



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**CALIDAD DE SEMILLA Y FRUTO DE PIMIENTO CON DIFERENTE
GRADO DE MADUREZ**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

HECTOR DELÍN REYNOSO

Bajo la supervisión de: Dr. Juan Martínez Solís



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Chapingo, Estado de México. Diciembre de 2018.

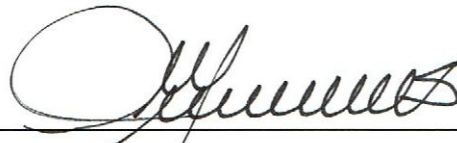


**CALIDAD DE SEMILLA Y FRUTO DE PIMIENTO CON DIFERENTE GRADO
DE MADUREZ**

Tesis realizada por Hector Delín Reynoso bajo la supervisión del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

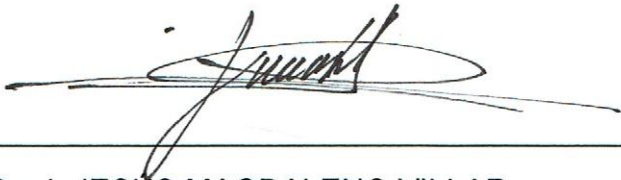
DIRECTOR:


Dr. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS

ASESOR:


Dra. MARIA TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR:


Dr. J. JESÚS MAGDALENO VILLAR

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
Objetivo	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	4
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
1.2.1 Origen del pimiento.....	5
1.2.2 Descripción botánica.....	5
1.2.3 Requerimientos agroecológicos.....	6
1.2.4 Importancia económica	6
1.2.5 Desarrollo del fruto	7
1.2.5.1 Maduración.....	8
1.2.5.2 Principales cambios en la maduración.....	8
1.2.5.3 Tipos de frutos de acuerdo a su maduración.....	9
1.2.5.4 Índice de madurez.....	9
1.2.5.5 Calidad	10
1.2.5.6 Componentes de la calidad.....	10
1.2.5.7 Factores que afectan la calidad.....	11
1.2.5.8 Métodos para la evaluación de la calidad.....	11
1.2.6 Desarrollo de semilla	12
1.2.6.1 Madurez de la semilla	13
1.2.6.2 Punto de madurez fisiológica de la semilla.....	13
1.2.6.3 Índices de madurez en semilla	13
1.2.6.4 Germinación	14
1.2.6.5 Calidad de la semilla.....	15

1.2.6.6	Certificación de semillas	16
1.2.6.7	Análisis de las semillas	16
1.2.6.8	Análisis de las principales características de calidad de semilla.....	16
1.2.7	LITERATURA CITADA.....	18
II.	CALIDAD DE SEMILLA EN FRUTOS DE PIMIENTO CON DIFERENTE GRADO DE MADUREZ.....	24
	INTRODUCCIÓN	27
	MATERIALES Y MÉTODOS	28
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
	CONCLUSIONES	38
	LITERATURA CITADA	39
III.	EFFECTO DE OPORTUNIDAD DE COSECHA EN LA CALIDAD DE FRUTO DE GENOTIPOS DE PIMIENTO MORRÓN (<i>Capsicum annuum</i> L.)	42
	INTRODUCCIÓN	45
	MATERIALES Y MÉTODOS	46
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
	CONCLUSIÓN.....	69
	LITERATURA CITADA	69
IV.	DISCUSIÓN GENERAL.....	74
V.	CONCLUSIONES GENERALES	76
VI.	LITERATURA CITADA GENERAL	77

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios de siete parámetros de calidad fisiológica en semilla de pimienta.	30
Cuadro 2. Comparación de medias de siete parámetros de calidad fisiológica de semilla de frutos de pimienta cosechados a diferentes días después de antesis.	31
Cuadro 3. Comparación de medias de semillas de diferentes genotipos de pimienta sobre siete parámetros de calidad fisiológica.	33
Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre pares de caracteres de calidad de semilla y fruto para siete genotipos de pimienta a diferentes dda.	36
Cuadro 5. Valor característico y varianza de los componentes principales.	37
Cuadro 6. Vectores característicos de los componentes principales.	37
Cuadro 7. Concentraciones y fuentes de nutrimentos utilizados para la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante.	47
Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para parámetros de calidad evaluados en frutos de pimienta.	49
Cuadro 9. Comparación de medias para peso fresco (g) de fruto de seis genotipos de pimienta cosechados a diferentes dda.	50
Cuadro 10. Comparación de medias para firmeza [Newtons (N)] de fruto de seis genotipos de pimienta cosechados a diferentes dda.	51
Cuadro 11. Comparación de medias para el grosor (mm) de fruto de seis genotipos de pimienta cosechados a diferentes dda.	53
Cuadro 12. Comparación de medias del contenido de vitamina C (mg ácido ascórbico / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimienta cosechados a diferentes dda.	54
Cuadro 13. Comparación de medias del contenido de acidez titulable (% ácido cítrico) en fruto de seis genotipos de pimienta cosechados a diferentes dda.	56

Cuadro 14. Comparación de medias del contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.....	57
Cuadro 15. Comparación de medias del contenido de clorofila a (μg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.	58
Cuadro 16. Comparación de medias del contenido de clorofila b (μg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.	59
Cuadro 17. Comparación de medias del contenido clorofila total (μg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.	60
Cuadro 18. Comparación de medias del contenido de carotenoides (μg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.....	62
Cuadro 19. Comparación de medias para luminosidad (L) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.	63
Cuadro 20. Comparación de medias para la pureza de color (Croma) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.	64
Cuadro 21. Comparación de medias para el ángulo de tono (Hue) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.	66
Cuadro 22. Comparación de medias de 13 parámetros de calidad en pimiento a diferentes dda.	67
Cuadro 23. Comparación de medias de diferentes genotipos de pimiento sobre 13 parámetros de calidad en fruto.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de componentes principales de parámetros de calidad de semilla y fruto. CP1 (horizontal) y CP2 (vertical).....	38
--	----

DEDICATORIAS

A Dios por permitirme el maravilloso regalo de la vida.

A mis padres Ranulfo Delín Alcántara, Cliselia Reynoso Vichique por su apoyo, sabios consejos y amor incondicional que me demuestran.

A mis hermanos Silvano, Alicia, Patricia, Gisela, Rocío, Matilde, María Celia, Leonor, Edith Araceli, Pablo Manuel y Elizabeth por el cariño y el apoyo recibido durante todos estos años.

A mis sobrinos, familiares y conocidos por el cariño y amistad que me brindan.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, departamento de Fitotecnia, y al Instituto de Horticultura por la oportunidad de realizar estos estudios.

Al Dr. Juan Martínez Solís, por su valiosa dirección, apoyo y aporte de experiencia en la realización de este trabajo.

A la Dra. María Teresa Martínez Damián por valioso apoyo, revisión y aporte en la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. J. Jesús Magdaleno Villar por su valioso apoyo en la revisión y desarrollo de este trabajo.

Al M.C. Natanael Magaña Lira por sus valiosos aportes para la mejora de este trabajo y apoyo en el análisis estadístico.

A Griselda, Luis Alberto y Mario por el apoyo otorgado en el desarrollo de la fase experimental de este trabajo.

A Plácido, Ismael, Gevri y demás compañeros de maestría por compartir excelentes momentos.

A todas y cada una de las personas que de una u otra forma me apoyaron en todo momento para la realización de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Héctor Delín Reynoso nació el 07 de febrero de 1990 en la ciudad de Orizaba, Veracruz. Realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo en la generación 2006-2013, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Hasta enero de 2015 laboró en Fertilizantes y Productos Agroquímicos S.A. de C.V. como asesor técnico de ventas. Posteriormente laboró en Productos y Procesos Sustentables A.C. como auditor en certificaciones sustentables hasta octubre de 2015. Hasta enero de 2017 laboró como asesor en certificaciones sustentables de café para las empresas Agroindustrias de México S.A. de C.V. y Nespresso. Posteriormente en el 2017 ingresó al instituto de Horticultura del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo donde realizó sus estudios de Maestría en Ciencias Horticultura.

CALIDAD DE SEMILLA Y FRUTO DE PIMIENTO CON DIFERENTE GRADO DE MADUREZ

RESUMEN GENERAL

Con el objetivo de determinar el momento oportuno de cosecha que asegure buena calidad de fruto y semilla de pimiento, se establecieron siete genotipos bajo condiciones de invernadero en sistema hidropónico, donde se cosecharon frutos a los 55, 65, 75, 90 y 100 después de anthesis (dda). Se evaluaron trece parámetros de calidad para el fruto y ocho para la semilla, bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones para fruto y cuatro repeticiones para semilla, respectivamente. A partir de los 75 dda, la firmeza, grosor de pericarpio, Hue y clorofilas disminuyeron, mientras que la vitamina C, acidez titulable, grados brix y contenido de carotenoides aumentaron, por lo que la máxima calidad se obtuvo entre los 65 y 90 daa. En cuanto a semilla, los parámetros de calidad mejoraron a partir de los 75 daas, alcanzando a los 100 días los mayores resultados, no obstante se recomienda cosechar los frutos entre los 75 y 90 días después de anthesis porque pasando estas fechas la semilla comienza a germinar dentro del fruto. Las variables de calidad fisiológica de semilla mostraron correlación positiva con los parámetros de calidad de fruto vitamina C, acidez titulable, y sólidos solubles totales, los cuales pueden ser utilizados para definir el momento óptimo de cosecha que asegure buena calidad de semilla.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, germinación, calidad fisiológica, maduración

SEED AND FRUIT QUALITY OF SWEET BELL PEPPER WITH DIFFERENT DEGREE OF MATURITY

GENERAL ABSTRACT

In order to determine the harvest opportunity that guarantees high seed and fruit quality of sweet bell pepper, seven genotypes were established under greenhouse conditions in a hydroponic system, harvesting fruits at 55, 65, 75, 90, and 100 days after anthesis (daa). Thirteen fruit variables and eight seed quality traits were evaluated under a completely randomized experimental design with three and four repetitions for fruits and seeds, respectively. The results of fruit characters showed that starting at 75 daa, firmness, pericarp thickness, Hue, and chlorophylls values decreased; meanwhile, there was an increase in vitamin C, chroma, and carotenoids, reaching the highest quality between 75 to 90 daa. The seed quality traits improved at 75 daa, reaching the highest results at 100 daa, however, it is been recommended harvesting from 75 to 90 daa since at 100 daa the seed begins to germinate into the fruit. The physiological seed quality traits showed a positive Pearson's correlation with the fruit parameters vitamin C, titratable acidity, and total soluble solids, as a result all of them can be useful to determine the harvest opportunity that guarantees high seed quality.

Key words: *Capsicum annuum*, germination, physiological quality, maturation

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

El aumento en el rendimiento agrícola ha sido gracias a la generación de tecnología que se ha desarrollado en los diferentes aspectos de la producción, donde muchos investigadores consideran que los aportes de la genotecnia ha logrado un avance del 40 % de dichas ganancias, es decir que el uso de semillas mejoradas es un eslabón importante en éxito de los agricultores (González, 2005; Álvarez-Medina *et al.*, 2011; Schwember y Contreras, 2011).

Durante las últimas tres décadas, diversos investigadores han desarrollado proyectos donde el principal objeto de estudio es la producción masiva de semillas mejoradas de buena calidad, por lo que surgieron diferentes parámetros para describir la calidad fisiológica, física, genética y fitosanitaria de las simientes (Álvarez, 2007; Velásquez *et al.*, 2008; Nautiyal *et al.*, 2010). De este modo se han definido prácticas agronómicas específicas, que incluyen fertilización, arreglos topológicos, fechas de siembra, etc., además de estrategias para mantener la pureza genética y prevenir la contaminación con plagas y enfermedades para asegurar buenos estándares de calidad fitosanitaria (Rodríguez y Sánchez, 2003; Tadeo y Espinosa, 2004).

Diversos estudios han establecido que la mejor calidad fisiológica es obtenida cuando la semilla alcanza su madurez (Criollo y Upegui, 2005; Hamdollah, 2012), lo cual ha sido corroborado en varias especies (Nautiyal *et al.*, 2010), por consiguiente en la producción y tecnología de semillas, ya sea la industrial o la de instituciones públicas, el establecer indicadores de madurez fisiológica es una actividad de relevancia, ya que se pretende asegurar que el productor reciba la más alta calidad para que las empresas mantengan cautivos a los compradores.

Diferentes estudios se han llevado a cabo en cultivos importantes para establecer dichos indicadores (Mendoza *et al.*, 2004; Bhering *et al.*, 2006; Vidigal *et al.*, 2011), concluyendo en muchos que son de aplicación universal para una amplia gama de especies; en este contexto se ha establecido el porcentaje de humedad de semilla como un factor altamente relacionado con la madurez, así como el color de frutos (Criollo y Upegui, 2005; Dias *et al.*, 2006), la capa negra de grano (Bennett *et al.*,

1988), las unidades calor, los grados brix, el tamaño de semilla, los días a madurez y la acumulación de materia seca, entre otros, siendo éste último el indicador más relevante debido a que describe la definición de madurez fisiológica (Popinigis, 1985; Borisjuk *et al.*, 2004;). No obstante, en algunas circunstancias hay cultivos en los que existen índices muy particulares, de ahí la importancia de explorar nuevas alternativas en las especies, aun cuando muchas de ellas ya han sido investigadas (Valdés *et al.*, 1992; Álvarez-Medina *et al.*, 2011; Vidigal *et al.*, 2011).

