.9	17.3	17.5	5.3	15.5

Estadísticamente hubo diferencias significativas entre tratamientos, a través del tiempo y en la interacción tratamiento x tiempo. Sin embargo, en la comparación del efecto medio de los tratamientos entre el día 0 y 13, no se encontraron diferencias significativas para ninguno de los tratamientos (Cuadro 6). Esto es, el valor de luminosidad en el día 13, no es significativamente diferente que el valor presentado en el día 0, para cada uno de los tratamientos.



Cuadro 6. Comparación del efecto medio de los tratamientos en dos periodos, día 0 y día 13, sobre L* en drupeolas de zarzamora.

Tratamiento	Tipo de polinización	Día	
		0	13
T1	Manual	14.9	19.5 ^{NS}
T2	Manual	23.0	16.5 ^{NS}
T3	Manual	20.6	16.3 ^{NS}
T4	Manual	18.4	18.0 ^{NS}
T5	Manual	20.3	17.1 ^{NS}
T6	Natural	15.9	19.9 ^{NS}
T7	Natural	17.7	17.3 ^{NS}
T8	Natural	11.8	17.5 ^{NS}
T9	Natural	13.6	5.3 ^{NS}
T10	Natural	8.9	15.5 ^{NS}

Medias del parámetro L*. NS (no significativo).

Una vez que se determinó la diferencia significativa en la interacción tratamiento x tiempo, se procedió a realizar la prueba de Tukey, comparando las medias de la variable luminosidad de los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) frente al tratamientos que tuvieron polinización natural (T6 a T10), resultando significativas solo las combinaciones de los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) con T9, habiendo diferencias entre medias de las subpoblaciones comparadas, mostradas en el Cuadro 7.



Cuadro 7. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre L* en drupeolas de zarzamora a final del experimento.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Valor p
T1	13	T6	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T9	13	<0.0001**
T1	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T6	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T9	13	0.0184*
T2	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T6	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T9	13	0.0282*
T3	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T6	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T9	13	0.0011**
T4	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T5	13	T6	13	1.0 ^{NS}
T5	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T5	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T5	13	T9	13	0.0068**
T5	13	T10	13	1.0 ^{NS}

Medias del parámetro a*. **=0.01 (altamente significativo), *=0.05 (significativo), NS=no significativo.

Dentro de los objetivos se planteó el estudiar diversas secciones en el fruto para determinar el comportamiento de la reversión de color en los 360°, abarcando el total de la circunferencia del fruto, también se estudió una sección extra que fue la sección superior o cara superior, para determinar diferencias significativas entre secciones de estudio se realizó una prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$, para los valores de luminosidad, tanto de tratamientos con polinización manual como para los que tuvieron polinización natural, dicha comparación se realizó a final del experimento o día 13 (Cuadro 8).



En los tratamientos que fueron polinizados manualmente (T1 a T5), no se encontraron diferencias significativas al comparar las secciones del fruto, es decir la polinización manual no mostró ningún efecto sobre la variable de luminosidad en ninguna de las secciones, con lo que se afirma que las medias del valor de luminosidad no son significativamente diferentes entre una sección y otra, esto para los frutos que fueron polinizados manualmente.

En el caso de los tratamientos que tuvieron polinización natural (T6 a T8) la sección de estudio marcada con la referencia de color roja mostro diferencias significativas al realizar las comparaciones con las secciones azul, naranja y púrpura, o lo que es lo mismo el valor de luminosidad en las secciones de estudio marcadas con los colores de referencia roja, azul, naranja y púrpura fue estadísticamente significativo.

Cuadro 8. Comparación del valor de luminosidad en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Valor p
T1	13	T2	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T9	13	<0.0001**
T6	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T9	13	0.004**
T7	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T9	13	0.0031**
T8	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T9	13	T10	13	0.0942 ^{NS}

Medias del parámetro Luminosidad. **=0.01 (altamente significativo), NS=no significativo.

5.4. Coordenadas a* y b*

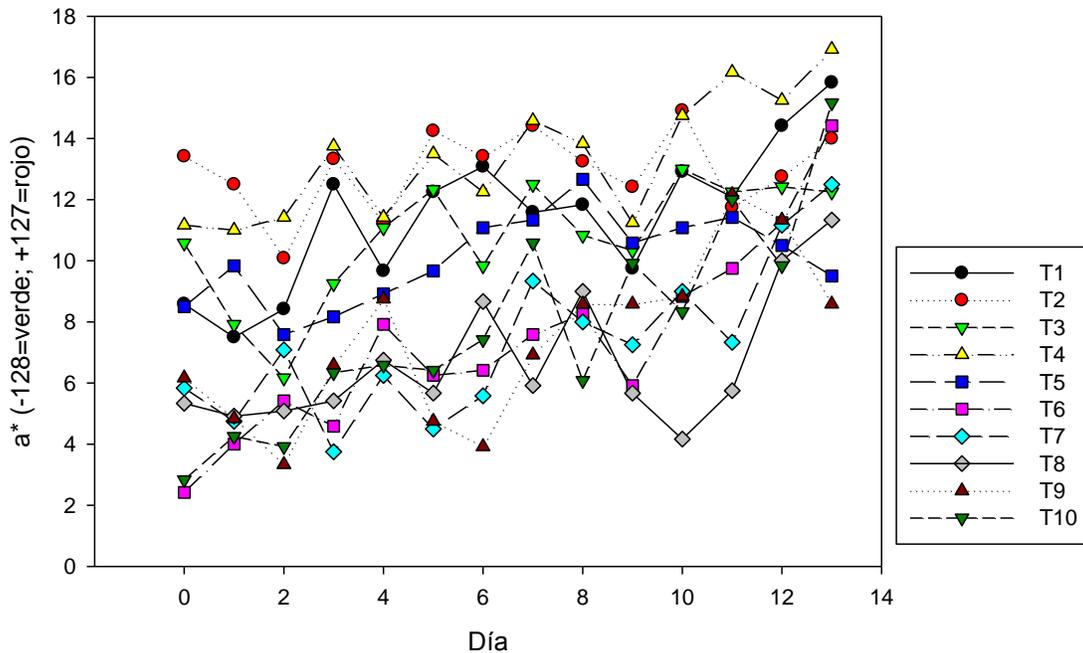


Figura 14. Cambios en la coordenada a* en drupeolas de zarzamora cv. Tupy polinizados manual y naturalmente evaluados a través de 13 días almacenamiento refrigerado a 2 ± 1 °C.

La coordenada a*, la cual se define como la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad o luminosidad, hacia el rojo si $a^* > 0$, y hacia el verde si $a^* < 0$ (Domínguez-Soto *et al.*, 2012), el comportamiento de todos los tratamientos es a aumentar conforme pasa el tiempo de estudio (Figura 14); los tratamientos con polinización manual, en general, presentan los mayores valores iniciales, dentro de ellos, T2 y T4 presentan los valores superiores de a*, (13.4 y 11.2, respectivamente); los tratamientos con polinización natural (T6 a T10) presentan valores de a* bajos al inicio del experimento y comienzan a incrementarse paulatinamente; al final del almacenamiento refrigerado T4 tuvo el mayor valor de a* frente a todos los tratamientos (Cuadro 9).



Cuadro 9. Evolución en los valores del parámetro a^* de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).

TRATAMIENTOS										
Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
0	8.6	13.4	10.6	11.2	8.5	2.4	5.8	5.3	6.2	2.8
1	7.5	12.5	7.9	11.0	9.8	4.0	4.8	4.9	4.8	4.3
2	8.4	10.1	6.2	11.4	7.6	5.4	7.1	5.1	3.3	3.9
3	12.5	13.3	9.3	13.8	8.2	4.6	3.8	5.4	6.6	6.3
4	9.7	11.3	11.1	11.4	8.9	7.9	6.3	6.8	8.8	6.6
5	12.3	14.3	12.3	13.5	9.7	6.3	4.5	5.7	4.8	6.4
6	13.1	13.4	9.8	12.3	11.1	6.4	5.6	8.7	3.9	7.4
7	11.6	14.4	12.5	14.6	11.3	7.6	9.3	5.9	6.9	10.6
8	11.8	13.3	10.8	13.8	12.7	8.3	8.0	9.0	8.6	6.1
9	9.8	12.4	10.3	11.3	10.6	5.9	7.3	5.7	8.6	9.9
10	12.9	14.9	13.0	14.8	11.1	8.8	9.0	4.2	8.8	8.3
11	12.1	11.8	12.3	16.2	11.4	9.8	7.3	5.8	12.2	12.0
12	14.4	12.8	12.4	15.3	10.5	11.3	11.2	10.0	11.3	9.8
13	15.8	14.0	12.3	16.9	9.5	14.4	12.5	11.3	8.6	15.2

La prueba estadística mostró diferencias significativas entre el efecto medio de los tratamientos, tiempos, y en la interacción tratamiento x tiempo. El Cuadro 10 muestra el efecto medio de los tratamientos sobre el parámetro a^* al inicio (día 0) y fin del experimento (día 13) para cada uno de los tratamientos. En los tratamientos con polinización manual solo T1 mostraron diferencias significativas para el valor de a^* , en el caso de los tratamientos con polinización natural T6, T7 Y T10 mostraron diferencias significativas en el valor del componente de color a^* entre el día 0 y 13, por lo que estadísticamente hay diferencia entre las medias valor inicial a^* comparada con el valor final para dichos tratamientos.



Cuadro 10. Comparación del efecto medio de los tratamientos entre el día 0 y día 13, sobre a^* en drupeolas de zarzamora.

Tratamiento	Tipo de polinización	Día	
		0	13
T1	Manual	8.57	15.82**
T2	Manual	13.42	14.00 ^{NS}
T3	Manual	10.57	12.25 ^{NS}
T4	Manual	11.17	16.92 ^{NS}
T5	Manual	8.50	9.50 ^{NS}
T6	Natural	2.42	14.42**
T7	Natural	5.82	12.50*
T8	Natural	5.32	11.32 ^{NS}
T9	Natural	6.17	8.60 ^{NS}
T10	Natural	2.82	15.17**

Medias del parámetro a^* . **=0.01 (altamente significativo), *=0.05 (significativo) y NS (no significativo).