En la producción agrícola, las semillas de buena calidad son esenciales para alcanzar el rendimiento esperado (Ortiz *et al.*, 2005; Álvarez, 2007). Los mejoradores de plantas aplican su conocimiento para poner a disposición de los productores especies con altos rendimientos, que presenten resistencia a factores adversos y tengan productos con características deseables para el consumidor (Vallejo *et al.*, 2008); sin embargo, durante la producción de semilla omiten la generación de tecnología específica para el incremento de semilla de buena calidad, donde se involucran aspectos tecnológicos de producción, procesamiento y manejo poscosecha de las mismas. De este modo la oportunidad de cosecha es un factor importante porque está comprobado que la calidad de semilla puede variar de acuerdo al grado de madurez del fruto, de tal modo que la madurez comercial del mismo no necesariamente coincide con la madurez fisiológica de la semilla y consecuentemente con la mejor calidad (George, 1989).

México es el segundo productor de chile a nivel mundial, estando solo detrás de China (SIAP, 2018). El chile en México es uno de los cultivos hortícolas más importantes, desde el punto de vista cultural, agronómico, nutricional y económico (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017). Los chiles de mayor relevancia a nivel nacional son el jalapeño, ancho, serrano, mirasol y pimienta; representando del 70 a 80 % de la producción nacional (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017). El consumo de pimienta en el país es bajo, la importancia de este cultivo es que la producción se destina al mercado de exportación, principalmente Estados Unidos; siendo este el mayor importador de pimienta verde en el mundo (Reséndiz-Melgar *et al.*, 2010; Lucero y Sánchez, 2012). La producción de semillas hortícolas

en México están manejadas por empresas privadas nacionales e internacionales que participan con el 90 % del mercado (Ayala-Garay *et al.*, 2012), aun así Lesur (2006) menciona que el 60 % de los productores de Chile producen su propia semilla. Por lo anterior, como parte de un proyecto a largo plazo de mejoramiento genético en Chile pimiento, en el presente estudio se evaluaron parámetros de calidad en fruto y semilla de pimiento a diferentes grados de madurez, planteando los siguientes:

Objetivo

Definir indicadores de calidad en fruto de pimiento que estén altamente relacionados con la calidad fisiológica de la semilla para establecer el momento oportuno de cosecha y asegurar la máxima calidad de semilla.

Objetivos específicos

Observar la tendencia del porcentaje de germinación, plántulas normales, índice de velocidad de germinación, largo de tallo y raíz, peso seco y fresco plántula, de semilla extraída de frutos de pimiento cosechados a diferentes días después de anthesis (dda).

Determinar el comportamiento de firmeza, peso, grosor de pericarpio, vitamina C, acidez titulable total, sólidos solubles totales, clorofilas, carotenoides y color de frutos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Comparar parámetros de calidad en semilla y fruto de distintos genotipos de pimiento a diferentes dda.

Identificar si existe correlación entre los parámetros de calidad de semilla y fruto.

Hipótesis

La calidad de la semilla de pimiento es mejor a medida que mejora la calidad del fruto y aumentan los días de cosecha después de anthesis.

1.2 REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1 Origen del pimiento

Todas las especies del género *Capsicum* son originarias de América (Nuez *et al.*, 2003), siendo su origen botánico en América del Sur, en concreto en las zonas tropicales y subtropicales de países como Bolivia y Perú, de donde se propagó al resto de América Central y Sudamérica (Namesny, 2006; Bojacá *et al.*, 2012). El complejo *Capsicum annum* tiene su centro de origen en Mesoamérica, específicamente en México con una localización secundaria en Guatemala (Namesny, 2006). El chile en México fue domesticado en la época prehispánica, los pueblos anteriores a la conquista ya lo cultivaban con gran intensidad (Bosland *et al.*, 2012).

1.2.2 Descripción botánica

El chile (*Capsicum* spp.) pertenece a la familia de las solanáceas, dentro del género *Capsicum* se reconocen cinco especies domesticadas: *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens* y *C. annum*; siendo esta última la especie más cultivada (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). Dentro de la especie *C. annum* la variedad de chile dulce o pimiento es la que tiene más cultivares y está más ampliamente distribuida (Bosland *et al.*, 2012).

El pimiento se siembra como una planta anual, tiene sistema radicular pivotante. Los tallos son erguidos y se bifurcan de forma dicotómica; las hojas son ovales de color verde y las flores poseen la corola blanquecina. La planta de pimiento es monoica y su fecundación es autógama (Nuez *et al.*, 2003).

El fruto de pimiento es una baya, la cual presenta una estructura hueca con forma de capsula; está constituida por un pericarpio grueso y un tejido placentario en donde se unen las semillas. El color de los frutos es primeramente verde, volviéndose rojo, amarillo o violeta oscuro al madurar. El tamaño del fruto varía dependiendo el tipo de cultivar (Nuez *et al.*, 2003; Bojacá *et al.*, 2012).

Las variedades de pimiento de acuerdo a su forma se reparten en tres grandes grupos:

Lamuyo: Tiene de 3-4 lóculos de perfil rectangular, con una longitud entre 15-20 cm y diámetro de 7-12 cm. Los frutos pueden madurar en rojo o amarillo.

California o cuadrado: Frutos de perfil cuadrado con unas dimensiones de entre 8 y 12 cm de diámetro, por 8 a 14 de longitud. La maduración puede ser en rojo, amarillo, naranja o violeta.

Tipo dulce italiano: frutos de perfil cónico más o menos deformados, de longitudes entre 15 y 30 cm y de diámetro de 3 a 6 cm en la base. Terminan en punta más o menos curvada. La maduración es en rojo (Namesny, 2006).

Las semillas son redondeadas, aplanadas y levemente reniformes, tienen un diámetro de 3-5 mm, insertadas en una placenta cónica que es una extensión del pedúnculo, y son de color blanco o amarillo pálido. En un 1 g puede haber de 150 a 200 semillas (Zapata *et al.*, 1992; Nuez *et al.*, 2003).

1.2.3 Requerimientos agroecológicos

El pimiento se cultiva a altitudes de 0 hasta 2,300 msnm, según la variedad; se desarrolla bien con temperaturas de 18 a 30 °C. El cultivo necesita precipitación pluvial de 600 a 1200 mm para completar el ciclo vegetativo (Orellana *et al.*, 2012). El pimiento necesita iluminación intensa, de lo contrario el ciclo vegetativo se alarga. Se caracteriza por ser planta de día corto y requiere de una humedad relativa de 50 a 70 % (Ruiz *et al.*, 2013).

1.2.4 Importancia económica

La siembra de hortalizas en México es una de las actividades agrícolas más rentables, la superficie destinada a la agricultura aproximada corresponde a 21,590,574.60 ha, de las cuales 2.7 % corresponden a las hortalizas y del valor total de la producción contribuyen el 16 %. México es uno de países exportadores de hortalizas más importantes del mundo y es el proveedor principal de hortalizas frescas a Estados Unidos (Ayala-Garay *et al.*, 2012). Las cinco hortalizas más importantes por volumen de producción que se cultivan en México son: jitomate, chile verde, cebolla, elote y pepino, que en conjunto aportaron cerca de 9.1 millones de toneladas (SIAP, 2018).

Por el valor económico y superficie sembrada *C. annuum* es la especie de chile más importante a nivel mundial, siendo México el que tiene mayor diversidad en esta especie (Lesur, 2006; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). México ocupa el segundo lugar en la producción de chile en el mundo con 2,732,635 toneladas. Su producción continúa en ascenso, ya que durante 2016 aumento 17.9 % respecto al año anterior, fundamentalmente por un incremento en la superficie sembrada y cosechada (SIAP, 2018).

Dentro de la especie *C. annuum* el pimiento es la variedad más importante económicamente y la que tiene más cultivares. (Bosland *et al.*, 2012). El pimiento en México principalmente se cultiva para la exportación al mercado norteamericano (Berrones *et al.*, 2013). En el 2017 en México se sembraron 7, 680.48 hectárea y se obtuvo una producción de 366,004.4 toneladas; los ingresos generados fueron 6, 674, 560, 370 millones de pesos. Los estados principales por superficie sembrada son: Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Baja California Sur, San Luis Potosí, Aguascalientes y Querétaro (SIAP, 2018).

1.2.5 Desarrollo del fruto

Se efectúa una vez realizada la fecundación, iniciando con el amarre del fruto. Esta transformación ocurre en fases continuas, con características bien definidas, pero varía en tiempo según la especie, variedad y condiciones ambientales (Agustí, 2010). Existe en términos generales, un determinado orden y una similar secuencia en el desarrollo de todos los frutos en sus fases de mayor importancia:

Fase 1: Inmediatamente a la fecundación comienza un periodo de intensa multiplicación celular, durante el cual, cada célula existente en las paredes se divide, con excepción del endospermo y el embrión, no hay aumento de tamaño celular. El nivel de citocininas y giberelinas es alto.

Fase 2: El fruto inicia un crecimiento lineal, las células existentes y que forman el fruto, aumentan de tamaño al elongarse, generalmente ya no hay división celular. Se lignifica el endocarpio y crece el endospermo y embrión. El nivel de auxinas es

alto, mientras que el de giberelinas y citocininas va disminuyendo (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Agustí, 2010).

Fase 3: Los promotores continúan descendiendo, mientras que el ácido abscísico (ABA) va en incremento. En esta fase ocurre la maduración del fruto (Almaguer, 1998).

1.2.5.1 Maduración

La maduración es la fase intermedia en el desarrollo del fruto que esta entre el crecimiento y la senescencia. Esta representa una serie de cambios físicos y químicos que le proporcionan los peculiares aromas, colores y sabores, de fruto maduro (Almaguer, 1998; Agustí, 2010).

1.2.5.2 Principales cambios en la maduración

Textura: el reblandecimiento en la pulpa de los frutos carnosos sucede de manera progresiva y es uno de los cambios importantes durante la maduración. La pérdida en firmeza de los frutos se debe a la pérdida de rigidez estructural en la pared celular. Durante la maduración ocurre la hidrólisis del almidón y se disuelve la laminilla media. En general la pérdida de agua en el fruto reduce la firmeza de los tejidos (Arias y Toledo, 2000; Díaz, 2002).

Azúcares: uno de los cambios más relevantes de la maduración es de los almidones que pasan a azúcares simples. El aumento de azúcares en la maduración de los frutos es de suma importancia ya que define aspectos de calidad.

Ácidos orgánicos: Se producen principalmente en el ciclo de Krebs, predominando el ácido málico, cítrico y tartárico, entre otros. Los ácidos orgánicos están en alta cantidad antes de la maduración y cuando esta empieza reducen su contenido especialmente cuando aumentan los azúcares libres. En los limones en lugar de disminuir, se incrementa la acidez total en la medida que los frutos maduran y en particular ácido cítrico (Almaguer, 1998; Díaz, 2002).

Pigmentos: El color verde de los frutos se debe a la clorofila, la cual se descompone durante la maduración. La aparición de color en frutos se debe a la síntesis de

carotenoides, antocianinas y al desenmascaramiento de pigmentos que ya estaban presentes (Wills *et al.*, 1998; Díaz, 2002).

1.2.5.3 Tipos de frutos de acuerdo a su maduración

Climatéricos: almacenan almidón durante su crecimiento y en la maduración lo hidrolizan a monosacáridos; como este y otros procesos en la maduración exigen grandes cantidades de energía, hay aumento de la respiración (Arías y Toledo, 2000; Agustí, 2010). Pueden recolectarse una vez que han madurado fisiológicamente y pueden desarrollar la maduración organoléptica fuera de la planta (Knee, 2008).

No climatéricos: almacenan directamente monosacáridos durante su crecimiento y durante la maduración no tienen incrementos significativos en su tasa respiratoria (Arías y Toledo, 2000; Agustí, 2010). No pueden continuar su proceso de maduración una vez que han sido separadas de la planta (Knee, 2008).

1.2.5.4 Índice de madurez

El grado de madurez en el momento de la recolección es el factor más importante en la composición química, determinación de la capacidad de conservación y la calidad final del fruto. Cualquier fruto recogido demasiado pronto o demasiado tarde es más susceptible a trastornos fisiológicos y tienen una vida de almacenaje más corta que la que se ha recolectado con la madurez adecuada (Almaguer 1998; Romojaro *et al.*, 2007; Knee, 2008; Yadav *et al.*, 2014). El enfoque adecuado para apreciar la madurez es mediante la combinación de diferentes métodos de índice de madurez. Los índices más utilizados son los visuales basados en el color y forma del fruto. Índices físicos mediante pruebas de firmeza, tamaño del fruto y color de la cáscara. Índices químicos que miden el contenido de sólidos solubles totales, pigmentos, ácidos orgánicos y grasas. Índices a base de cálculos de días después de plena floración y cuantificación de unidades calor (Almaguer, 1998).

1.2.5.5 Calidad

La calidad de productos hortícolas frescos es una combinación de características, atributos y propiedades que le otorgan valor al producto básico para la alimentación (frutas y verduras) y el disfrute (ornamentales) (Kader, 2002; Kyriakou & Roupael, 2018). La calidad de las frutas y hortalizas no se puede mejorar, pero se puede conservar (Barreiro y Ruiz, 2000).

1.2.5.6 Componentes de la calidad

Apariencia: Es la primera impresión que el consumidor percibe y el componente más importante para la aceptación. Dentro de los parámetros que definen la frescura y madurez, el color es el aspecto externo más evaluado por el consumidor (Barrett *et al.*, 2010; Camelo, 2003).

Textura: se percibe con el sentido del tacto, ya sea cuando el producto se recoge a mano o se coloca en la boca y se mastica (Barrett *et al.*, 2010). Los frutos blandos no pueden enviarse a largas distancias sin grandes pérdidas debido a lesiones físicas (Kader, 2002). La firmeza es el principal atributo de textura medido en frutas y verduras.

Sabor y aroma: En frutas y hortalizas, el sabor es expresado en términos de la mezcla de principios dulces y ácidos, que es un indicador de madurez y calidad gustativa (Camelo, 2003). Los compuestos volátiles son responsables de los aromas distintivos asociados con frutas y vegetales (Shewfelt & Prussia, 2009).

Valor nutritivo: Las frutas y hortalizas son ricas en fitoquímicos (Camelo, 2003). La composición de nutrientes varía debido a la genética, los factores de precosecha, la madurez en la cosecha y el manejo poscosecha. Los dos nutrientes más comúnmente medidos en frutas y verduras son el ácido ascórbico (vitamina C) y el b-caroteno (provitamina A) (Shewfelt & Prussia, 2009).

1.2.5.7 Factores que afectan la calidad

Los principales factores que afectan la calidad de los frutos son: Genéticos, condiciones ambientales en precosecha, época de cosecha, tratamientos poscosecha, y la interacción entre varios de estos factores (Kader, 2008; Kyriakou & Roupael, 2018).

1.2.5.8 Métodos para la evaluación de la calidad

Hacer mediciones con instrumentos es preferible a evaluaciones sensoriales porque reducen las variaciones entre individuos, son más exactos y proporcionan un lenguaje común entre los investigadores, la industria y los consumidores. Sin embargo, se debe considerar la relación de la medición instrumental con los atributos sensoriales (Abbott, 1999; Kyriakou & Roupael, 2018).

Calidad de la apariencia: Tamaño (dimensiones, peso, volumen). Forma (relación de dimensiones, diagramas de modelos de forma). Color (uniformidad e intensidad, coincidencia visual, reflectancia de la luz, medidor de transmisión de luz mediante Hunter Lab y determinación del contenido de pigmentos mediante espectrofotometría). Brillo (plaquetas de cera). Presencia de defectos (externos e internos) (Kader, 2002).

Calidad de la textura: Firmeza y suavidad (tensiómetro de mano, montados en pie y pruebas de laboratorio). Fibrosidad y dureza (medido en base a las determinaciones de fuerza de corte, resistencia al corte, análisis químico). Suculencia y jugosidad (mediciones del contenido de agua, medición del jugo extraíble). Cualidades sensoriales (procedimientos de evaluación sensorial) (Kader, 2002).

Calidad del sabor: Dulzor (contenido de azúcar, contenido de sólidos solubles totales). Acidez (pH, acidez titulable).

Calidad nutricional: Vitaminas (contenido de vitamina C y b-caroteno).

1.2.6 Desarrollo de semilla

Después de la polinización empieza el desarrollo del fruto y de la semilla. Las semillas desde el punto de vista botánico se refieren al ovulo fecundado y está formada por el embrión, endospermo y la testa de la semilla (Melgarejo, 2010; Intagri, 2016). En términos generales el desarrollo de las semillas se divide en las siguientes fases:

Histodiferenciación: Se caracteriza por una alta tasa de divisiones nucleares y por la formación concomitante de paredes celulares. Todo esto ocasiona un aumento en el número de células del embrión (Azcón y Talón, 2008).

Expansión celular y depósito de reservas: El crecimiento por división desaparece y es sustituido por un crecimiento debido, principalmente a la elongación celular (Azcón y Talón, 2008). En las semillas endospermicas las reservas se depositan fuera del embrión formando el endospermo (Thomson, 1979).

Maduración: Hay un descenso del peso fresco de la semilla debido a una notable pérdida de agua, la tolerancia a la desecación y la ausencia de alteraciones en peso seco. Las semillas maduran en el interior del fruto, después de la maduración del fruto, la semilla entra generalmente en letargo por un tiempo más o menos largo (Bidwell, 1993).

Desecación: La etapa final de una semilla ortodoxa está acompañada de una pérdida importante de agua. Sin embargo las estructuras celulares de la semilla no se deterioran, porque adquieren tolerancia a la desecación (Azcón y Talón, 2008).

Dormición primaria: La dormición o dormancia es la incapacidad que tiene una semilla viable para germinar durante un periodo de tiempo concreto aunque se someta a una mezcla de factores físicos medioambientales que en otras circunstancias favorecerían su germinación (Azcón y Talón, 2008).

Dormición secundaria: Está vinculada principalmente a las condiciones del medio ambiente, y sucede cuando la semilla que la adquiere ha sido diseminada y la dormición primaria ha disminuido (Azcón y Talón, 2008).

1.2.6.1 Madurez de la semilla

Sucede cuando la semilla alcanza su desarrollo completo desde el punto de vista morfológico y fisiológico. Aunque la semilla sea morfológicamente madura, varias de estas no son capaces de germinar, porque necesitan experimentar aún una serie de transformaciones fisiológicas (Doria, 2010).

1.2.6.2 Punto de madurez fisiológica de la semilla

Generalmente ocurre cuando la semilla ha alcanzado la mayor acumulación de materia seca, tamaño y disminución de humedad. La importancia de conocer la madurez fisiológica es que en este punto se da el máximo vigor de la semilla y germinación; una vez que pasa este punto el vigor y germinación disminuyen debido a procesos de deterioro de la semilla (Popinigis, 1985; Carvalho y Nakagawa, 2000).

1.2.6.3 Índices de madurez en semilla

Contenido de materia seca: a medida que la semilla se desarrolla aumenta su materia seca. Cuando se alcanza el punto máximo de materia seca acumulada hay mayor germinación y vigor de semillas; además generalmente coincide con la madurez fisiológica de la semilla (Popinigis, 1985; Velásquez *et al.*, 2008)

Contenido de humedad: En el momento de la fecundación, el contenido de humedad del óvulo es elevado, generalmente más del 80 %. A medida que la semilla se va formando, la humedad disminuye gradualmente, ocurriendo el intercambio de humedad por aumento de materia seca. Normalmente se cosecha la semilla cuando tiene un porcentaje de humedad de 13 a 20 % que es cuando alcanza la madurez fisiológica (Velásquez *et al.*, 2008).

Tamaño: Después de la fecundación el óvulo sufre una serie de modificaciones, tanto en sus funciones, como en la fisiología, originando la semilla que alcanza su mayor tamaño; la germinación y vigor aumentan conforme al tamaño de la semilla. Este punto más alto generalmente coincide con la madurez fisiológica en la mayoría de las especies (Popinigis, 1985; Velásquez *et al.*, 2008).

Color de fruto: En diferentes cultivos de hortalizas se utiliza el color de fruto como indicador, generalmente se cosechan los frutos cuando cambian de color verde al color característico del fruto cuando está maduro; esta etapa coincide con la madurez fisiológica de la semilla (Dos Santos *et al.*, 2016).

Consistencia del fruto: En algunos frutos la extracción de semilla se hace cuando el fruto está maduro o sobremaduro y ha perdido firmeza; mientras que en otros se hace hasta que el fruto está completamente seco y es cuando la semilla presenta la más alta calidad fisiológica (Ayala *et al.*, 2014).

Días después de antesis: Debido a que es difícil determinar la madurez fisiológica de semillas de diversos cultivos con base a la coloración del fruto, ésta se ha determinado con base a los días después de antesis, mediante ensayos previos. Dependiendo del cultivo los días en que la semilla alcanza la madurez fisiológica varían (Criollo y Upegui, 2005; Ayala *et al.*, 2014; Dos Santos *et al.*, 2016).

Línea de leche: esta sirve para monitorear el desarrollo de madurez, en cultivos como el maíz cuando desaparece la línea de leche es cuando la semilla alcanza el máximo peso seco y la madurez fisiológica (Afuakwa & Crookston, 1984).

Capa negra: en cultivos como el maíz cuando la semilla adquiere la capa negra es cuando alcanza la madurez fisiológica adecuada (Molina-Moreno *et al.*, 2003).

Unidades calor: Dado que es difícil determinar la madurez fisiológica de semillas de varios cultivos, ésta también se ha determinado con base en las unidades calor. Dependiendo del cultivo las unidades calor en que la semilla alcanza la madurez fisiológica varían (Tadeo-Robledo *et al.*, 2015)

1.2.6.4 Germinación

La germinación inicia cuando a la semilla seca se le proporciona agua y finaliza cuando una parte de ésta atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (Azcón y Talón, 2008; Ortega, 2014). Los factores esenciales para la germinación son el agua, el oxígeno, la luz y la temperatura (Bidwell, 1993; Velásquez *et al.*, 2008). El proceso de germinación se constituye por cuatro fases:

Absorción de agua por la semilla o imbibición: Es el proceso de absorción de agua por la semilla, se da por las diferencias de potencial hídrico entre la semilla y la solución de imbibición (Melgarejo, 2010).

Activación del metabolismo y proceso de respiración: Uno de los aspectos vitales del metabolismo al inicio de la imbibición es la producción de ATP y la actividad respiratoria (Azcón y Talón, 2008).

Síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva: Las reservas de nutrimentos como almidón y cuerpos proteicos se convierten en azúcares simples y aminoácidos que son transportados y oxidados para suplir el crecimiento y la elongación del embrión (Melgarejo, 2010).

Elongación del embrión y ruptura de la testa: El proceso por el cual la radícula atraviesa los tejidos envolventes y pasa de un metabolismo principalmente anaerobio a otro típicamente aerobio, es conocido como emergencia radicular (Azcón y Talón, 2008).

1.2.6.5 Calidad de la semilla

Las semillas son parte esencial de la producción agrícola, porque poseen el potencial para obtener altos rendimientos y frutos de buena calidad en cualquier cultivo (Ortega, 2014). Una semilla se considera de calidad cuando al sembrarla presenta buenas condiciones para germinar y producir una planta normal y vigorosa (Cid *et al.*, 2014). La tecnología de semillas ha definido cuatro atributos de calidad:

Calidad física: Un lote debe tener un mínimo de semillas dañadas, enfermas, de maleza o material inerte. El tamaño de la semilla debe ser uniforme: las semillas maduras medianas y grandes tienen comúnmente mayor germinación y vigor. Las semillas no deben contener excesos de humedad que dificulte su viabilidad (Ortiz *et al.*, 2005; FAO, 2012).

Calidad fisiológica: Es la aptitud de la semilla para generar una nueva planta (Intagri, 2016). El vigor y porcentaje de germinación son indicadores de la capacidad de la semilla para emerger del suelo y generar una planta en el campo en condiciones normales. (Ortiz *et al.*, 2005; FAO, 2012).

Calidad genética: Las plantas de una variedad producidas por semillas deben presentar las mismas características y permanecer inalterables, además deberán ser reproducibles de una generación a la otra (Ortiz *et al.*, 2005; FAO, 2012).

Calidad sanitaria: Es la ausencia o presencia de plagas y patógenos dentro y fuera de la semilla (FAO, 2012). La utilización de semillas libres de enfermedades es un factor determinante en el rendimiento y calidad (Cid *et. al*, 2014).

1.2.6.6 Certificación de semillas

En materia de semillas en México la entidad certificadora encargada de vigilar y normar el cumplimiento de las disposiciones legales es el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) (Ortega, 2014).

1.2.6.7 Análisis de las semillas

La Asociación Internacional de Ensayo de Semillas (ISTA) es la encargada de adoptar, establecer y publicar normas para la toma de muestra y ensayo de semillas, así como promover su aplicación uniforme para la evaluación de aquellas que circulan en el comercio internacional (Montero y Peláez, 2008).

1.2.6.8 Análisis de las principales características de calidad de semilla

Las pruebas de laboratorio tienen como objeto evaluar la calidad fisiológica, física y problemas de enfermedades y plagas que afectan la germinación y emergencia de la semilla (Vallejo *et al.*, 2008).

Pureza genética: La evaluación de la pureza se hace mediante un catálogo de descripción varietal en donde se describen las características morfológicas, bioquímicas, fisiológicas y agronómicas con las que fue liberada la variedad de interés (Intagri, 2016).

Germinación: Mide la capacidad de la semilla para producir una plántula normal en condiciones ambientales favorables. De acuerdo a las especies se establece: tamaño de la muestra, sustrato, condiciones de humedad, temperatura y luz; días necesarios para la evaluación de las plántulas y tipos de tratamientos que se pueden

emplear para facilitar la germinación o romper algún grado de latencia de las semillas (ISTA, 1976; FAO, 2016).

Pureza física: El análisis de pureza se hace para determinar la composición en peso de la muestra que se analiza; la identidad de las distintas especies de semillas contaminantes, semillas dañadas y de las partículas de materia inerte que constituyen una muestra (Ortega, 2008; FAO, 2012). Es expresada como el porcentaje del peso que pertenece a la semilla de la especie, con respecto al peso total de la muestra de un determinado lote (Intagri, 2016).