El Cuadro 11 muestra la comparación múltiple entre el efecto medio de los tratamientos, donde se compararon los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) frente a los tratamientos con polinización natural (T6 a T10) para determinar el efecto del tipo de polinización sobre la coordenada a^* . De todas las combinaciones, solo T4 y T9 fueron significativamente diferentes. Cabe destacar que las comparaciones se realizaron al final del experimento, esto para detectar que tratamientos presentaron diferencias sobre la coordenada a^* .



Cuadro 11. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre a* en drupeolas de zarzamora a final del experimento.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	p-valor
T1	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T8	13	0.9996 ^{NS}
T1	13	T9	13	0.1775 ^{NS}
T1	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T9	13	0.9483 ^{NS}
T2	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T7	13	0.9998 ^{NS}
T4	13	T8	13	0.9020 ^{NS}
T4	13	T9	13	0.0191*
T4	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T6	13	0.9937 ^{NS}
T5	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T10	13	0.8793 ^{NS}

Medias del parámetro a*. *=0.05 (significativo)

Al realizar las comparaciones de las secciones de estudio analizando el componente a*. Se encontró que no hay diferencias significativas, tanto al comparar las secciones en los frutos polinizados manualmente como en aquellas secciones correspondientes a los frutos que tuvieron polinización natural, por lo que para el componente del color, a*, estadísticamente no hay diferencia significativa entre las secciones de estudio comparadas en el día 13 (Cuadro 12).



Cuadro 12. Comparación del valor del componente de color a^* en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Valor ρ
T1	13	T2	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T5	13	0.5810 ^{NS}
T2	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T5	13	0.9996 ^{NS}
T3	13	T4	13	0.9986 ^{NS}
T3	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T5	13	0.1251 ^{NS}
T6	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T9	13	0.8251 ^{NS}
T6	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T9	13	T10	13	0.4479 ^{NS}

Medias del parámetro a^* . NS=no significativo.

En la mayoría de los tratamientos el valor de la coordenada a^* se encuentran por encima del valor encontrado por Tosun *et al.* (2008) quienes indican que para frutos de zarzamora en estado maduro el valor de a^* es de 10.41, y muy por encima de los datos reportados por Turemis *et al.* (2003) quienes evaluaron nueve cultivares de zarzamora sin espinas ('Bursa-1', 'Bursa-2', 'Bursa-3', 'C.Thornless', 'Bartin', 'Loch ness', 'Navaho', 'Jumbo', y 'D. Thornless') encontrando que el valor promedio del parámetro a^* estuvo entre 3.7 a 7.4, por lo que podemos afirmar que el color de los tratamientos polinizados manualmente y con polinización natural se inclinan hacia colores rojizos al momento de finalizar el experimento.



Cabe indicar que el tratamiento T4 presenta el valor máximo de a^* con 16.9, lo cual hace pensar en una coloración roja más intensa, sin embargo, no se acerca al valor reportado por Tosun *et al.* (2008) para zarzamoras en estado rojo (estado inmaduro del fruto), el cual es de 30.89; por otro lado Bañuelos-Hernández *et al.* (2016) encontraron valores de a^* de 45.96-59.73 evaluando distintas condiciones de almacenamiento de tallos florales de *Heliconia psittacorum* L.f. cv. Trópica, se tomó dicho valor como comparativo, debido a que los valores de a^* corresponden a tonalidades rojizas.

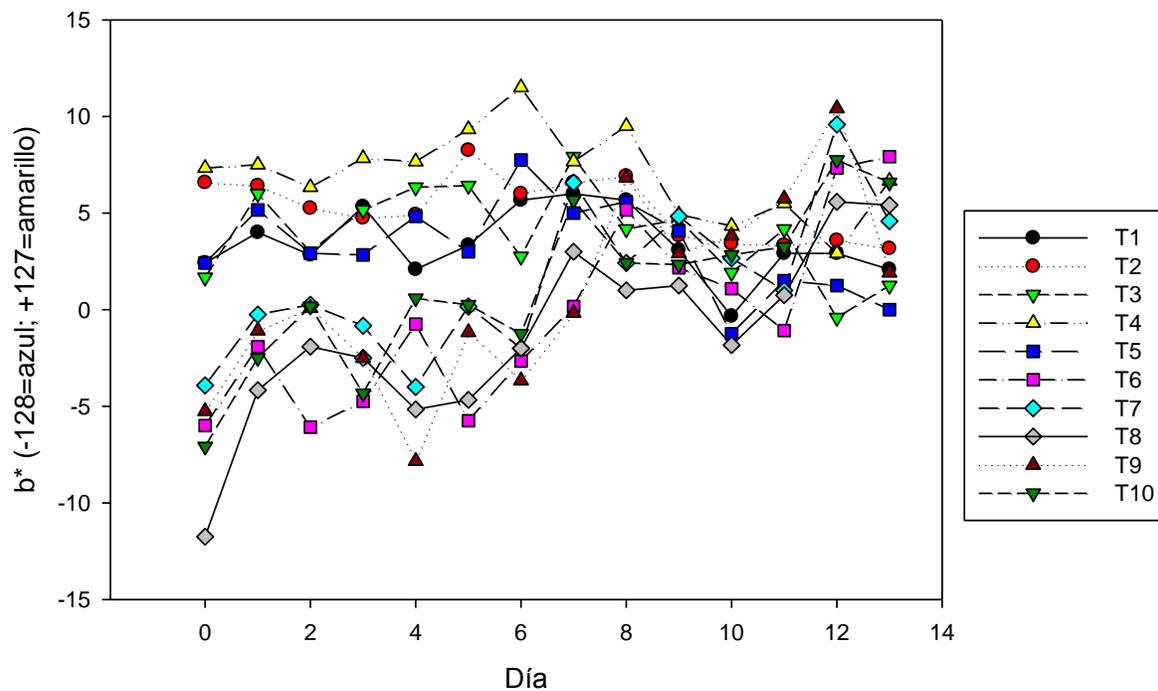


Figura 15. Cambios en el componente de la coordenada b^* en drupeolas de Zarzamora cv. Tupy polinizados manual y naturalmente evaluados a través de 13 días almacenamiento refrigerado a 2 ± 1 °C.



En el caso de la coordenada b^* , la cual define la desviación hacia el amarillo, si $b^* > 0$, y hacia el azul si $b^* < 0$ (Domínguez-Soto *et al.*, 2012); la Figura 15 muestra el comportamiento de la coordenada b^* en los distintos tratamientos, en el caso de los tratamientos que tuvieron polinización natural (T6 a T10) presentaron valores negativos pasando a positivos a medida que avanzó el tiempo de estudio, lo cual indica una evolución de colores azules hacia el colores amarillos; caso contrario en los tratamientos con polinización manual (T1 a T5), pues los valores de b^* tienden a disminuir sin pasar a ser negativos, manteniéndose dentro del eje de los colores amarillos. El Cuadro 13 muestra los valores de la coordenada b^* durante el tiempo de estudio, los tratamientos que presentaron los valores más altos en el día 13, fueron T4, T6 y T10.

Cuadro 13. Evolución en los valores de la coordenada b^* de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).

TRATAMIENTOS										
Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
0	2.4	6.6	1.7	7.3	2.4	-6.0	-3.9	-11.8	-5.3	-7.1
1	4.0	6.4	6.0	7.5	5.2	-1.9	-0.3	-4.2	-1.1	-2.5
2	2.8	5.3	3.0	6.3	2.9	-6.1	0.3	-1.9	0.1	0.2
3	5.3	4.8	5.2	7.8	2.8	-4.8	-0.8	-2.5	-2.5	-4.3
4	2.1	4.9	6.3	7.7	4.8	-0.8	-4.0	-5.2	-7.8	0.6
5	3.3	8.3	6.4	9.3	3.0	-5.8	0.2	-4.7	-1.2	0.3
6	5.7	6.0	2.8	11.5	7.8	-2.7	-2.0	-2.0	-3.7	-1.3
7	6.0	6.6	7.9	7.7	5.0	0.2	6.6	3.0	-0.2	5.7
8	5.7	6.9	4.2	9.5	5.6	5.2	2.4	1.0	6.8	2.4
9	3.1	3.8	4.7	4.9	4.1	2.2	4.8	1.3	2.9	2.3
10	-0.3	3.4	1.9	4.3	-1.3	1.1	2.7	-1.8	3.8	2.8
11	2.9	3.3	4.2	5.5	1.5	-1.1	1.0	0.8	5.8	3.3
12	2.9	3.6	-0.4	2.9	1.3	7.3	9.6	5.6	10.4	7.8
13	2.1	3.2	1.3	6.7	0.0	7.9	4.6	5.4	1.9	6.6



Estadísticamente hubo diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre el efecto medio de los tratamientos, tiempos, y en la interacción tratamiento x tiempo. Al realizar la prueba de Tukey para cada uno de los tratamientos entre el día 0 y 13 para la coordenada b^* , solo los tratamientos que presentaron diferencias significativas, entre este período, fueron los frutos con polinización natural (T6 a T10), (Cuadro 14), esto se debe a la evolución de colores azules (valores negativos) hacia los colores púrpuras (valores positivos), por lo que estadísticamente el valor de las medias del valor b^* fue significativamente diferente para cada tratamiento.

Cuadro 14. Comparación del efecto medio de los tratamientos entre el día 0 y día 13, sobre b^* en drupeolas de zarzamora.

Tratamiento	Tipo de polinización	Día	
		0	13
T1	Manual	2.40	2.10 ^{NS}
T2	Manual	6.55	3.17 ^{NS}
T3	Manual	1.67	1.22 ^{NS}
T4	Manual	7.32	6.65 ^{NS}
T5	Manual	2.40	0.00 ^{NS}
T6	Natural	-6.00	7.92 ^{**}
T7	Natural	-3.92	4.57 ^{**}
T8	Natural	-11.75	5.42 ^{**}
T9	Natural	-5.25	1.90 [*]
T10	Natural	-7.05	6.57 ^{**}

Medias del parámetro b^* . ^{**} =0.01 (altamente significativo), ^{*} =0.05 (significativo) y NS (no significativo).