Vigor: Se refiere al poder germinativo de la semilla en condiciones adversas (Thomson, 1979); y la capacidad o potencia de crecimiento y desarrollo óptimo de una plántula hasta que llega a ser planta adulta. Las pruebas para medir el vigor son: evaluación del crecimiento de plántulas, índice de velocidad de emergencia y emergencia total de plantas (emergencia en arena), prueba de frío y prueba de envejecimiento acelerado (ISTA, 1976; Vallejo *et al.*, 2008).

Sanidad: Para determinar la existencia de patógenos en la semilla se utilizan: examen de embriones, exámenes directos, pruebas serológicas, pruebas de papel filtro, agar, crecimiento, entre otras (Intagri, 2016).

Viabilidad: Para la evaluación y cuantificación de la viabilidad se usan diferentes tipos de pruebas, entre las que destacan: test del tetrazolio, ensayos de germinación y radiografía con rayos X (Pérez y Pita, 2001).

Contenido de humedad: Existe una relación directa entre tasa de deterioro y contenido de humedad, susceptibilidad al daño mecánico, aptitud para el almacenamiento, nivel de infección por insectos y ataque de hongos (FAO, 2012). La medición se puede realizar directa o indirectamente. El método directo se hace con hornos de confección y se basa fundamentalmente en la variación de peso de la muestra. El indirecto se realiza con aparatos de medición del contenido de humedad, estableciendo a través de la conductividad eléctrica y/o constante dieléctrica el porcentaje de humedad de las semillas (FAO, 2016).

1.2.7 LITERATURA CITADA

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207-225.
- Agustí, M. (2010). Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 507 p.
- Aguilar-Rincón, V. H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H. y Aguilar Castillo, J. A. (2010). Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Aguirre-Mancilla, CL., Iturriaga-De la Fuente G., Ramírez-Pimentel J.G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., Raya-Pérez J.C. (2017). El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 5(1): 19-31.
- Afuakwa, J. J., & Crookston, R. K. (1984). Using the Kernel Milk Line to Visually Monitor Grain Maturity in Maize 1. *Crop Science*, 24(4), 687-691.
- Almaguer, V. G. (1998). Fruticultura general. Departamento de Fitotecnia. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 3a. Edición. México. 416 p.
- Álvarez-Medina, A.; Martínez-Solís, J.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Peña-Ortega, M. G. (2011). Relationship between the physiological quality tests of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seeds and the emergence in seedbeds. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(2): 57-62.
- Álvarez L., M. G. (2007). Producción, comercio y certificación de semillas en México, Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria (CEDRSSA). 44 p.
- Arias, C., & Toledo, J. (2000). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). FAO, Rome, Italy. 136 p.
- Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann, R. y Carrera-Chávez, B. (2012). Hortalizas en México: competitividad frente a EE. UU. y oportunidades de desarrollo. *Revista de Globalización, Competitividad y Gobernabilidad* 6(3): 70-88.
- Ayala, V. M. J., Ayala, G. O. J., Aguilar, R. V. H., & Corona, T. T. (2014). Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 79-87.

- Azcón, B. J. y Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición, edit. McGrawHill. 639 p.
- Barreiro, E. P. y Ruiz, A. M. (2000). Instrumentación de la calidad en frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional*, (29), 14-20.
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 369-389.
- Berrones, M. M., Garza, U. E., Vázquez, G. E., y Méndez, A. R. (2013). Producción de pimiento morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas. Centro de Investigación Regional del Noroeste, INIFAP. Folleto técnico, 45 p.
- Bennett, M. A., Waters, L. Jr., Curme, J. H. (1988). Kernel maturity, seed size, and seed hydration effects on the seed quality of a sweet corn inbred. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:348-353.
- Bhering, M. C., Dias, D. C. F. S., Vidigal, D. S., Naveira, D. S. P. (2006). Accelerated ageing test in pepper seeds. *Revista Brasileira de Sementes* 28: 64-71.
- Bidwell, R. GS (1993). Fisiología Vegetal. AGT Editor SA México, DF. 762 p.
- Bojacá, C. R., Monsalve, O., Casilimas, H., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., y Fuentes, L. S. (2012). Manual de producción de pimentón bajo invernadero. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Bio-Sistemas, 191 p.
- Borisjuk L, Rolletschek, H., Radchuk, R., Weschke, W., Wobus, U., Weber, H. (2004). Seed development and differentiation: a role for metabolic regulation. *Plant Biol (Stuttg)*. 6(4):375-86.
- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). Peppers: vegetable and spice capsicums. *Crop production science in horticulture*, 219 p.
- Camelo, A. F. L. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas (del campo al mercado) (Vol. 151). Food & Agriculture Org., 179 p.
- Carvalho, N. D., & Nakagawa, J. (2000). Sementes: ciência, tecnologia e produção. (4. Ed.) Jaboticabal: Funep. 588 p.
- Cid, R. J. A., Reveles, H. M. y Velásquez V. R. (2014). Selección y almacenamiento de semilla de frijol. Folleto Técnico No. 64. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. Calera, Zacatecas, México, 17 p.
- Criollo E., H. y Upegui E., P. A. (2005). Determinación de la madurez fisiológica de semillas de *Physalis peruviana* L. *Revista de Ciencias Agrícolas* 22(1): 1-13.

- Dias, D. C. F. S.; Ribeiro, F. P.; Dias, L. A. S.; Silva, D. J. H.; Vidigal, D. S. (2006). Tomato seed quality in relation to fruit maturation and post-harvest storage. *Seed Science and Technology* 34: 691-699.
- Díaz, M. D. H. (2002). Fisiología de árboles frutales. Ed. AGT Editor, Mexico D.F. 385 p.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*. 31 (1): 74-85.
- Dos Santos, H. O., Dutra, S. M. F., Pereira, R. W., Pires, R. M. D. O., Da Rosa, S. D. V. F., & De Carvalho, M. L. M. (2016). Physiological quality of habanero pepper (*Capiscum chinense*) seeds based on development and drying process. *African Journal of Agricultural Research*, 11(12), 1102-1109.
- FAO, (2012). Semillas en emergencias. Manual técnico. Estudio FAO y protección vegetal. 81 p.
- FAO. (2016). Manual de procedimientos para la certificación oficial de semillas. Proyecto de Desarrollo de Capacidades Empresariales de Semillas en Honduras, 20 p.
- George, R. A. (1989). Producción de semillas de plantas hortícolas. Edit. Mundi-Prensa Madrid España. 330 p.
- González, E. A. (2005). Contribuciones económicas de la investigación agropecuaria y forestal del INIFAP al desarrollo de la agricultura mexicana. Día de campo CEVAMEX-2005. Chapingo, Estado de México. Memoria técnica. pp. 60-68.
- Hamdollah, E. (2012). Seed quality variation of crop plants during seed development and maturation. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 3(11):557-560.
- Intagri, (2016). La calidad de las semillas en cultivos hortícolas. Horticultura protegida 3 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-calidad-de-la-semilla-en-cultivos-horticolos>.
- ISTA (1976). International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology*. 4: 3-177.
- Kader, A. A. (2002). Postharvest technology of horticultural crops (Vol. 3311). University of California Agriculture and Natural Resources. 596 p.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868.

- Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463-469.
- Knee, M. (2008). Bases biológicas de la calidad de la fruta/fruit quality and its biological basis. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 283 p
- Lesur, L. (2006). Una guía paso a paso: Manual del cultivo del chile. Ed. Trillas, D.F. México. 80 p.
- Lucero, F. J. M. y Sánchez, V. C. (2012). Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, México.pp:13-30.
- Melgarejo, L. M. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Primera edición, impreso en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 249 p.
- Mendoza, M., Latournerie, L., Moreno, E., Castañón, G., Carrillo, J. C., León, C. D., & García, J. G. (2004). Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2): 155-160.
- Molina-Moreno, J. C., González-Hernández, V. A., Carballo-Carballo, A., Livera-Muñoz, M., Castillo-González, F., y Ortega-Delgado, M. L. (2003). Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4): 271- 277.
- Montero, G. T. D. J. y Peláez R. V. (2008). Inserción del servicio de inspección y certificación de semillas (SICS) en el sistema estatal de sanidad vegetal. Impacto estructural a partir del 2000. *Fitosanidad*, 12(1): 63- 68.
- Namesny, A. (2006). Pimientos. Compendios de horticultura. Segunda edición. Ed. Horticultura SL Reus, España. 167 p.
- Nautiyal, P. C., Misra, J. B., Zala, P. V. (2010). Influence of seed maturity stages on germinability and seedling vigor in groundnut. *Journal of SAT Agricultural Research* 8: 1-10.
- Nuez, F., Ortega, G., y Costa, R. (2003). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. (3ra Ed.) Mundi Prensa. Madrid, España. 586 p.
- Orellana, B., Escobar, J. C., Morales, A. J., Méndez, I. S., Cruz, R. A., & Castellón, M. E. (2012). El cultivo de chile dulce. Guía técnica. Centro Nacional de tecnología agropecuaria y forestal. San Salvador. El Salvador, 49 p.
- Ortega, A.R. (2014). Manual para la Producción de Semilla de Arroz. Folleto Técnico Núm. 2. SAGARPA INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México 54 p.

- Ortiz, T. C., Espinosa, C. A., Azpiroz, R. H. S., Sahagún C., S. (2005). Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y zona de transición. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México, México. (Libro Técnico Núm. 3). p. 44-55
- Pérez, F. G., y Pita, J. M. V. (2001). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Hojas divulgativas. Universidad Politécnica de Madrid. España 16 p.
- Popinigis, F. (1985). Fisiología da semente. 2ª ed. Brasilia. 289 p.
- Reséndiz-Melgar, R. C., Moreno-Pérez, E. D. C., Castillo, S. D., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 16(3), 223-229.
- Rodríguez, G. F. A., & Sánchez, N. C. (2003). Arreglo topológico y su efecto en rendimiento y calidad de semilla de chile jalapeño. *Agricultura Técnica en México*, 29(1): 49-60.
- Romero, F., Madrid, M. M., & Pretil, M. T. (2007). Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. Dpto. Tecnología de Alimentos, CEBAS-CSIC, 91-6.
- Ruiz, C. J.A., Medina, G. G., González, A. I. J., Flores, L. H. E., Ramírez O. G., Ortiz T. C., y Martínez P. R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Shewfelt, R. L., & Prussia, S. E. (2009). Postharvest handling: a systems approach. 2nd. Edition, Food science and technology (USA). 613 p.
- SIAP. (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola. México. (Consultada en junio de 2018.) http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/.
- Schwember, A. y Contreras, S. (2011). Mejoramiento vegetal su importancia para la producción agrícola. *Revista agronomía y forestal* no 42, 17-25.
- Tadeo R., M., A. Espinosa C. 2004. Producción y Tecnología de Semillas. Ingeniería Agrícola, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, División de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, México. 106 p.

- Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Cárdenas-Marcelo, A. L., y Valdivia-Bernal, R. (2015). Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 33-43.
- Thomson, J. R. (1979). Introducción a la tecnología de las semillas. Ed. Acribia Impreso en Zaragoza España. 301 p.
- Vallejo, D. H. L., Ramírez, D. J. L., Chuela B. M. y Ramírez Z. R. (2008). Manual de Producción de Semilla de Maíz. Estudio de Caso. Folleto Técnico Núm. 14. Campo Experimental Uruapan. INIFAP, CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 96 p.
- Valdés, V., Anguita P., Ulriksen C. (1992). Efecto de madurez de los frutos de pimiento (*Capsicum annuum*) sobre la calidad de la semilla. *Ciencia e investigación agraria* 19 (1-2):3-7.
- Velásquez, J., Monteros, A., y Tapia, B. (2008). Semillas, tecnología de producción y conservación. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Producción de Semillas. INIAP. Quito, Ecuador. 134 p.
- Vidigal D. D., Cunha F. D., Dos Santos D. L. A., Luiz F. F. (2011). Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Sci. Agric.* 68 (5): 535-539
- Wills, R., Mcglasson, B., Graham, D., Joyce D. (1998). Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. 260 p.
- Yadav, R. K., Goyal, R. K., & Dhankar, S. S. (2014). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Haryana Agricultural University. 53 p.
- Zapata, N. M., Bañón A. S., y Cabrera, F. P. (1992). El pimiento para pimentón. Ediciones mundiprensa Madrid España. 235 p.

II. CALIDAD DE SEMILLA EN FRUTOS DE PIMIENTO CON DIFERENTE GRADO DE MADUREZ

CALIDAD DE SEMILLA EN FRUTOS DE PIMIENTO CON DIFERENTE GRADO DE MADUREZ

RESUMEN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo hortícola importante en México, por lo que se necesita semilla de calidad para asegurar alta producción y calidad de fruto. Un punto crítico en la producción de semilla es la oportunidad de cosecha, por lo que se llevó a cabo el presente estudio para determinar el momento que garantice la más alta calidad de semillas. Dos híbridos y cuatro F₂ de pimientos se establecieron bajo condiciones de invernadero en sistema hidropónico en Texcoco, México, donde se cosecharon frutos a los 55, 65, 75, 90 y 100 después de antesis (dda). La semilla cosechada, una vez extraída y deshidratada en condiciones ambientales, se sometió a una prueba de germinación estándar sobre papel bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 25 semillas. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación y plántulas normales, índice de velocidad de germinación, longitud de raíz y tallo de plántula, peso fresco y seco de plántula. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados obtenidos se compararon con 13 parámetros de calidad de fruto mediante una matriz de correlación y análisis de componentes principales. Los parámetros de calidad mejoraron a partir de los 75 dda, teniendo los mayores resultados a los 100 dda. Se recomienda que la cosecha de frutos se haga de los 75 a los 90 dda porque a los 100 dda la semilla empieza a germinar en el fruto.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, germinación, calidad fisiológica

SWEET BELL PEPPER SEED QUALITY AND ITS RELATIONSHIP WITH FRUIT MATURITY

ABSTRACT

The sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is an important crop in Mexico, so it is necessary a good seed quality to ensure high production and fruit quality. A critical point in the seed production is the harvest opportunity. The present study was carried out to determine the time that ensures the highest quality of seeds. Two hybrids and four F₂ of sweet bell peppers were established under greenhouse conditions in a hydroponic system in Texcoco, Mexico, harvesting fruits at 55, 65, 75, 90, and 100 days after anthesis (daa). The harvested seed, after being extracted and dried in room conditions, was subjected to a top of paper standard seed germination test under a completely randomized experimental design with four repetitions of 25 seeds. The evaluated variables were: percentage of germination and normal seedlings, speed of germination, length of root, shoot and seedling, fresh and dry weight of seedling. The data were subjected to an analysis of variance as well as a Tukey ($P \leq 0.05$) multiple comparison test. The obtained results were compared with 13 fruit quality parameters using a correlation matrix and a main component analysis. The quality parameters improved at 75 daa, bearing the highest results at 100 daa. It is been recommended that the fruit harvest may be done from 75 to 90 daa because at 100 daa the seed begins to germinate in the fruit.

Key words: *Capsicum annuum*, germination, physiological quality

INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile (*Capsicum* spp.) en México es relevante por su cultura, consumo y producción; además es un producto agrícola de gran importancia mundial ya que se ubica dentro de las siete hortalizas más cultivadas del mundo (Aguilar *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2010). El chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) es uno de los chiles de mayor superficie sembrada y valor de su producción a nivel nacional debido a que la mayor parte de esta va al mercado de exportación, siendo Estados Unidos el principal destino (Hernández *et al.*, 2010; Moreno *et al.*, 2011; Aguirre *et al.*, 2017). Los principales estados productores son: Sinaloa, Sonora, Guanajuato y Jalisco; tan solo en el 2017 se sembraron 7, 680.48 hectáreas obteniéndose ingresos de 6, 674, 560, 370 millones de pesos (SIAP, 2018). En la actualidad el mercado nacional e internacional es cada vez más exigente con respecto a la calidad del fruto de pimiento (Urrestarazu *et al.*, 2002; Palacio-Márquez y Sánchez-Chávez, 2017). Para obtener frutos de buena calidad y altos rendimientos en pimiento se necesitan semillas de alta calidad genética y fisiológica (Doria, 2010; Heinz *et al.*, 2014; Ortega, 2014). En este contexto recolectar la semilla del fruto en la madurez fisiológica adecuada es indispensable para obtener buena calidad de semilla (Criollo y Upegui, 2005; Ayala *et al.*, 2014); por eso es necesario determinar el momento oportuno de corte de frutos en el cual la semilla tenga la más alta calidad (Dias *et al.*, 2006). Al respecto se han hecho diversos estudios para definir la mejor época de recolección en donde las semillas alcancen la calidad fisiológica adecuada con respecto a la maduración del fruto en cultivos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), tomate de cáscara (*Physalis peruviana* L.), cacahuete (*Arachis hypogaea*) (Criollo y Upegui, 2005; Dias *et al.*, 2006; Nautiyal *et al.*, 2010; Singkaew *et al.*, 2017) y diferentes tipos de chiles (*Capsicum* spp) (Ayala *et al.*, 2014; Dos Santos *et al.*, 2016; Moo *et al.*, 2016); también se ha evaluado la calidad fisiológica de estas (Bhering *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 2012). Con respecto al pimiento, Vidigal *et al.* (2011), García-Tierrablanca *et al.* (2015) y Ruiz y Parera (2017), se basaron en los días después de antesis (dda), mientras que

Valdés *et al.* (1992), Espíndola y Smirdele (2014) lo hicieron en función de la coloración del fruto. También se han cosechado los frutos y almacenado para después extraer la semilla (Vidigal *et al.*, 2009; Espíndola y Smirdele, 2014). La mayoría de las investigaciones concuerdan que aumenta la calidad de la semilla conforme aumentan los dda, días de almacenamiento y la coloración del fruto (Sánchez *et al.*, 1993; Panayatov, 2009; Ruíz, 2017); sin embargo, cuando se tomó como referencia los días después de antesis (dda) sólo se llegaron hasta los 80 días (Alan & Eser, 2008) y con respecto a parámetros de calidad de fruto solo se midió el peso y color (visualmente) (Alan & Eser, 2008 y Vidigal *et al.*, 2011). El objetivo de esta investigación fue observar el comportamiento de parámetros de calidad de semilla extraída de frutos cosechados a diferentes días después de antesis (dda) y compararlos con parámetros de calidad de fruto para determinar si existe correlación entre sí, con el fin de establecer el momento oportuno de corte y calidad adecuada de fruto que asegure semilla de alta calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla de 450 m² con estructura metálica y cubierta de polietileno, ubicado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo durante el año 2017. Se sembraron dos híbridos comerciales de chile pimiento tipo lamuyo y blocky: 'PS1636' y 'Bandai' (rojos), respectivamente; además de cinco F₂ derivadas de híbridos comerciales, dos tipo lamuyo: 'Zapata' y 'Cortes'; y tres tipo blocky: 'Olvera', 'Turbine' y 'Aitana' (solo turbine amarillo, los demás rojos). Para el almácigo se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades con una mezcla de sustratos compuesta de Peat Moss y perlita (2:1), éstas se mantuvieron en otro invernadero con características similares al antes descrito, a una temperatura media de 20 °C. Posteriormente, a los 50 días se trasplantaron 20 plantas de cada genotipo al invernadero definitivo, usando bolsas de polietileno negro de 15 litros de capacidad con tezontle rojo de textura media (partículas menores a 5 mm) como sustrato, a una distancia de 0.3 m entre bolsas y 0.5

entre líneas. El riego se dio por goteo, mediante cintilla de 16 mm de diámetro con la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1989). El manejo del cultivo se hizo en un sistema de conducción a dos tallos, tutorados con rafia de la estructura del invernadero. Considerando que la madurez comercial se alcanza a los 75 días después de antesis (dda) (Vidigal *et al.* 2011), se cosecharon tres frutos por cada genotipo a los 55, 65, 75, 90 y 100 dda. La semilla se extrajo de los frutos manualmente y se pusieron en toallas sanitas para que se secaran a temperatura ambiente; una vez secas se llevaron al laboratorio de semillas del Departamento de Fitotecnia, donde se hizo una prueba de germinación estándar sobre papel bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 25 semillas, acondicionadas a 28 °C en una cámara germinadora Seedburo® por 14 días (ISTA, 2005). Las variables evaluadas fueron: Porcentaje de germinación y plántulas normales, considerando estas últimas como aquellas que contaban con todas sus estructuras esenciales. También se determinó el Índice de velocidad de germinación (IVG), para lo cual se hicieron conteos diarios del número de semillas germinadas y se calculó con base en la propuesta de Maguire (1962). La longitud de tallo y raíz se determinó en milímetros (mm) midiendo desde el cuello del tallo hasta el ápice y la punta de la raíz, respectivamente, utilizando una muestra de diez plántulas al final de la prueba de germinación, las cuales también fueron utilizadas para determinar en miligramos (mg) el peso fresco y seco de plántula; para tal efecto, una vez determinado el peso fresco, las 10 plántulas se pusieron a secar a temperatura ambiente durante tres días y después se procedió a evaluar el peso seco en mg. Con respecto a la calidad de fruto, se consideraron 13 parámetros para analizarlos con los de calidad de semilla y así determinar una posible correlación entre ellos. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) usando el programa SAS 9.0 (SAS, 2009). Para determinar si los parámetros de calidad de semilla y fruto tenían algún tipo de correlación se hizo una matriz de correlación de Pearson. Además para establecer los parámetros de calidad de fruto relacionados con la

calidad de semilla, se hizo un análisis por componentes principales a partir de la matriz de correlación, con el programa NTSYSpc 2.2 (Rohlf, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias ($p \leq 0.01$) en todos los parámetros de calidad evaluados y en las fuentes de variación consideradas, así como en su interacción (Cuadro 1). Con excepción de la longitud de raíz (31 %), los coeficientes de variación de las variables estuvieron por debajo de 21.92 %, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados, con base en lo establecido por diversos autores quienes indican que por debajo de 25 %, puede ser considerado como aceptable.

Cuadro 1. Cuadrados medios de siete parámetros de calidad fisiológica en semilla de pimiento.

FV	GL	GER	NGR	PN	IVG	LT	LR	PF	PS
DDA	4	27040.17*	27040.17*	19558.00*	139.68*	1.02*	5.46*	306.67*	0.07*
G	6	4650.90*	4650.90*	6135.16*	32.84*	2.84*	5.92*	310.85*	1.69*
P*G	24	1561.71*	1561.71*	1259.06*	6.16*	0.17*	1.85*	52.91*	0.34*
Error	105	75.01	75.01	81.94	0.29	0.05	0.41	14.55	0.06
Total	139								
CV (%)		15.49	19.65	21.93	17.30	10.13	31.86	10.58	7.76
Media		55.91	44.09	41.29	3.11	2.23	2.02	36.05	3.04

FV: Fuente de variación; DDA: días después de antesis; G: genotipo; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; GER: porcentaje de germinación; NGR: porcentaje de semillas no germinadas; PN: porcentaje de plántulas normales; IVG: índice de velocidad de germinación; LT: longitud de tallo; LR: longitud de raíz; PF: peso fresco de plántula; PS: peso seco de plántula; *: significativo con $p \leq 0.05$.

El porcentaje de germinación mejoró a medida que transcurrieron los días después de antesis (dda), particularmente después de 75 dda, donde se alcanzó 64.71 % de germinación, mientras que a los 90 dda se registró 77.71 %, en tanto que el mayor ($p \leq 0.05$) valor (84.14 %) se obtuvo a los 100 dda. Criollo y Upegui (2005) describen que en tomate de cáscara (*Physalis peruviana* L.) el porcentaje de germinación a los 75 dda fue de 80 % y a los 90 dda estuvo en 89 %, mientras que Ayala *et al.* (2014) encontraron en frutos de chile (*Capsicum* spp) un porcentaje de germinación de 80 y 85 % a los 75 y 106 dda, respectivamente. Con respecto a pimiento, se han reportado valores de 80 % a los 75 dda (Vidigal

et al., 2011; Ruiz y Parera, 2017), sin embargo Alan & Eser (2008) encontraron que en ‘Yalova Yaglik-28’ el porcentaje de germinación disminuyó a los 80 dda. El índice de velocidad de germinación (IVG) tuvo el mismo patrón que la germinación, alcanzando a los 100 dda el mayor ($p \leq 0.05$) resultado (5.59) (Cuadro 2). De igual manera Criollo y Upegui (2005) encontraron que en tomate de cáscara el IVG a los 75 dda fue de 3.83 y a los 90 dda aumento a 4.61. Por su parte Ayala *et al.* (2014) reportaron un IVG de 2.0 en semillas de frutos de chile (*Capsicum* spp) cosechados a 75 dda, mientras que a los 106 dda este aumento a 2.3. Con respecto a pimiento las evaluaciones sobre el IVG solo se han hecho hasta los 75 dda (Vidigal *et al.*, 2011; Ruiz y Parera, 2017) y ambos autores encontraron que el IVG aumentó conforme se llegó a los 75 dda. Por su parte Alan & Eser (2008) encontraron que en ‘Yalova Yaglik-28’ a los 80 dda el IVG disminuyó.

Cuadro 2. Comparación de medias de siete parámetros de calidad fisiológica de semilla de frutos de pimiento cosechados a diferentes días después de antesis.

DDA	GER (%)	NGR (%)	PN (%)	IVG	LT (cm)	LR (cm)	PF (mg)	PS (mg)
55	6.71e ^t	93.29a	3.29d	0.19e	1.36c	0.46c	20.33c	2.65b
65	46.29d	53.71b	25.29c	2.03d	1.79b	2.69a	33.97b	2.89ab
75	64.71c	35.29c	51.14b	2.67c	2.26a	1.83b	35.13b	3.14a
90	77.71b	22.29d	60.00a	5.08b	2.33a	1.64b	35.39b	3.04a
100	84.14a	15.86d	66.71a	5.59a	2.50a	2.36ab	41.17a	3.09a
DMSH	6.43	6.43	6.72	0.40	0.26	0.73	4.35	0.27

^tMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); DDA: días después de antesis; GER: porcentaje de germinación; NGR: porcentaje de semillas no germinadas; PN: porcentaje de plántulas normales; IVG: índice de velocidad de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de raíz; LT: longitud de tallo; PF: peso fresco de plántula; PS: peso seco de plántula; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Respecto a estos dos parámetros Sánchez *et al.* (1993), Cavero *et al.* (1995) y Espíndola y Smirdele (2014) coinciden en que la germinación y el vigor de la semilla aumentan conforme a los dda y la maduración del fruto; o cuando se almacenan frutos manteniendo la semilla dentro de estos y después cosechándolas (Ayala *et al.*, 2014; Dos Santos *et al.*, 2016).