El Cuadro 15 muestra la comparación múltiple entre el efecto medio de los tratamientos, donde se compararon los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) frente a los tratamientos con polinización natural (T6 a T10) para determinar el efecto del tipo de polinización sobre la coordenada b^* entre combinaciones de tratamientos en el día 13. Se encontró que no existen diferencias significativas entre combinaciones de tratamientos, por lo que el efecto del tipo de polinización sobre la coordenada b^* no es significativamente diferente en los tratamientos polinizados manualmente y con polinización natural.

Cuadro 15. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre b^* en drupeolas de zarzamora a final del experimento.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	p-valor
T1	13	T6	13	0.959 ^{NS}
T1	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T6	13	0.999 ^{NS}
T2	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T6	13	0.682 ^{NS}
T3	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T10	13	0.994 ^{NS}
T4	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T9	13	0.999 ^{NS}
T4	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T6	13	0.168 ^{NS}
T5	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T8	13	0.992 ^{NS}
T5	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T10	13	0.739 ^{NS}

Medias del parámetro b^* . NS (no significativo).



En las comparaciones de las secciones de estudio, analizando el componente del color b^* , se encontró que no hay diferencias significativas, tanto al comparar las secciones en los frutos polinizados manualmente como aquellas secciones correspondientes a los frutos que tuvieron polinización natural, por lo que, para el componente del color b^* , estadísticamente no hay diferencia significativa entre las secciones de estudio comparadas en el día 13 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Comparación del valor del componente b^* en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Valor p
T1	13	T2	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T4	13	0.9922 ^{NS}
T3	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T5	13	0.7055 ^{NS}
T6	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T9	13	0.9240 ^{NS}
T7	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T9	13	T10	13	0.9999 ^{NS}

Medias del parámetro b^* . NS (no significativo).



Aunque no se encontró diferencias significativas en las combinaciones de tratamientos al final de experimento, se hace notar que el tratamiento que obtuvo el mayor valor de b^* en el día 13, fue el T6 con un valor de 7.9, seguido de T4 con 6.7, estos valores se encuentran por encima de los reportados por Tosun *et al.* (2008) quienes indican que para zarzamora en estado maduro el valor de la coordenada b^* es de 3.62 ± 1.24 , asimismo, Turemis *et al.* (2003) reportan el valor de b^* , para el mismo estado, entre 1.3 a 3.4. Y aunque los valores encontrados para cada tratamiento se encuentran por encima de los reportados, estos se hallan por debajo del valor reportado para zarzamora en estado rojo, el cual fue de 13.07 ± 0.92 (Tosun *et al.*, 2008).

Tomando como dato comparativo se recurre a los valores del componente b^* encontrado por Bañuelos-Hernández *et al* (2016) quienes evaluaron tallos florales de *Heliconia psittacorum* L.f. cv. Trópica, encontrando valores de 11.04 a 39.40, esto tras someter a los tallos florales a un almacenamiento en diferentes condiciones. Dichos valores aunque no son pertenecientes a zarzamora, sirven de comparativo debido a que los tallos florales de *Heliconia psittacorum* L.f. cv. Trópica corresponden a tonalidades rojizas.

Una vez analizados los componentes de color L, a^* y b^* , en términos generales, la evidencia arrojada por la prueba de Tukey, indica que la polinización manual se sigue presentando en este tipo de frutos, al comparar el valor de L^* con los frutos con polinización natural, sólo T9 fue significativamente diferente, en el caso de la coordenada a^* , T4 presentó la coloración roja más intensa, clara presencia de reversión de color, al comparar esta con los tratamientos con polinización natural, solo fue significativamente diferente con T9, en el caso de la coordenada b^* , no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con polinización manual frente a los tratamientos con polinización natural, por lo cual, se evidencia que la polinización manual no elimina a la reversión de color.



5.5. Coordenadas polares Ángulo de Tono (hue) y Croma

El ángulo de tono (hue) y croma forman parte del espacio de color CIELAC*H*, creado para describir y medir el color; se entiende el croma C* como el componente del color que toma un valor de 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos, en el caso del ángulo de tono, H*, varía entre 0 y 360° (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

La Figura 16 muestra la evolución en valores de hue y croma para los tratamientos que fueron polinizados manualmente, se anexa una referencia, la cual se trata de valores reportados por Turemis *et al.* (2003) para zarzamora en estado maduro, siendo para croma 4.0 a 8.1 y hue de 16.7 a 24.8; en general los tratamientos se encuentran por encima de la referencia, asimismo, se observa que el T4 se encuentra más próximo a los colores rojos; al analizar los resultados con el espacio de color CIELa*b*, T4 fue quien presentó el máximo valor de a*.

En la Figura 17 se observa la evolución en los valores de hue y croma para los tratamientos que tuvieron polinización natural, se puede apreciar que al inicio del experimento la mayoría de los tratamientos presentaron tonalidades azules, lo cual se confirma cotejando con la carta de colores creada en este trabajo, a medida que transcurre el experimento las coloraciones evolucionan hacia los tonos rojos; los tratamientos que se encontraron más próximos a los colores rojos, al final del experimento (día 13), fueron T6 y T10.

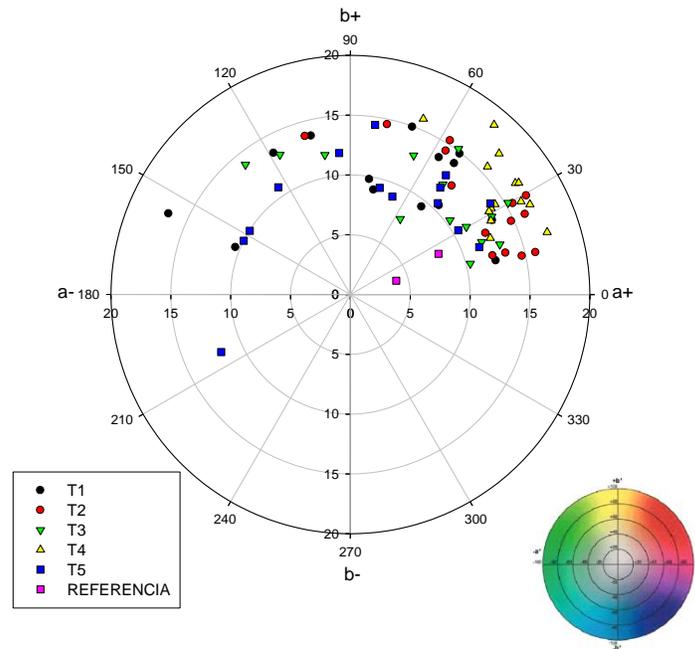


Figura 16. Evolución del color de los distintos tratamientos polinizados manualmente.

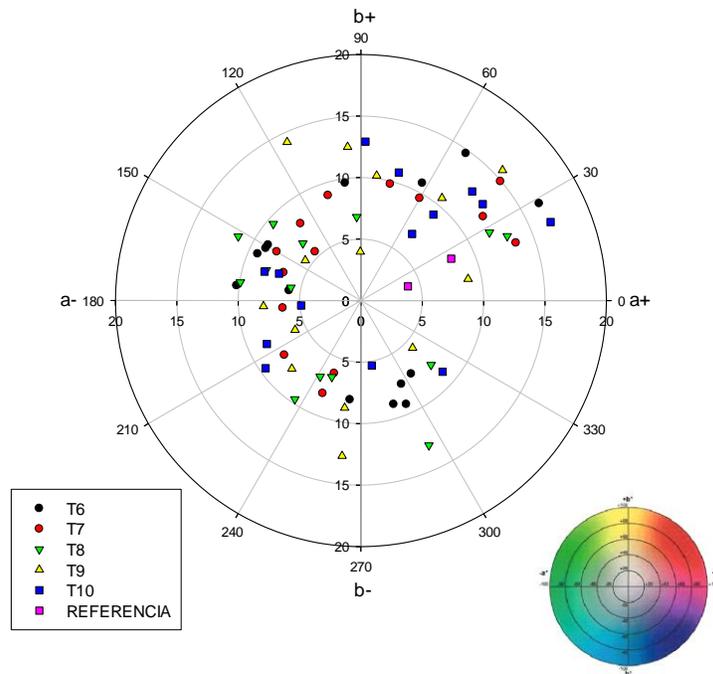


Figura 17. Evolución del color de los distintos tratamientos que tuvieron polinización natural.



Al igual que en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$, se analizarán los componentes por separado, es decir primero ángulo de tono y después croma. El cuadro 17 muestra la evolución de los valores del ángulo de tono, tanto para los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) como para los tratamientos que tuvieron polinización natural (T6 a T10). En los tratamientos T6 a T9, se observan valores altos del ángulo de tono, esto indica que los colores se encuentran posicionados en el cuadrante IV de la gráfica polar (Figura 13) donde lo valores van de 270° a 360 °, tratándose de una evolución de color de azul a rojo; paulatinamente los valores del ángulo de tono disminuyen, hasta llegar al cuadrante I, que va de 0° a 90 °, en donde la evolución de color va de rojo a amarillo.

Cuadro 17. Evolución en los valores del ángulo de tono de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).