El porcentaje de plántulas normales alcanzó 51.14 % a los 75 dda, sin embargo, los mayores valores ($P \leq 0.05$) se obtuvieron a los 90 (60 %) y 100 dda (66.71 %), es decir se registró más de 56.4 % de plántulas normales de las obtenidas a los

55 dda. Con respecto a longitud de tallo a partir de los 75 dda se obtuvo la mayor longitud ($P \leq 0.05$) alcanzando valores hasta 1.14 cm más de los reportados a los 55 dda (Cuadro 2). Resultados similares han sido reportados en otros estudios (Panayotov, 2009 García-Tierrablanca *et al.*, 2015); donde la longitud de radícula e hipocótilo mejoraron conforme aumentaron los dda.

El mayor peso fresco de plántula ($P \leq 0.05$) se obtuvo a los 100 dda (41.17 mg) superando en casi 50 % al obtenido a los 55 dda (Cuadro 2); sin embargo, cabe destacar que el mayor peso seco de plántula fue a los 75 dda, lo que hace suponer que la máxima acumulación de materia seca en la semilla pudo haberse logrado desde dicho periodo, ya que después (a los 90 y 100 dda) no aumentó. Los parámetros de calidad fueron más bajos a los 55 dda, mientras que a partir de los 75 dda se apreció un aumento significativo, resultados similares a los obtenidos por Vidigal *et al.* (2011) y Ruiz *et al.* (2017). La calidad fue menor a los 55 y 65 dda probablemente a que en etapas tempranas del fruto la semilla aún se encuentra en desarrollo y el embrión esta fisiológicamente inmaduro o las membranas celulares aún no están bien diferenciadas, por lo tanto la semilla es susceptible a daño por desecación y las semillas no germinan (Dos Santos *et al.*, 2016 y Moo *et al.*, 2016). En general, los mejores parámetros de calidad se obtuvieron a los 100 dda; sin embargo, algunas semillas comienzan a germinar dentro del fruto, como también lo apreciaron Valdés *et al.* (1992). Por consiguiente, la mejor época de cosechar frutos para semilla es de los 75 a los 90 dda, coincidiendo con lo reportado por Criollo y Upegui (2005) en tomate de cáscara.

Con respecto a los genotipos, se observó que el menor porcentaje de germinación lo obtuvieron 'Olvera' y 'Bandai', mientras que el mayor porcentaje fue de 'Turbine' (81 %) seguido de 'Cortes' (70.20 %). Con relación al porcentaje de plántulas normales, de igual manera 'Turbine' (59.6%) y 'Cortes' (63.20%) tuvieron el mejor porcentaje, 'Aitana' y 'PS1636' obtuvieron el menor resultado (Cuadro 3). El mayor índice de velocidad de germinación fue reportado por 'Turbine' seguido de 'Cortes' con 5.66 y 3.63, respectivamente (Cuadro 3), mientras que en longitud de tallo, 'PS1636' tuvo el mayor resultado (3.22 cm) y

'Turbine el menor (1.82 cm). Para la longitud de raíz 'Cortes', 'Aitana' y 'PS1636 obtuvieron la mayor longitud. En cuanto a peso fresco de plántula, dos híbridos y dos F₂ tuvieron el mejor resultado y para el peso seco de plántula, 'Zapata' presentó el mayor resultado con 3.76 mg.

En general 'Olvera' y 'Bandai' expresaron la menor calidad fisiológica al tener los menores valores en la mayoría de las variables evaluadas (Cuadro 3). Las semillas de todas las variedades tenían aproximadamente la misma edad, por lo que las diferencias no fueron debidas a problemas de deterioro y envejecimiento como lo reportado por Álvarez *et al.* (2012). En tomate Dos Santos *et al.* (2016) menciona que entre variedades puede haber algunas que necesitan cambios de temperatura para tener mejor germinación; dado que el proceso de germinación en el presente experimento se llevó a temperatura constante, este factor pudo ser determinante para que se presentaran estos resultados.

Cuadro 3. Comparación de medias de semillas de diferentes genotipos de pimienta sobre siete parámetros de calidad fisiológica.

Variedad	GER (%)	NGR (%)	PN (%)	IVG	LT (cm)	LR (cm)	PF (mg)	PS (mg)
'Zapata'	57.80c ^t	42.20d	52.20b	2.65dc	2.25b	1.30c	36.33b	3.76a
'Olvera'	38.00f	62.00a	20.00d	1.60e	2.38b	1.80bc	31.58c	2.85c
'Turbine'	81.00a	19.00f	59.60ab	5.66a	1.82d	1.56bc	29.37c	2.81c
'PS1636'	49.20de	50.80bc	33.00c	2.93c	3.22a	2.67a	39.07ab	3.15b
'Cortes'	70.20b	29.80e	63.20a	3.63b	2.13bc	2.98a	40.81a	3.28b
'Bandai'	42.40ef	57.60ab	21.80d	2.39d	1.91cd	1.53c	38.81ab	2.85c
'Aitana'	52.80dc	47.20dc	39.20c	2.93c	2.21b	2.28ab	38.69ab	2.81c
DMSH	8.23	8.23	8.60	0.51	0.25	0.72	4.30	0.26

^tMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (P≤0.05); GER: porcentaje de germinación; NGR: porcentaje de semillas no germinadas; PN: porcentaje de plántulas normales; IVG: índice de velocidad de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de raíz; LT: longitud de tallo; PF: peso fresco de plántula; PS: peso seco de plántula; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Con respecto a la calidad genética, en términos generales se aprecia que las semillas obtenidas de las F₂, que en este caso fueron F₃, mostraron mayores parámetros de calidad que las provenientes de los híbridos las cuales serían F₂, las cuales tienen alta segregación que provoca la reducción de rendimiento y calidad de fruto, lo que ha sido reportado en jitomate (Martínez-Solís *et al.*, 2005) y pimienta (Salas y Muñoz ,2010), aunque estos estudios no se hicieron para

determinar la calidad de la semilla se intuye que presentó menor calidad, ya que como menciona Ortega (2014), semillas de alta calidad genética y fisiológica producen plantas con alto rendimiento y frutos de calidad. En este experimento solo se determinó calidad de semilla F_2 y F_3 ; por lo tanto siguiendo un programa de mejoramiento genético se necesita realizar otro estudio para determinar rendimiento y calidad de fruto de estas semillas ya que la F_3 presentó parámetros de calidad aceptables.

En el análisis de correlación se hizo una comparación de los resultados obtenidos en los parámetros de calidad en semilla con parámetros de calidad en fruto (resultados no mostrados) obtenidos a diferentes dda, para ello se construyó una matriz de correlación (Cuadro 4). Los parámetros de calidad fisiológica de semilla: porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas normales, índice de velocidad de germinación, longitud de tallo, además de peso fresco y seco de plántulas, muestran una correlación positiva ($p \leq 0.05$) entre ellos, por lo que lotes con buen porcentaje de germinación pueden asegurar una buena expresión del vigor. Adicionalmente, exceptuando la longitud de raíz y el porcentaje de semillas no germinadas, las variables de calidad fisiológica presentaron correlación positiva ($p \leq 0.05$) con los parámetros de calidad de fruto, particularmente con vitamina C, acidez titulable, sólidos solubles totales, así como correlación negativa ($p \leq 0.05$) con clorofila a, clorofila total y ángulo de tono, parámetros que pueden ser utilizados para definir el momento óptimo de cosecha que asegure buena calidad de semilla, para lo cual será necesario definir los valores de cada variable que definan los mayores valores de germinación y vigor.

Esta propuesta tiene su fundamento en función de los cambios que ocurren durante el proceso de maduración en frutos de pimiento, lo cuales son físicos y químicos (Agustí, 2010), de modo que la firmeza del mismo y el contenido de clorofila disminuyen; mientras que los sólidos solubles totales, la acidez titulable, carotenoides y contenido de vitamina C aumentan (Navarro *et al.*, 2006; Antoniali *et al.*, 2007), al tiempo que la semilla conforme se desarrolla aumenta de tamaño

y materia seca, llegando a un máximo que es cuando se declara la madurez fisiológica de la misma y es el momento que se cuenta con la mayor germinación y vigor (Velásquez *et al.*, 2008). En algunas especies la madurez fisiológica de la semilla ocurre al mismo tiempo que la madurez del fruto (Ayala *et al.*, 2014). En el presente trabajo a los 75 dda los parámetros de calidad de fruto mejoraron y a los 100 dda se obtuvo la mejor calidad, coincidiendo con lo encontrado en semilla, así que es probable que la madurez del fruto y semilla en pimiento ocurran en tiempos parecidos.

El análisis de componentes principales indicó que con dos componentes principales (CP) se explica el 88.33 % de la variación total (Cuadro 5). El CP1 estuvo relacionado positivamente con la germinación, plántulas normales, índice de velocidad de germinación, longitud de tallo, peso fresco y seco de plántula, vitamina C, acidez titulable y sólidos solubles totales; y relacionado negativamente con las semillas no germinadas, clorofila a, clorofila total y Hue.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre pares de caracteres de calidad de semilla y fruto para siete genotipos de pimiento a diferentes dda.

	GER	NG	PN	IVG	LT	LR	PF	PS	PFR	F	G	VC	AT	SST	CA	CB	CT	CR	L	H	C
GER	1	-1.00	0.99*	0.95*	0.99*	0.66	0.95*	0.93*	-0.07	-0.66	-0.52	0.97*	0.91*	0.95*	-0.96*	-0.51	-0.85*	0.76*	-0.14	-0.96*	0.51
NGR		1	-0.99*	-0.95*	-0.99*	-0.66	-0.95*	-0.93*	0.07	0.66	0.52	-0.97*	-0.91*	-0.95*	0.96*	0.51	0.85*	-0.76*	0.14	0.96*	-0.51
PN			1	0.95*	1.00*	0.53	0.91*	0.93*	-0.02	-0.76	-0.58	0.97*	0.95*	0.99*	-0.94*	-0.46	-0.82*	0.83*	-0.29	-0.98*	0.42
IVG				1	0.93*	0.53	0.87*	0.78*	-0.12	-0.79	-0.76	0.97*	0.97*	0.90*	-0.96*	-0.54	-0.86*	0.85*	-0.23	-0.92*	0.41
LT					1	0.57	0.92*	0.95*	0.03	-0.73	-0.53	0.95*	0.93*	0.99*	-0.94*	-0.48	-0.83*	0.79*	-0.26	-0.97*	0.46
LR						1	0.84	0.62	0.09	0.07	0.04	0.53	0.38	0.45	-0.71*	-0.70	-0.77*	0.03	0.65	-0.45	0.91*
PF							1	0.90*	0.09	-0.47	-0.36	0.87*	0.81*	0.86*	-0.97*	-0.68	-0.93*	0.54*	0.13	-0.84*	0.74*
PS								1	0.06	-0.53	-0.25	0.85*	0.77*	0.94*	-0.84*	-0.38	-0.72*	0.64*	-0.16	-0.91	0.48
PFR									1	0.01	0.13	-0.25	0.03	0.04	-0.08	-0.57	-0.28	-0.29	0.06	0.19	0.48
F										1	0.89	-0.75	-0.89	-0.79	0.65	0.23	0.52	-0.94	0.75	0.77	0.07
G											1	-0.65	-0.80	-0.55	0.59	0.34	0.53	-0.81	0.53	0.57	0.03
VC												1	0.93	0.93	-0.92	-0.39	-0.77	0.87	-0.25	-0.97	0.34
AT													1	0.93	-0.92	-0.53	-0.83	0.89	-0.40	-0.91	0.34
SST														1	-0.89	-0.40	-0.76	0.84	-0.39	-0.97	0.35
CA															1	0.71	0.96	-0.68	0.03	0.87	-0.65
CB																1	0.88	-0.09	-0.37	0.29	-0.89
CT																	1	-0.49	-0.14	0.70	-0.80
CR																		1	-0.69	-0.88	-0.11
L																			1	0.37	0.63
H																				1	-0.27
C																					1

GER: porcentaje de germinación; NGR: porcentaje de no germinadas; PN: porcentaje de plantas normales; IVG: índice de velocidad de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de raíz; LT: longitud de tallo; PF: peso fresco de plántula; PS: peso seco de plántula; PFR: peso del fruto; F: firmeza; G: grosor de pericarpio; VC: vitamina C; AT: acidez titulable; SST: sólidos solubles totales; CA: clorofila a; CB: clorofila b; CT: clorofila total; CR: carotenoides; L: luminosidad; H: Hue (ángulo de tono); C: croma (pureza de color); *: significativo ($p \leq 0.05$).

Cuadro 5. Valor característico y varianza de los componentes principales.

	Valor característico	Proporción de la varianza	Varianza acumulada
CP1	14.50	69.06	69.06
CP2	4.05	19.27	88.33

El CP2 solo estuvo relacionado positivamente con el croma (Cuadro 6). Se corrobora lo encontrado en la matriz de correlación mediante la Figura 1. Para determinar la calidad fisiológica de la semilla puede medirse en fruto la concentración de vitamina C, acidez titulable y sólidos solubles totales que son métodos destructivos. Si se desea hacer con un método no destructivo, se puede optar por el Hue (ángulo de tono) para medir el cambio de color utilizando un colorímetro ya que se hace de manera más objetiva que cuando se hace visualmente.