TRATAMIENTOS										
Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
0	80.61	29.28	100.3	31.5	74.5	295.9	215.4	295.2	261.4	319.0
1	77.50	56.39	36.7	31.0	50.0	172.0	185.4	241.8	204.1	279.6
2	50.93	46.98	56.6	27.7	66.8	293.7	149.9	92.9	90.8	184.8
3	51.58	77.76	30.3	28.6	153.6	263.7	160.1	249.1	224.6	215.3
4	157.66	24.41	28.9	32.0	30.8	155.7	155.7	236.1	263.1	163.3
5	103.86	29.33	53.4	34.0	46.3	287.6	133.2	317.5	144.2	161.9
6	52.13	24.49	14.4	43.5	33.0	304.5	249.8	171.4	317.7	204.7
7	27.62	24.68	30.2	26.7	51.3	151.3	34.4	138.9	183.4	88.3
8	57.11	57.06	50.0	33.6	81.7	62.3	62.3	152.5	94.9	52.4
9	45.12	14.97	21.9	22.0	20.2	149.1	60.1	60.1	82.8	73.4
10	118.46	72.81	128.9	43.0	204.1	97.7	97.7	169.5	51.6	49.8
11	13.11	15.26	18.6	47.6	94.5	173.1	128.1	135.4	115.0	44.4
12	69.69	105.96	116.7	67.5	123.9	54.4	54.4	40.4	42.5	38.3
13	156.02	12.63	65.6	49.8	147.7	28.5	20.4	23.7	11.3	22.4



En el caso del ángulo de tono, estadísticamente hubo diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre el efecto medio de los tratamientos, tiempos, y en la interacción tratamiento x tiempo. El ángulo de tono (hue) tiene valores que van de 0° a 90° e indican una tendencia que va del color rojo y paulatinamente cambian por combinación con el amarillo hasta definirse este último. De 90° a 180° la tendencia es del amarillo al verde (Padrón-Pereira *et al.*, 2012), por consiguiente valores que van de 180° a 270° el cambio va de verde a azul y de 270° a 360° la tendencia es del azul al rojo, para el caso del análisis del ángulo de tono, cabe resaltar, que se tomó como referencia el aje a+ (0°) y la mediada de los ángulo fue en sentido anti horario.

El cuadro 18 muestra el efecto medio de los tratamientos en dos etapas de evaluación, inicial (día 0) y final (día 13), los tratamientos que tuvieron polinización natural se encontraron diferencias a excepción de T7.

Cuadro 18. Comparación del efecto medio de los tratamientos en dos periodos, día 0 y día 13, sobre el ángulo de tono en drupeolas de zarzamora.

Tratamiento	Tipo de polinización	Día	
		0	13
T1	Manual	80.61	156.02 ^{NS}
T2	Manual	29.28	12.62 ^{NS}
T3	Manual	100.32	65.60 ^{NS}
T4	Manual	31.52	49.80 ^{NS}
T5	Manual	74.62	147.7 ^{NS}
T6	Natural	295.90	28.55 ^{**}
T7	Natural	215.40	20.37 ^{NS}
T8	Natural	295.20	23.72 ^{**}
T9	Natural	261.40	11.27 ^{**}
T10	Natural	319.00	22.42 ^{**}

Medias del ángulo de tono. ^{**} =0.01 (altamente significativo), ^{*} =0.05 (significativo) y NS (no significativo).



En el Cuadro 19 se comparó el valor del ángulo de tono de los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) frente al valor de los tratamientos con polinización natural (T6 a T10) con el fin de encontrar aquellos que mostraron diferencias significativas. No encontrando diferencias significativas entre ninguna combinación. Esto indica que el efecto producido por el tipo de polinización no es significativamente diferente.

Cuadro 19. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre el valor del ángulo de tono en drupeolas de zarzamora a final del experimento.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	p-valor
T1	13	T6	13	0.998 ^{NS}
T1	13	T7	13	0.992 ^{NS}
T1	13	T8	13	0.996 ^{NS}
T1	13	T9	13	0.996 ^{NS}
T1	13	T10	13	0.995 ^{NS}
T2	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T6	13	0.999 ^{NS}
T5	13	T7	13	0.998 ^{NS}
T5	13	T8	13	0.995 ^{NS}
T5	13	T9	13	0.991 ^{NS}
T5	13	T10	13	0.993 ^{NS}

Medias del ángulo de tono. * =0.05 (significativo)



Al comparar el ángulo de tono en las diferentes secciones de estudio, se encontró que no hay diferencias significativas, tanto al comparar las secciones en los frutos polinizados manualmente como aquellas secciones correspondientes a los frutos que tuvieron polinización natural, por lo que, es así que podemos indicar que el color es similar en todo el fruto y en la cara superior, tanto para frutos con polinización manual como aquellos con polinización natural, esto evaluados en el día 13 (Cuadro 20).

Cuadro 20. Comparación del valor del ángulo de tono en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Valor p
T1	13	T2	13	0.9724 ^{NS}
T1	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T5	13	0.9935 ^{NS}
T3	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T3	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T9	13	T10	13	1.0 ^{NS}

Medias del ángulo de tono. NS= no significativo.



En el espacio de color CIELCH el croma o saturación indica que tan puro o intenso es el color, de una escala de 0 a 100, donde este último es el de mayor pureza, mientras menos puro o saturado es un color, más descolorido o grisáceo (Padrón-Pereira *et al.*, 2012), por lo que considerando que un valor de croma = 0 es grisáceo y 100 pertenece a un color intenso, entonces podemos afirmar los tratamientos que presentaron un color intenso son T1, T4 y T10, debido a que mostraron los mayores valores de croma (Cuadro 21), el tratamiento T9 presenta una disminución en el valor de croma, de 13.80, en el día 0, a 8.90 a final del experimento (día 13) lo cual indica que el color se tornó grisáceo.

Cuadro 21. Evolución en los valores de Croma (C*) de los distintos tratamientos a través del tiempo de estudio (13 días).

TRATAMIENTOS										
Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
0	9.8	15.6	11.9	13.8	9.2	7.5	7.6	13.0	8.8	8.8
1	9.0	14.4	10.4	13.5	11.7	5.9	6.4	7.0	5.9	5.4
2	9.4	12.4	7.6	13.3	8.9	9.2	7.9	6.8	4.0	4.9
3	14.0	14.5	11.2	16.2	10.0	8.1	6.7	6.6	7.9	9.5
4	10.4	12.4	13.5	14.2	10.5	9.2	8.2	9.7	12.7	8.2
5	13.7	16.9	15.2	16.6	10.6	8.8	5.4	7.7	5.6	7.0
6	14.9	14.8	10.3	17.1	14.0	7.2	6.3	9.9	5.7	8.4
7	13.4	16.1	15.2	16.8	12.8	8.8	12.1	9.5	8.0	12.9
8	13.6	15.3	12.0	16.9	14.3	10.8	9.0	11.3	12.5	6.8
9	10.5	13.4	11.8	12.6	11.5	8.8	9.6	8.1	10.2	10.9
10	13.4	15.9	13.9	15.7	11.8	9.6	9.8	5.8	10.6	9.1
11	12.5	12.3	13.2	17.2	11.9	10.2	8.0	6.6	14.2	12.7
12	14.9	13.8	13.1	15.9	10.8	14.7	14.9	11.8	15.7	12.6
13	16.6	14.7	12.8	18.6	9.9	16.5	13.5	13.0	8.9	16.7



Para el croma, al igual que en ángulo hue, se presentaron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre el efecto medio de los tratamientos, tiempos, y en la interacción tratamiento x tiempo. En la comparación del efecto medio de los tratamientos en el día 0 y 13, T6 y T10 presentaron diferencias significativas, dichos tratamientos pertenece al grupo con polinización natural, en ambos casos el color se volvió más intenso, debido al incremento en el valor inicial. En la mayoría de los tratamientos se visualiza un incremento en el valor de croma, solo T2 y T9 mostraron una disminución en el valor inicial, lo cual se atribuye a que el color se volvió grisáceo (Cuadro 22).

Cuadro 22. Comparación del efecto medio de los tratamientos en dos periodos, día 0 y día 13, sobre croma en drupeolas de zarzamora.

Tratamiento	Tipo de polinización	Día	
		0	13
T1	Manual	9.77	16.60 ^{NS}
T2	Manual	15.57	14.70 ^{NS}
T3	Manual	10.40	12.77 ^{NS}
T4	Manual	13.80	18.57 ^{NS}
T5	Manual	9.22	9.92 ^{NS}
T6	Natural	9.77	16.52 ^{**}
T7	Natural	15.57	13.47 ^{NS}
T8	Natural	11.85	13.02 ^{NS}
T9	Natural	13.80	8.90 ^{NS}
T10	Natural	9.22	16.75 ^{**}

Medias de croma. ^{**}=0.01 (altamente significativo), NS (no significativo).

En el Cuadro 23 se comparó el valor croma de los tratamientos polinizados manualmente (T1 a T5) frente al valor de los tratamientos con polinización natural (T6 a T10) con el fin de identificar el efecto de la polinización manual sobre croma. Encontrando que la combinación que presento diferencias significativas fue T4 frente a T9.



Cuadro 23. Comparación del efecto medio de los tratamientos sobre croma (C*) en drupeolas de zarzamora a final del experimento.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T1	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T1	13	T9	13	0.235 ^{NS}
T1	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T2	13	T9	13	0.962 ^{NS}
T2	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T3	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T6	13	1.000 ^{NS}
T4	13	T7	13	0.998 ^{NS}
T4	13	T8	13	0.986 ^{NS}
T4	13	T9	13	0.005**
T4	13	T10	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T6	13	0.727 ^{NS}
T5	13	T7	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T8	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T9	13	1.000 ^{NS}
T5	13	T10	13	0.622 ^{NS}

Medias de croma*. **=0.01 (altamente significativo), NS (no significativo).

Al comparar el valor de croma en las diferentes secciones de estudio, se encontró que para los frutos polinizados manualmente las secciones de estudio marcadas con las referencias de color roja (T4) y la sección superior (T5) mostraron diferencias significativas, esto es, que la diferencia del valor de croma en las secciones roja y superior es estadísticamente significativa. En el caso de los frutos que tuvieron polinización natural no se encontraron diferencias, dicha esta evaluación en el día 13 (Cuadro 24).



Cuadro 24. Comparación del valor de Croma en diferentes secciones de estudio en frutos de zarzamora.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Valor p
T1	13	T2	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T1	13	T5	13	0.6937 ^{NS}
T2	13	T3	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T4	13	1.0 ^{NS}
T2	13	T5	13	0.9999 ^{NS}
T3	13	T4	13	0.9628 ^{NS}
T3	13	T5	13	1.0 ^{NS}
T4	13	T5	13	0.0472*
T6	13	T7	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T6	13	T9	13	0.2614 ^{NS}
T6	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T8	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T7	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T9	13	1.0 ^{NS}
T8	13	T10	13	1.0 ^{NS}
T9	13	T10	13	0.1891 ^{NS}

Medias de croma*. *=0.05 (significativo), NS (no significativo).

Los valores de croma que se obtuvieron para la mayoría de los tratamientos se encontraron por encima del valor reportado por Turemis *et al.* (2003) para zarzamora, el cual es de 4.0 a 8.1, los tratamientos que estuvieron cerca de este valor son T5 y T9, con 9.9 y 8.9, respectivamente, esto evaluados en el día 13, el tratamiento que presentó el máximo valor de croma fue T4 con 18.6, seguido de T10 con 16.7, el primero fue parte del grupo de los tratamientos polinizados manualmente y el segundo perteneciente a los tratamientos que tuvieron polinización natural.



Por lo que, una vez analizado ángulo de tono y hue, la evidencia indica que la polinización manual no presentó un efecto positivo, entendiendo este, como la nula incidencia del fenómeno de reversión de color, siendo además que T4, tanto en el espacio de color CIELa*b* como en el CIELC*H*, mostró evidencia de evolución del color púrpura hacia tonalidades rojas, claro indicio de reversión de color, se esperaba que en los tratamientos con polinización manual, el fenómeno no se presentara, sin embargo, se observó su presencia.



CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

La polinización manual no evito la incidencia de la reversión de color (RC) en los frutos, pues al comparar los componentes de color L, a^* y b^* frente a los valores que se obtuvieron en polinización natural, no se encontraron diferencias significativas, además, el tratamiento T4, perteneciente a frutos polinizados manualmente, mostró valores de la coordenada a^* cercanos a los colores rojos, asimismo al analizar los componentes de Hue y Croma, dicho tratamiento se encontró ubicado en la zona de los colores rojos, por lo que, la evidencia indica que se desarrolló RC en frutos polinizados manualmente; sin embargo, las secciones de estudio en frutos polinizados manualmente presentaron menor porcentaje de RC comparados con las secciones de estudio en frutos con polinización natural, la sección que presento mayor porcentaje de RC en polinización manual fue de 39.9 % frente a 59.1% de RC en frutos con polinización natural, por lo que, aunque la polinización manual no elimino el fenómeno si disminuyo su incidencia.

El espacio que resulto ser más idóneo para la descripción de color, fue el CIELC $^*H^*$, debido a que los valores combinados de Hue y croma se pueden integrar en una gráfica polar y determinar de manera directa el color en un tiempo de estudio determinado, no así con el espacio CIELa $^*b^*$ donde las coordenadas se analizan por separado y no se visualiza el tipo de color al cual se hace referencia en un tiempo específico o de interés.



Al analizar diferentes secciones de estudio en frutos polinizados manualmente, se encontraron diferencias significativas en la variable croma al comparar la sección marcada por el color rojo frente a la sección superior, por lo que el color en estas secciones difiere del resto de las secciones, no se encontraron diferencias significativas para las variables de luminosidad, coordenadas a^* y b^* , ni para el ángulo de tono; en el caso de los frutos con polinización natural, se encontraron diferencias significativas para la variable luminosidad en las combinaciones de las secciones de estudio marcadas con el color rojo frente a las secciones azul, naranja y púrpura, por lo que en dichas secciones el valor de la luminosidad difiere de las demás secciones, no se encontraron diferencias significativas en las variables coordenada a^* y b^* , ángulo de tono y croma.

El uso del Sistema de Visión Computarizada (SVC) resulto ser una herramienta idónea para monitorear el color en frutos de zarzamora, y en general en frutos pequeños, debido a que permite el estudio por zonas o puntos, además de ser una herramienta de bajo costo, con la que se puede estudiar el color en diversos sistemas (RGB, CMYK, Lab), además de permitir obtener valores objetivos a través de imágenes digitales.



CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA

- ALICE, L.A., and C.S. CAMPBELL. 1999. Phylogeny of *Rubus* (Rosaceae) based on nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacer sequences. *American Journal of Botany*. 86:81-91
- ALVAREZ-VARGAS, J. E; S.H. CHÁVEZ-FRANCO; I. ALIA-TEJACAL; D. NIETO-ANGEL; A. HERNANDEZ; S. VALLE-GUADARRAMA. 2011. Maduración de frutos de zapote mamey con Etefón. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 12: 28-34.
- AGUILERA, J.M; A. CIPRIANO; M. ERAÑA; I. LILLO; D. MERY; A. SOTO. 2005. Computer vision for quality control in Latin American food industry, a case study. Ponticia Universidad católica de Chile, Vision Q Ltda.
- AGUILERA-ORTIZ, M., M.G. ALANIS-GUZMAN., C.L. GARCÍA-DÍAZ., C.M. HERNÁNDEZ-BRENES. 2009. Caracterización y estabilidad de antocianinas de higo, variedad, Mission. *Universidad y Ciencia*. 25: 151-158.
- AGUILERA-ORTIZ, M; M del C. REZA-VARGA; R.G. CHEW-MADINAVEITIA; J.A. MEZA-VELÁZQUEZ. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la salud*. 13:16-22.
- ALI, K., F. MALTESE., A. M. FORTES., M.S. PAIS., Y.H. CHOI., R. VERPOORTE. 2011. Monitoring biochemical changes during grape Berry development in Portuguese cultivars by NMR spectroscopy. *Food Chemistry*. 124: 1760-1769.
- ANDERSEN, P. C AND T.E. CROCKER. 2001. The blackberry. HS807. Horticultural Sciences Departament, UF/IFAS Extensión Universirsity of Florida.
- ARIAS-SUÁREZ, J. C., J. A. OCAMPO-PÉREZ., R. URREA-GÓMEZ. 2014. La polinización natural en el Maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como un servicio reproductivo y ecosistémico. *Agronomía Mesoamericana*. 25: 73-83.
- ARIAS-SUÁREZ, J. C., J. A. OCAMPO-PÉREZ., R. URREA-GÓMEZ. 2016. sistemas de polinización en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) como base para estudios genéticos y de conservación. *Acta Agronómica*. 65: 197-203.
- ÁVALOS-GARCÍA, A Y E. PÉREZ-URRIA. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca. Serie Fisiología Vegetal*. 2: 119-145.



- BARRERA-MORENO, S.E. 2003. Factores diversos en la coloración irregular en zarzamora. Tesis de Maestría. RGP Fruticultura. Colegio de postgraduados. Texcoco, México.
- BARRET, D.M., J.C. BEAULIEU., R. SHEWFELT. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Food Science and Nutritional*. 50:369-389.
- BAÑUELOS-HERNANDEZ, K.P., J.R. GARCÍA-NAVA., O.R. LEYVA-OVALLE., C.B. PEÑA-VALDIVIA., M.C. YBARRA-MONCADA. 2016. Flowering stem storage of *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica. *Postharvest Biology and Technology*. 112: 159-169.
- BONILLA, M.A. 2012. La polinización como servicio ecosistémico. *In: Iniciativa colombiana de polinizadores (ICPA), Capítulo I: abejas*. Universidad nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia. pp. 1-103.
- BROSNAN, T Y D.W. SUN. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision- a review. *Journal of Food Engineering*. 61:3-16.
- CARVALHO, C.P., A. MONTERDE., J.MA. MARTÍNEZ-JÁVERA., A. SALVADOR. 2006. Efecto del tratamiento de desverdización en la calidad de mandarinas “orunales” con vistas a la exportación a Japón. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7:104-108.
- CARVAJAL-HERRERA, J.J., D. ARISTIZÁBAL-TORRES., C.E. OLIVEROS-TASCON., J.W. MEJIA-MONTOYA. 2011. Colorimetría del fruto de Café (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad Nacional Agronomía-Medellin*. 64:6229-6240.
- CASSIERA, F Y M.C. CARDOZO. 2009. Análisis básicos del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv. Quindío) cultivado a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 65: 41-48.
- CASTAÑEDA, A., M.L. PACHECO., M.E. PAÉZ., J.A. RODRÍGUEZ., C.A. GALÁN. 2009. Chemical studies of anthocyanins. A Review. *Food Chemistry* 113:859–871.
- CASTELLANOS, D. A Y N.A. ALGECIRA. 2012. Modelling change in color and firmness of baby banana (*Musa acuminata* AA) in modified atmosphere packing. *Agronomía colombiana*. 30:84-94.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



- CASTRO-CAMACHO, J.K., N.E. CERQUERA-PEÑA., N. GUTIERREZ-GUZMÁN. 2013. Determinación del color del exocarpo como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la Guayaba Pera (*Psidium guajaba* cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. Revista EIA. 10:79-89.
- CORNEJO, F; G. CHUCHUCA., A. DICK., J. PEÑAFIEL. 2013. Implementación y validación de una metodología económica para la medición de color aplicada en alimentos. Artículo de tesis de grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la producción. Guayaquil-Ecuador.
- CUBERO, G. S. 2012. Diseño e implementación de nuevas tecnologías basadas en Visión Artificial para la inspección no destructiva de la calidad de fruta en campo y mínimamente procesada. Tesis doctoral. Departamento de expresión Gráfica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- CUEVAS-MONTILLA, E., A. ANTEZANA., P. WINTWERHALTER. 2008. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de Maíz (*Zea mays*) boliviano. Red-Alfa Lagrotech. 79-95.
- CUEVAS R, E O. (2011). Evaluación del potencial nutracéutico de Zarzamoras silvestres y mejoradas. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. Santiago de Querétaro, Querétaro.
- CHÁVEZ-MARTÍNEZ, O. 2011. Cultivo y manejo de la zarzamora. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- CHAUTÁ-MELLIZO, A., S.A. CAMPBELL., A.A.BONILLA., J.S. THALER., K. POVEDA. 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. Basic and Applied Ecology. 13: 524-532.
- CRUZ, J DE LA., G. VELA., L. DORANTES., H.S. GARCÍA. 2009. Efecto del etileno sobre el ACC y ACC oxidasa en la maduración de Papaya "Maradol". Revista Fitotecnia Mexicana. 33: 133-140.
- DARROW, G.M. 1937. Blackberry and raspberry improvement. U.S. Dep. Agr. Yrbk. P. 496-533.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