Cuadro 6. Vectores característicos de los componentes principales.

	Componente principal 1	Componente principal 2
GER (germinación)	0.986*	0.045
NGR (no germinadas)	-0.986*	-0.045
PN (plántulas normales)	0.988*	-0.079
IVG (velocidad de germinación)	0.976*	-0.091
LT (longitud de tallo)	0.985*	-0.024
LR (longitud de raíz)	0.592	0.752
PF (peso fresco)	0.932*	0.340
PS (peso seco)	0.890*	0.085
PFR (peso de fruto)	0.011	0.442
F (firmeza)	-0.751	0.571
G (grosor de pericarpio)	-0.630	0.470
VC (vitamina C)	0.965*	-0.144
AT (acidez titulable)	0.962*	-0.191
SST (sólidos solubles totales)	0.961*	-0.141
CA (clorofila a)	-0.979*	-0.184
CB (clorofila b)	-0.570	-0.634
CT (clorofila total)	-0.887*	-0.385
CR (carotenoides)	0.801	-0.596
L (luminosidad)	-0.212	0.897*
H (Hue: ángulo de tono)	-0.950*	0.214
C (Croma: pureza de color)	0.501	0.855

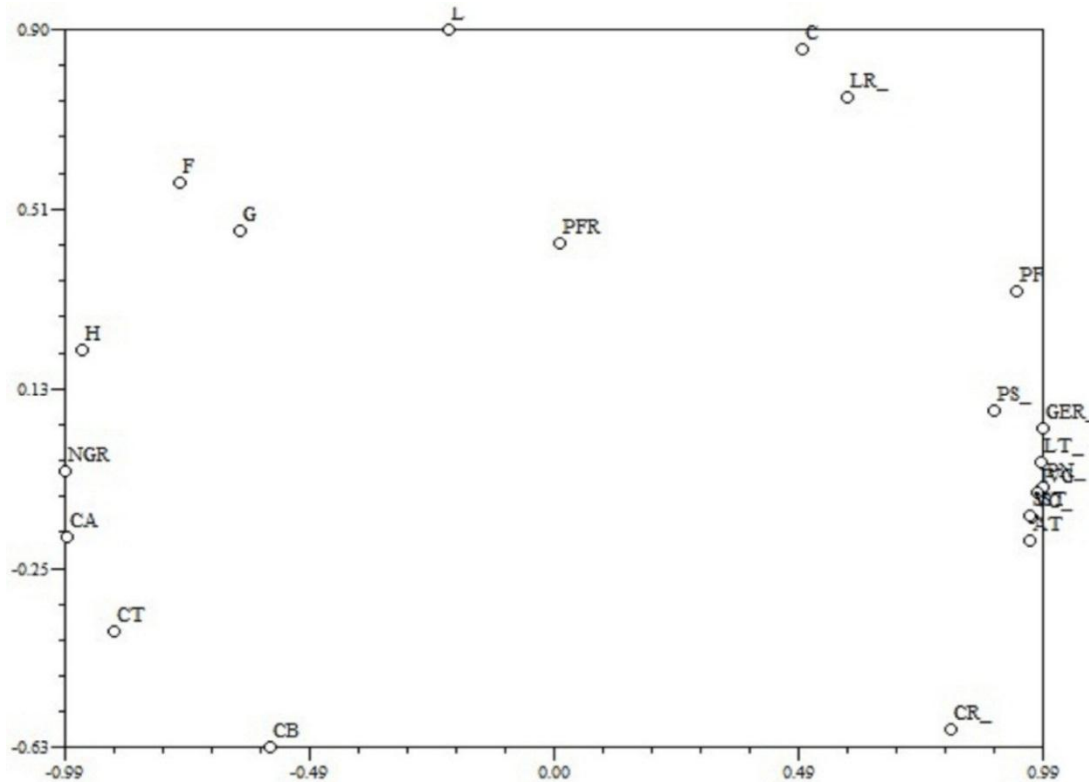


Figura 1. Análisis de componentes principales de parámetros de calidad de semilla y fruto. CP1 (horizontal) y CP2 (vertical).

CONCLUSIONES

La calidad fisiológica de semilla fue mayor a medida que se incrementaron los días después de antesis, particularmente después de los 75 días, por lo que es recomendable cosechar para semilla de calidad, entre los 75 y 90, ya que en fechas tardías algunas semillas germinan dentro del fruto.

Los parámetros de fruto, concentración de vitamina C, acidez titulable, sólidos solubles totales, y carotenoides, correlacionaron positivamente con la germinación y la mayoría de los parámetros de vigor evaluados, por lo que pueden ser utilizados como indicadores de calidad fisiológica de semilla; sin embargo, es necesario definir los niveles precisos de cada uno.

LITERATURA CITADA

- Alan, Ö., & Eser, B. (2008). The effect of fruit maturity and post-harvest ripening on seed quality in hot and conic pepper cultivars. *Seed Science and Technology*, 36(2), 467-474.
- Aguilar-Rincón, V. H., T. Corona Torres, P. López López, L. Latournerie Moreno, M. Ramírez Meraz, H. Villalón Mendoza y J. A. Aguilar Castillo. (2010). Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Aguirre-Mancilla, CL., Iturriaga de la Fuente G., Ramírez-Pimentel J.G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., Raya-Pérez J.C. (2017). El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria México* 5(1): 19-31.
- Agustí, M. (2010). Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid España. 507 p.
- Álvarez, M. A., Martínez, S. J., Rodríguez, P. J. E., & Peña, O. M. G. (2011). Relación entre pruebas de calidad fisiológica de semillas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el establecimiento en almácigo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(SPE2), 57-62.
- Antoniali, S., Leal, P. A. M., Magalhães, A. M. D., Fuziki, R. T., & Sanches, J. (2007). Physico-chemical characterization of 'Zarco HS' yellow bell pepper for different ripeness stages. *Scientia Agricola*, 64(1), 19-22.
- Ayala, V. M. J., Ayala, G. O. J., Aguilar, R. V. H., & Corona, T. T. (2014). Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnica mexicana*, 37(1), 79-87.
- Bhering, M. C., Dias, D. C. F. D. S., Vidigal, D. D. S., & Naveira, D. D. S. P. (2006). Accelerated aging of pepper seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3), 64-71.
- Cavero, J., Ortega, R. G., & Zaragoza, C. (1995). Influence of fruit ripeness at the time of seed extraction on pepper (*Capsicum annuum*) seed germination. *Scientia horticulturae*, 60(3-4), 345-352.
- Criollo, H., & Upegui, P. A. (2005). Determinación de la madurez fisiológica de semillas de uvilla (*Physalis peruviana* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 22(1), 56-69.
- Dias, D. C. F. S., Ribeiro, F. P., Dias, L. A. S., Silva, D. J. H., & Vidigal, D. S. (2006). Tomato seed quality in relation to fruit maturation and post-harvest storage. *Seed Science and Technology*, 34(3), 691-699.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*. 31 (1): 74-85.
- Dos Santos, H. O., Dutra, S. M. F., Pereira, R. W., Pires, R. M. D. O., Da Rosa, S. D. V. F., & De Carvalho, M. L. M. (2016). Physiological quality of habanero pepper (*Capsicum chinense*) seeds based on development and drying process. *African Journal of Agricultural Research*, 11(12), 1102-1109.
- Espíndola, L. J. M.; Smirdele, O. J (2014). Physiologic quality of pepper seeds obtained from to fruit maturation and storage and storage. *Ciências Agrárias, Londrina*. 35 (1): 251-258.

- García-Tierrablanca, E. A., Raya-Pérez, J. C., Covarrubias-Prieto, J., Dorantes-González, J. A. R., Chablé-Moreno, F., Ramírez-Pimentel, J. G., & Aguirre-Mancilla, C. (2015). Evaluación de técnicas de emasculación y maduración de fruto para la producción de semilla en chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (11), 2129-2137.
- Heinz Castro, R. T. Q., Marín Sánchez, J., & Alvarado Gómez, O. G. (2014). Incremento de la calidad sanitaria y fisiológica en semilla de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Fitosanidad*, 18(3): 169-173.
- ISTA. (2005). International Rules for Seed Testing. Seed Science and Technology. 4: 3-177.
- Martínez-Solís, J., Peña-Lomelí, A., Rodríguez-Pérez, J. E., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J., & Peña-Ortega, M. G. (2005). Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2): 5-21.
- Moo, M. A. J., Latournerie, M. L., Pinzón, L. L. L., Ayala, G. O. J., & Tzec, M. Y. A. (2016). Efecto de la madurez y secado de semilla de (*Capsicum chinense* jacq.) en la germinación y calidad fisiológica de plántula. *Agroproductividad*, 9(1).
- Moreno P. E. D. C., Mora, A. R., Sánchez d. F., & García P. V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimienta morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 5-18.
- Nautiyal, P. C., Misra, J. B., & Zala, P. V. (2010). Influence of seed maturity stages on germinability and seedling vigor in groundnut. *Journal of SAT Agricultural Research*, 8: 1-10.
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66-73.
- Ortega A.R. 2014 Manual para la Producción de Semilla de Arroz. Folleto Técnico Núm. 2. SAGARPA INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México 54 p.
- Palacio-Márquez, A., & Sánchez-Chávez, E. (2017). Influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez en pimienta morrón. *Nova scientia*, 9(19), 1-23.
- Panayotov, N. (2009). Pepper Seed Quality after Different Periods of Postharvest Ripening Depending on the Position on the Mother Plant. In IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes. *Acta Hort.* 830 (pp. 497-504).
- Rohlf, F. J. (1990). NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system.
- Ruiz, M. B., & Parera, C. A. (2017). Effect of harvesting time on seed quality of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum*). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 67-77.
- Salas, L. J. G., & Muñoz, L. E. P. (2010). Caracteres Agronómicos del cultivo de pimienta (*Capsicum annuum*) utilizando cuatro materiales de siembra y tres planes de fertilización. *Revista ESPAMCIENCIA*, 1(1): 1-6.
- SAS Institute (2009). SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release. Cary, NY: Institute Inc., USA.

- Sánchez, D. C. F.; Escalante, E.R. (1989). Hidroponía: Un sistema de producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez, V. M., Sundstrom, F. J., McClure, G. N., & Lang, N. S. (1993). Fruit maturity, storage and postharvest maturation treatments affect bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seed quality. *Scientia Horticulturae*, 54(3), 191-201.
- Singkaew, J., Miyagawa, S., Wongs-Aree, C., Vichitsoonthonkul, T., Sokaokha, S., & Photchanachai, S. (2017). Season, Fruit Maturity, and Storage Affect on the Physiological Quality of F1 Hybrid 'VTM580' Tomato Seeds and Seedlings. *The Horticulture Journal*, 86(1), 121-131.
- SIAP. (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola. México. (Consultada en junio de 2018.) http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/.
- Urrestarazu, M., Castillo, J., Salas, M., & CARMEN, D. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura*, 159, 18-26.
- Valdés, V.; Anguita, P.; Ulriksen, C. (1992). Efecto de madurez de los frutos de pimiento (*Capsicum annuum*) sobre la calidad de la semilla. *Ciencia e investigación agraria* 19 (1-2):3-7.
- Vázquez, G. E., Ramírez, M. M., Mata, V. H., Ariza, F. R., y Alia T. I. (2010). Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Revista fitotecnica mexicana*, 33(SPE4), 79-82.
- Velásquez, J., Monteros, A., & Tapia, B. (2008). Semillas, tecnología de producción y conservación. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Producción de Semillas. INIAP. Quito, Ecuador. 134 p.
- Vidigal, D. D. S., Dias, D. C. F. S., Pinho, E. V. R. V., & Dias, L. D. S. (2009). Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 31(2), 129-136.
- Vidigal, D. D. S.; Cunha, F. D.; Dos Santos, D. L. A.; Luiz, F. F. (2011). Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Sci. Agric.* 68 (5): 535-539.

**III. EFECTO DE OPORTUNIDAD DE COSECHA EN LA CALIDAD DE
FRUTO DE GENOTIPOS DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum*
L.)**

EFFECTO DE OPORTUNIDAD DE COSECHA EN LA CALIDAD DE FRUTO DE GENOTIPOS DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.)