- DEMCHAK, K. 2014. The mid-atlantic Berry Guide for comercial growers 2013-2014. Department of Horticultural. The Pennsylvania University.
- DELMORO, J., D. MUÑOZ., V. NADAL., A. CLEMENTZ., V. PRANZETTI. 2010. El color en los alimentos: Determinación de color en mieles. *Invenio*. 13:145-152.
- DOKOOZLIAN, N.K. 2000. Grape berry growth and development. pp. 30-37. *In: CHRISTENSEN, L.P. (ed.) Raisin production manual*. University of California, Agricultural and Natural Resources Publication 3393, Oakland, CA.
- DIOS-LÓPEZ, A DE., E. MONTALVO-GONZÁLEZ., I. ANDRADE-GONZÁLEZ., J.F. GÓMEZ-LEYVA. 2011. Inducción de antocianinas y compuestos fenólicos en cultivos celulares de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) in vitro. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17: 77-87
- DOMINGUEZ-SOTO, J.M.; ROMÁN-GUTIERREZ, A.M.; PRIETO-GRACÍA, F.; ACEVEDO-SANDOVAL, O. 2012. Sistema Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3: 141-155.
- ESCALANTE-ABURTO, A.E., B. RAMÍREZ-WONG., P.I. TORRES.CHÁVEZ., J.M. BARRÓN-HOYOS., J DE D. FIGUEROA-CÁRDENAS., J. LÓPEZ-CERVANTES. 2013. La Nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36: 429-437.
- FAOSTAT. 2014. Estadísticas de producción por cultivo. Disponible en: <http://faostat.fao.org/beta/en/#data/QC>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2014.
- FRANCIS, F. 1980. Color quality evaluation of horticultural crops. *HortScience*. 15: 14-16.
- FRANCO-MORA, O., J. JASSO-MATA., E. GARCIA-VILLANUEVA., C. SAUCEDO-VELOZ. 2001. Crecimiento y calidad de frutos de *Annona muricata* L. con diferentes intensidades de polinización. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 24: 139-144.
- GARCÍA-TAÍN, Y., A. GARCÍA-PEREIRA., A. HERNÁNDEZ-GÓMEZ., J. PÉREZ-PADRÓN. 2011. Estudio de la variación del índice de color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. 20:12-16.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



- GARZÓN, G. A. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*.13: 27-36.
- GONZÁLEZ-TOMÁS, L. Y E. COSTELL. 2006. Relation between consumer's perception of color and texture of dairy desserts and instrumental measurements using a generalized Procrustes analysis. *Journal of Dairy Science*. 89:4511-4519.
- GÓMEZ, C., C. BUITRAGO., M. CANTE., B. HUERTAS. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. *Revista Comalfi*. 26: 42-55.
- GUADARRAMA, A Y PEÑA, Y. 2013. Actividad respiratoria Vs. Variaciones físicas y químicas en la maduración de frutos de Naranja China (*Citrus x microcarpa* Bunge). *Bioagro*. 25:57-63.
- GUNASEKARAN, S. 1996. Computer vision technology for food quality assurance-review. *Trends in Food Science and Technology*. 7:245.256.
- GUERRERO-PRIETO, V.M., A. ROMO-CHACÓN., J.A. OROZCO-AVITIA., D. I. BERLANGA-REYES., A. A. GARDEA-BÉJAR., R.A. PARRA-QUEZADA. 2006. Polinización en mananos 'red delicious' y 'golden delicious'. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29:41-45.
- HUNT, R. 1990. Basis growth analysis. *Plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman, Boston.
- HUTCHINGS J.H. 1999. *Food Color and Appearance*. Second ed. Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers, Inc.
- KRUG, H. 1997. Environmental influences on development growth and yield. pp. 101-180. *In: WIEN, H.C (Ed.)*. The physiology of vegetable crops. Cabi Publishing, London.
- JONES, R. T. AND J. G. STRANG.2005. Growing blackberries and raspberries in Kentucky. HO-15. Cooperative Extension Service. University of Kentucky.
- MANNING, K. 1998. Isolation of a set of ripening-related genes from strawberry: their identification and possible relationship to fruit quality traits. *Planta*. 205:622-631.
- MARTINEZ-VERDÚ, F. M. 2001. Diseño de un colorímetro triestimulo a partir de una cámara CCD-RGB. Memoria de investigación para obtener el grado de Doctor en Física. Universidad Politécnica de Cataluña. 400 p.



- MARTÍNEZ-CRUZ, N DEL S., K. ARÉVALO-NIÑO., M.J. VERDE-STAR., C. RIVAS-MORALES., A. ORANDAY-CÁRDENAS., A. NÚÑEZ.GONZÁLES., E. MORALES-RUBIO. Antocianinas y actividad anti radicales libres de *Rubus adenotrichus* Schldtl (zarzamora). Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 42:66-71.
- MENDOZA, F. AND J.M. AGUILERA. 2004. Application of image analysis for classification of ripening bananas. Journal of Food Science. 69: 471-477.
- MENDOZA, F; P. DEJMEK; J.M. AGUILERA. 2007. Colour and image texture analysis in classification of comercial potato chips. Food Research International. 40: 1146-1154.
- MISIMI, E; J.R. MATHIASSEN; U. ERIKSON.2007. Computer visión-based sorting of atlantic salmon (*Salmon salar*) fillets according to their color level. Journal of Food Science. 72: 30-35.
- MONTALVO-GONZÁLES, E., N. G. GONZÁLES-ESPINOZA., H. S. GARCÍA-GALINDO., B. TOVAR-GÓMEZ., M. MATA-MONTES DE OCA. 2009. Efecto del etileno exógeno sobre la desverdización del chile "poblano" en postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura. 15: 189-197.
- MORALES-GUZMÁN, J., M.G. MEDINA-TORES., E. ANDRADE-EZQUIVEL., S.H. GUZMÁN-MALDONADO., D. HERNÁNDEZ-LÓPEZ. Evaluación de los efectos del secado por aspersión sobre los compuestos fotoquímicos-funcionales y características fisicoquímicas en encapsulados de Zarzamora (*Rubus spp*). XII Congresos Nacional de Ciencias y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Guanajuato. 27 al 28 de mayo de 2010. Pp. 23.
- MUÑOZ-RODRIGUEZ, M Y JUAREZ, MA. R. 1993. El mercado mundial de la Frambuesa y Zarzamora. Chapingo, México. 89 p.
- McGUIRE, R. G. 1992. Reporting of objeotive color measurements. HortScience. 27:1254-1255.
- NIEVES, J.L; J.A. GARCÍA., J. HERNÁNDEZ-ANDRÉS., R. HUERTAS. 2010. ¿Fotografiamos el color tal y como lo percibimos? Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 7: 137-141.
- RAFIQ, A., MAKROO, H.A., SACHDEVA, P; SHARMA, S. 2013. Aplicattion of computer vision system in food processing- A review. International Journal of Engineering Research and Aplications. 3:1197-1205.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



- RETTIG, M, Y AH-HEN, K. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agrosur*. 42:39-48.
- RENDÓN, J.A., J. OCAMPO. R. URREA. 2013. Estudio sobre polinización y biología floral en *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, como base para el premejoramiento genético. *Acta Agronómica*. 62: 232-241.
- ROMOLEROUX, K. 1991. Diversidad de las moras (*Rubus* spp.) en el Ecuador: Un recurso filogenético poco explotado. Quito, EC. 166 p.
- RUEDA-LUNA, R., J. REYES-MATAMOROS., A.C. PÉREZ-GONZÁLEZ., M. DEL C. FLORES-YÁÑEZ., M. ROMERO-HERNÁNDEZ. 2015. Calidad de frutos de sandía polinizados artificialmente. *Interciencia*. 40:866-868.
- PADRESCHI, F., J. LEÓN., D. MERY., P. MOYANO. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*. 39: 1092-1098.
- PADRÓN-PEREIRA, C.A. 2009. Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*. *Agronomía Costarricense*. 33:283-301.
- PADRÓN-PEREIRA, C.A. 2010. Procesamiento digital de imágenes de frutos de Semeruco (*Malpighia glabra* L) durante el crecimiento y maduración. *Revista Científica Electrónica de Agronomía, Garça*. 17:1-17.
- PADRÓN-PEREIRA, C.A., PADRÓN-LEON, G., MONTES-HERNÁNDEZ, A.I., OROPEZA-GONZALEZ, R.A. 2012 Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*. 36:97-111.
- PANTOJA, A., A. SMITH-PARDO., A. GARCÍA., A. SÁENZ., F. ROJAS. 2014. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y El Caribe. Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Santiago, Chile.
- PARRA-LEÓN, L. M. 2011. Proyecto de inversión para el cultivo de y venta de zarzamora. Tesina de licenciatura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- PÉREZ-BARRAZA, MA. H Y V. VÁZQUEZ-VALDIVIA. 2004. Zarzamora (*Rubus* spp.), su cultivo y producción en el trópico mexicano. Folleto Técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Nayarit, México.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



- PERKINS-VEAZIE, P. Y CLARCK, J.R. 2011. Red cell, red drupelet, color reversión. In: The bramble. 25: 7-9.
- PERKINS-VEAZIE, P. Y FERNANDEZ, G. E. 2012. Color reversión in fresh market blackberries. Progres report.
- PLAN RECTOR DEL SISTEMA PRODUCTO ZARZAMORA. 2013. Sistema Producto de Zanzamora de Michoacán A.C. p- 47.
- SALINAS-MORENO, Y., G. ALMAGUER-VARGAS., G. PEÑA-VARELA., R. RÍOS-SÁNCHEZ. Ácido elágico y perfil de antocianinas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 15:97-101.
- SALDAÑA, E., R. SICHE., R. HUAMÁN., M. LUJÁN., W. CASTRO., R. QUEVEDO. 2013. Computer vision system in real-time for color determination on flat Surface food. Scientia Agropecuaria. 4: 55-63.
- SALISBURY, F.B Y C.W. ROSS. 2000. Fisiología de las plantas: desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. p. 527-364. Madrid. Thompson Editores Spain, Paraninfo S.A.
- SÁNCHEZ-GARCIA, P. 2009. Manual de nutrición de zarzamora. Colegio de Postgraduados, Montecillo. PP. 37
- SANTACRUZ, L; C. OSORIO., M.L. GONZÁLEZ-MIRRET., F.J. HEREIDA. 2012. Aplicación de la colorimetría triestímulo para evaluar la estabilidad de extractos ricos en antocianinas de frutas tropicales colombianas. Vitae. 19: 93-95.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Estadística de Producción Agrícola 2015. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2016.
- SUÁREZ, J; M. PÉREZ DE CAMACAR; A. JIMÉNEZ. 2009. Efecto de la temperatura y estado de madurez sobre la calidad postcosecha de la fruta de guayaban (*Psidium guajava* L.) procedente de MERCABAR, estado Lara, Venezuela. Revista UDO Agrícola. 9: 60-69.
- STRIK, B.C., H. CAHN., N. BELL., J. CORTELL., J. MANN. 1996. What we've learned about 'Marion' Blackberry-potential alternative production system. Proc. Oregon Hort. Soc. 87:131-136.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

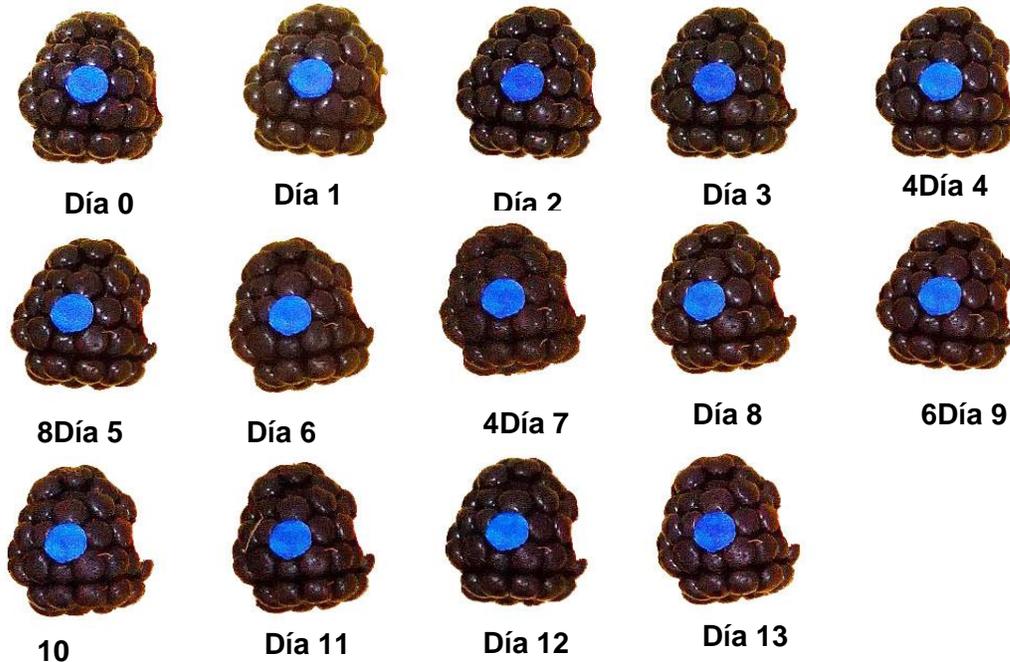
Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campus Montecillo



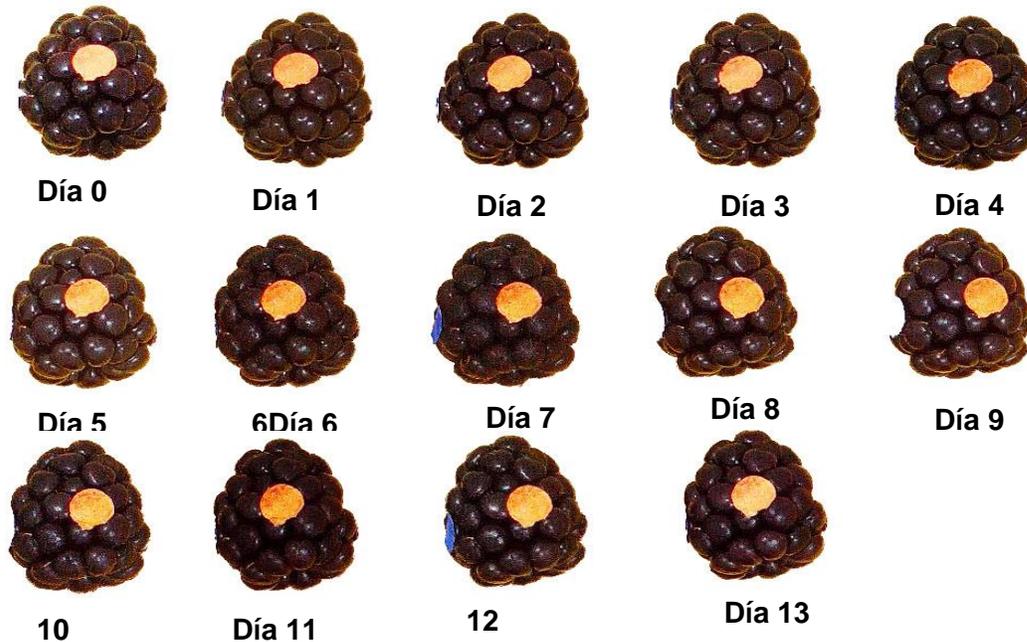
- TOSUN, I., N. SULE-USTUN., B. TEKGULER. 2008. Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. *Scientia Agricola*. 65:87-90.
- TUREMIS, N., S. KAFKAS., E. KAFKAS., C. ONUR. 2003. Fruit characteristics of nine thornles blackberry genotypes. *Journal American Pomological Society*. 57: 161-165.
- VALENCIA, E. Y M.S. MILLÁN. 2005. Diferencias de color entre dos ejemplares de atlas de color Munsell. *Óptica pura y aplicada*. 38:57-65.
- VALLE-COLCHAO, M.E., J. AGUIRRE-MIRANDA., J. DOMINGUEZ-CASTAÑEDA. 2011. Evaluación de la estabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de Zanahoria Púrpura (*Daucus carota*). *Revista ECIPERÚ*. 8:112-118.
- VALLE-LEGUIZAMÓN, G DEL., A. GONZÁLEZ-LEÓN., R. BÁEZ-SAÑUDO. 2005. Antocianinas en uva (*Vitis vinífera* L.) y se relación con el color. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28:359-368.
- VARGAS Y VARGAS, M.L., A. CENTURIÓN-YAH., J. TAMAYO-CORTÉZ., E. SAURI-DUCH. 2005. Efecto de almacenamiento a bajas temperaturas sobre la calidad del chicozapote (*Achras sapota*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7:14-23.
- VYAWAHARE, A., K. JAYARAJ-RAO., C.N. PAGOTE. 2013. Computer vision system for color measurement-Fundamentals and applications in food industry: A review. *Research and Reviews: Journal of Food and Dairy Technology*. 1:22-31.
- YAM, K. L AND PAPADAKIS, S.E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analizing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61:137-142.

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

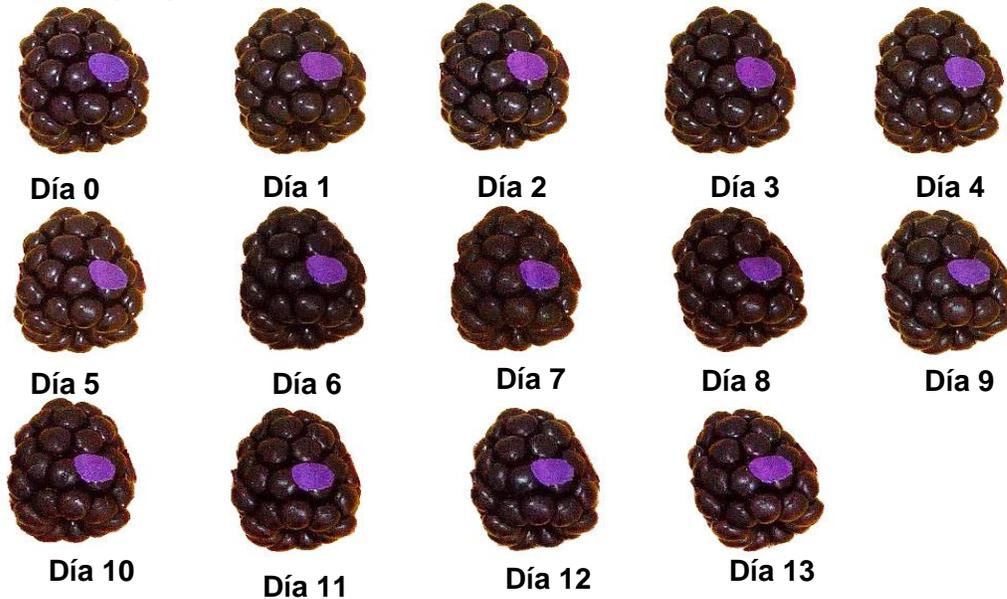
ANEXO 1. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio azul (T1).



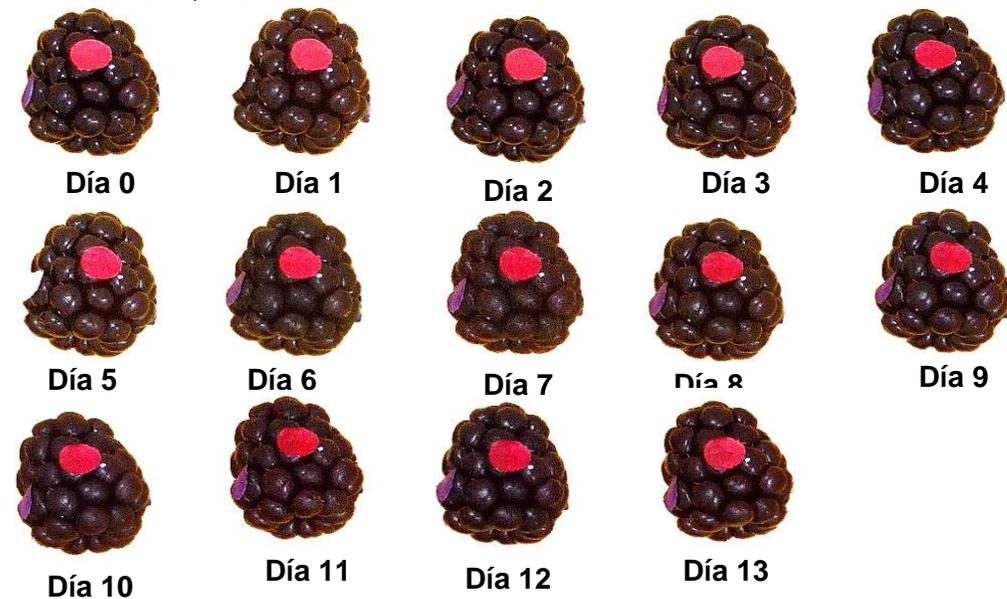
ANEXO 2. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio naranja (T2).



ANEXO 3. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio púrpura (T3).



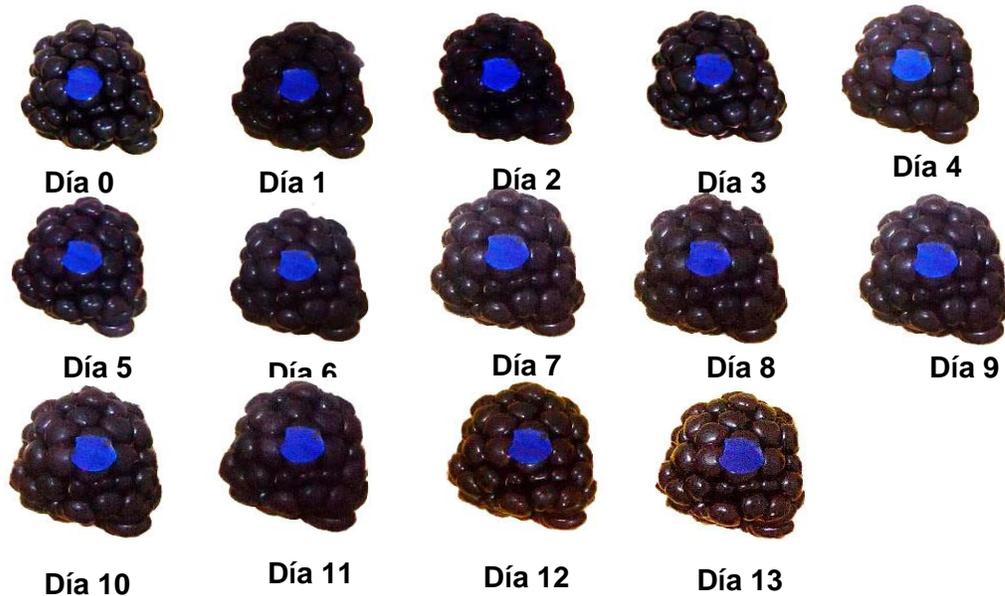
ANEXO 4. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio roja (T4).



ANEXO 5. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio superior (T5).



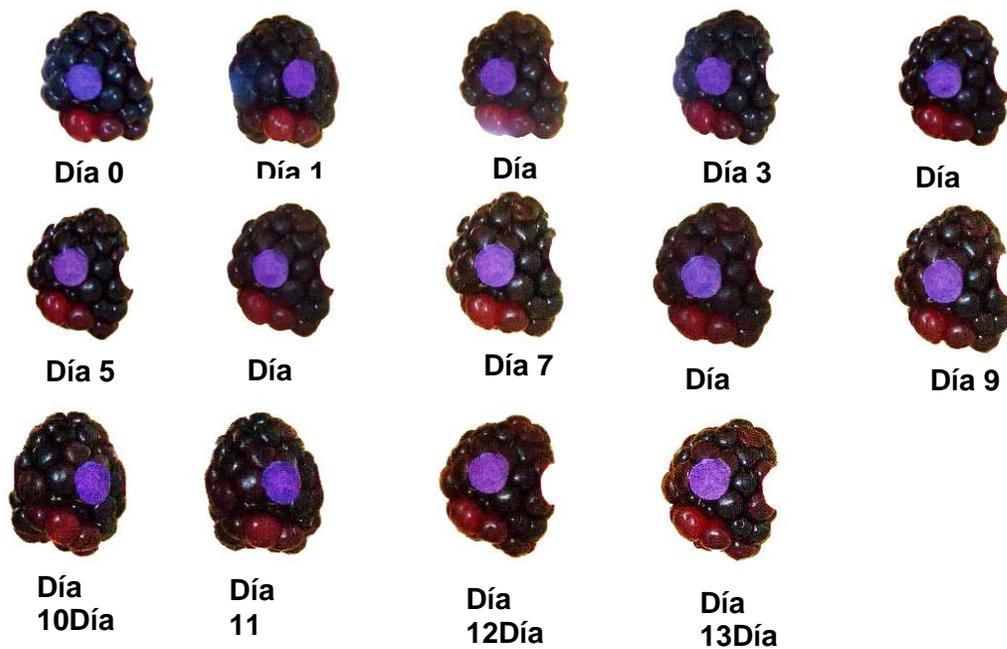
ANEXO 6. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio azul (T6).



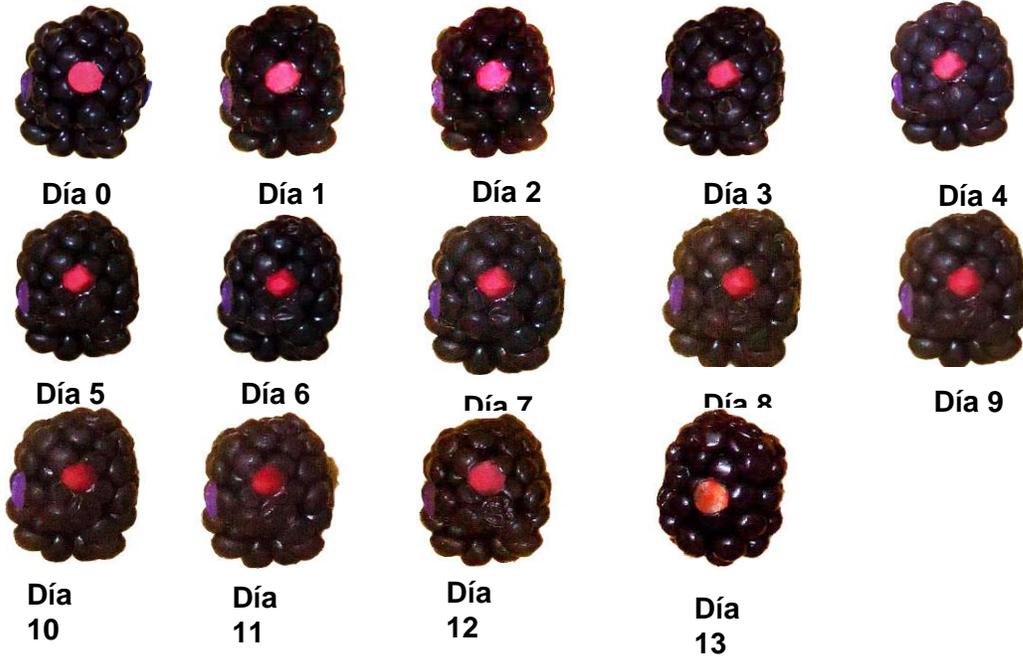
ANEXO 7. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio naranja (T7).



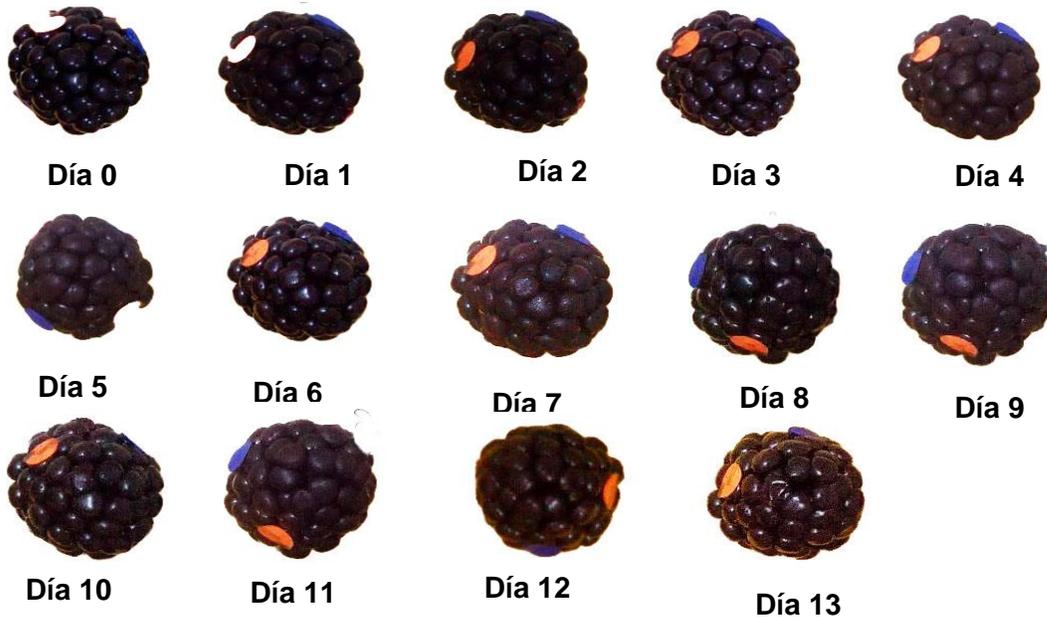
ANEXO 8. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio púrpura (T8).



ANEXO 9. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio roja (T9).



ANEXO 10. Evolución del color en zarzamora cv. Tupy en la sección de estudio superior (T10).



ANEXO 10. Evolución del color en zarzamora cv. Kiowa