RESUMEN

La calidad en frutos es indispensable para obtener buenos precios de comercialización, por lo cual este trabajo tuvo como objetivo definir la oportunidad de cosecha en donde el chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) alcance la máxima calidad, considerando los días después de antesis (dda). Se trabajó bajo condiciones de invernadero en hidroponía donde se evaluaron parámetros de calidad en frutos de siete genotipos de chile pimiento, cosechados a 55, 65, 75, 90 y 100 dda. El trabajo se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Los parámetros evaluados fueron: peso, firmeza, grosor del pericarpio, vitamina C, Acidez titulable, Sólidos solubles totales, clorofilas, carotenoides y color del fruto. A los datos obtenidos se les realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Como resultado se observó que a partir de los 75 dda disminuyeron la firmeza, el grosor del pericarpio, el Hue, y las clorofilas, mientras que hubo aumento en carotenoides, croma, vitamina C que estuvo entre 92.34 a 110.59 mg de ac. Ascórbico/100 g, Sólidos solubles totales entre 7.97 a 8.30 °Brix y acidez titulable entre 0.25 a 0.39 % de ac. Cítrico. En los genotipos solo hubo diferencia en el peso, grosor del pericarpio y firmeza, a excepción de 'Turbine' que tuvo mayor concentración de vitamina C y croma que las demás. Se recomienda que la cosecha se haga de los 75 a los 90 dda porque los parámetros de calidad en general tienen los mayores resultados de calidad, mientras que a los 100 dda no es recomendable porque los frutos comienzan a deshidratarse.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, parámetros de calidad, maduración

EFFECT OF HARVESTING OPPORTUNITY ON THE FRUIT QUALITY OF SWEET BELL (*Capsicum annuum* L.) GENOTYPES

ABSTRACT

Fruit quality is vital to obtain good commercial prices, so this work aimed to define the harvest opportunity where sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) reaches the highest quality, considering the days after anthesis (daa). This work was carried out under greenhouse conditions in hydroponics and was evaluated fruit quality in seven sweet bell pepper genotypes harvested at 55, 65, 75, 90 and 100 dda. The study was been developed under a completely randomized experimental design with three repetitions. The parameters evaluated were weight, firmness, pericarp thickness, vitamin C, titratable acidity, total soluble solids, chlorophylls, carotenoids and fruit color. An analysis of variance and Tukey's mean comparison tests ($P \leq 0.05$) were been performed on the data obtained. As a result, it was observed that starting at 75 dda, firmness, pericarp thickness, Hue, and chlorophylls decreased; meanwhile, there was an increase in carotenoids, chroma, vitamin C, which was between 92.34 and 110.59 mg of ac. Ascorbic / 100 g, total soluble solids between 7.97 to 8.30 °Brix and titratable acidity between 0.25 to 0.39 % ac. Citric. Among the genotypes there was only difference in weight, pericarp thickness and firmness; except for 'Turbine', which had a higher concentration of vitamin C and chroma than the others genotypes. It is been recommended harvesting from 75 to 90 dda since most of the quality parameters have the highest quality results, meanwhile at 100 dda is not suggested because fruits dehydration begins.

Key words: *Capsicum annuum*, quality parameters, maturation

INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annuum* L.) tiene su origen en el continente americano en zonas templadas, tropicales y subtropicales; se cultiva de los 0 a 2300 msnm (Palacio-Márquez *et al.*, 2017). El chile en México es de gran importancia debido a su alta producción y consumo; además que al país se le considera como centro de origen de varias especies de este cultivo (Ayala *et al.*, 2014). Tan solo en el 2016 México ocupó el segundo lugar en producción de chiles a nivel mundial con 2,737,028 toneladas (FAO, 2018). Con respecto al chile pimiento en el país se obtuvo una producción de 366,004.4 toneladas; siendo Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco y Baja California Sur los principales estados productores (SIAP, 2018). La mayoría de la producción de pimiento se destina al mercado de exportación (Reséndiz-Melgar *et al.*, 2010; Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017), por lo cual necesita que el fruto de pimiento tenga excelente calidad; ésta dependerá del genotipo, condiciones agroclimáticas y manejo (Kader, 2008; Cruz *et al.*, 2012; Rouphael *et al.*, 2018).

La determinación de calidad en frutas y hortalizas ha ido evolucionando según las exigencias de mercado (Serrano *et al.*, 2011; Rouphael *et al.*, 2018). En la actualidad los consumidores además de exigir calidad en los productos también demandan que tengan alto contenido de componentes que promuevan la salud (Kader, 2008; Martí *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2018). Por lo tanto, la calidad nutracéutica de frutas y verduras es cada vez más importante (Botella *et al.*, 2017). El pimiento se caracteriza por su valor nutritivo y compuestos benéficos a la salud como vitaminas C, A, B; además de compuestos antioxidantes como flavonoides, ácidos fenólicos y carotenoides (Bae *et al.*, 2014; Garcia-Mier *et al.*, 2015; Cheema *et al.*, 2018) y puede consumirse en fresco o cocido, ya sea verde o en estado de madurez más avanzado (Figueroa *et al.*, 2015).

Se sabe que algunos parámetros de calidad (peso, firmeza, grosor del pericarpio, sólidos solubles totales, acidez titulable total, color, entre otros) y de compuestos bioactivos (ácido ascórbico, clorofila y carotenoides) cambian de acuerdo al grado de madurez de los frutos (Kader, 2008; Rouphael *et al.*, 2018); para

determinar dichos valores en chile (*Capsicum sp.*) se han realizado diversos estudios cosechando frutos de acuerdo a días después de antesis (dda) (Serrano *et al.*, 2010; Rahman *et al.*, 2014; Soethe *et al.*, 2016; Botella *et al.*, 2017), coloración del fruto (Menichini *et al.*, 2009; Bae *et al.*, 2014; Garcia-Mier *et al.*, 2015) y color de fruto más días de almacenamiento (Tsegay *et al.*, 2013; Rodoni *et al.*, 2016); concluyendo en la mayoría de las investigaciones que el peso (antes del cambio de color), la pureza de color (croma), sólidos solubles totales, acidez titulable total, carotenoides y ácido ascórbico aumentan conforme el fruto madura; mientras que la firmeza, grosor de pericarpio, ángulo de tono (Hue) y clorofila disminuyen (Serrano *et al.*, 2010; Ghasemnezhad *et al.*, 2011; Tsegay *et al.*, 2013; Bae *et al.*, 2014; García-Mier *et al.*, 2015; Soethe *et al.*, 2016). Sin embargo, cuando la calidad se ha evaluado para chile pimiento en base a los dda, solo se ha hecho hasta los 66 días (Serrano *et al.*, 2010). El objetivo de esta investigación fue observar el comportamiento de algunos parámetros de calidad de frutos de distintos genotipos de pimiento cosechados a diferentes días después de antesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla de 450 m² con estructura metálica y cubierta de polietileno ubicado en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, durante el año 2017. Se sembraron dos híbridos comerciales de chile pimiento tipo lamuyo y blocky: 'PS1636' y 'Bandai', además de cinco F₂ derivadas de híbridos comerciales, dos tipos lamuyo: 'Zapata' y 'Cortes'; y tres tipo blocky: 'Olvera', 'Turbine' y 'Aitana' (solo turbine amarillo, los demás rojos). Para el almácigo se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat moss y vermiculita (2:1), manteniéndose en otro invernadero con características parecidas al antes descrito, a una temperatura media de 20 °C. Posteriormente a los 50 días se trasplantaron 20 plantas por genotipo al invernadero definitivo, usando bolsas de polietileno negro de 15 litros de capacidad con tezontle rojo de textura media (partículas menores a 5 mm) como sustrato a una distancia de 0.3 m entre bolsas

y 0.5 entre líneas. El manejo del cultivo se hizo en un sistema de conducción a dos tallos, tutorados con rafia de la estructura del invernadero. El riego se dio por goteo, mediante cintilla de 16 mm de diámetro con la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1988) detallada en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Concentraciones y fuentes de nutrimentos utilizados para la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante.

Elemento	Concentración (*meq)	Fertilizante y cantidad (meq)
Nitrógeno	14.28	Ca (NO ₃) ₂ = 12.20; (NH ₄) ₂ SO ₄ = 3.64
Fósforo	1.29	H ₃ PO ₄ (al 85 %)= 1.53
Potasio	6.41	K ₂ SO ₄ = 6.43
Magnesio	4.16	Mg SO ₄ = 4.06
Calcio	10.7	Aportado por Ca (NO ₃) ₂
Azufre	12.81	Aportado por K ₂ SO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₄ y Mg SO ₄
Hierro	0.11	FeSO ₄ = 0.11
Manganeso	0.04	MnSO ₄ = 0.04
Boro	0.13	Na ₂ B ₄ O ₇ = 0.03
Zinc	0.003	Zn SO ₄ = 0.003
Cobre	0.003	Cu SO ₄ = 0.003
Molibdeno y cloro	No se cuantifican	Vienen como impureza en agua y fertilizantes

*meq: miliequivalentes

Se cosecharon tres frutos por cada genotipo a los 55, 65, 75, 90 y 100 dda, los cuales de manera inmediata se llevaron al laboratorio de Fisiología de frutales para evaluar los parámetros de calidad. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron:

Peso del fruto

Se determinó el peso fresco de cada fruto en gramos después de ser cosechados con una balanza digital en el laboratorio, expresando el peso en gramos.

Firmeza

En la parte ecuatorial del fruto se midió la firmeza con un texturómetro digital Compac Gauge® de puntal cónico de 6 mm de diámetro, la lectura se realizó en Newtons (N) como la fuerza necesaria hasta la penetración del puntal.

Grosor del pericarpio

Se hizo un corte transversal en la parte ecuatorial del fruto y se midió el grosor con un vernier digital en mm.

Vitamina C (ácido ascórbico)

Se determinó de acuerdo al método de Tillman (AOAC, 2005) conocido como DFI-2, 6 diclorofenol-indofenol. Se homogeneizo una muestra de 5 gramos de chile con 50 ml de ácido oxálico (0.5 %), de ésta se tomó una alícuota y se tituló con solución Tillman (0.01 %) hasta que se obtuvo una coloración rosa estable por un minuto. Se utilizó como estándar el ácido ascórbico y la concentración se expresó en mg/100 g

Acidez titulable

Se determinó por el método de AOAC (2005), licuando 10 gramos de chile en 50 ml de agua destilada, esta mezcla se filtró y midió el volumen; a una alícuota de 10 ml se le agregaron tres gotas de fenofaleína para su titulación con NaOH 0.1 N. El porcentaje de acidez titulable se calculó con base en el ácido cítrico.

Sólidos solubles totales

Se cuantificaron con un refractómetro digital portátil marca ATAGO modelo PAL-1 con escala de 0 a 53 % y se midieron como °Brix. Para la medición se extrajo jugo del fruto por presión del pericarpio y fue colocado en la cavidad del sensor óptico del refractómetro y se tomó lectura.

Clorofila y carotenoides

Se cuantificó con base en la técnica de Lichtenhaier (1987) a partir de la mezcla de 5 gramos de chile molido con acetona al 80 %; el residuo se filtró y aforó a 50 ml. Se midió la absorbancia (A) a 476, 646 y 663 nm con el espectrofotómetro. El contenido de clorofilas y carotenoides se calculó aplicando las siguientes ecuaciones: Clorofila a (Ca) = $12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$; Clorofila b (Cb) = $21.50 A_{646} - 5.10 A_{663}$; Clorofila total (Ca+b) = $7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$; Carotenoides = $(1000 A_{476} - 1.82 Ca - 85.02 Cb)$. Los resultados se expresaron en $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}$ de peso fresco.

Color de fruto

Se determinó inmediatamente después de la cosecha en la parte ecuatorial del fruto con un colorímetro manual que generó valores de L (luminosidad), a (tonalidades de verde) y b (tonalidades de azul); con los dos últimos se calculó el

ángulo de tono (Hue) = $\tan^{-1} (b/a)$ y pureza de color (Croma) = $\sqrt{a^2 + b^2}$ (McGuire, 1992; Minolta, 2007).

Análisis estadístico

A los datos obtenidos de cada variable se les realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) usando el programa SAS 9.0 (SAS, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas y en las tres fuentes de variación: dda, variedades y su interacción (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para parámetros de calidad evaluados en frutos de pimiento.

FV	GL	Peso	F	GR	VC	AT	SS	CA
dda	4	1148.44	372.65*	3.98*	9613.12*	0.22*	21.02*	11.35*
G	6	19705.03*	129.85*	3.74*	48171.12*	0.003	2.31	1.59*
dda*G	24	2063.26	22.45	0.52	7058.83*	0.005*	1.48	0.80*
Error	70	1281.91	27.07	0.34	939.14	0.003	1.18	0.18
Total	104							
CV (%)		22.21	23.66	10.61	32.45	19.95	14.69	41.79
Media		161.21	21.99	5.48	94.45	0.26	7.41	1.03
		CB	CT	CR	L	Hue	Croma	
dda	4	4.20*	25.31*	92.34*	5.71	4157.15*	61.97*	
G	6	0.51	3.64*	3.61*	70.97*	175.96	117.58*	
dda*G	24	0.64*	2.63*	2.61*	3.89*	114.36	15.64	
Error	70	0.25	0.79	1.43	2.31	114.81	13.40	
Total	104							
CV (%)		53.59	45.35	28.69	4.50	12.38	21.38	
Media		0.93	1.96	4.17	33.76	86.55	17.12	

FV: Fuente de variación; dda: prueba; G: genotipo; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; F: firmeza; GR: grosor de pericarpio; VC: vitamina C; AT: acidez titulable; SS: sólidos solubles totales; CA: clorofila a; CR: carotenoides; L: luminosidad; *: significativo con $p \leq 0.05$.

Exceptuando la variedad 'Cortes', los resultados de la comparación de medias (Cuadro 9), no muestran un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en el peso de fruto cosechado a diferentes días después de antesis (dda) en seis genotipos restantes, resultados similares a los reportado por Vidigal *et al.* (2011) para

‘Amarela comprida’, quienes indican que a partir de los 45 dda el peso del fruto se mantiene sin diferencias significativas en peso; del mismo modo que lo obtuvieron Rahman *et al.* (2014) en ‘BARI Misti Morich-1’ y Botella *et al.* (2017) en ‘Requena’; en este contexto Serrano *et al.* (2010) mencionan que cuando el fruto de pimiento alcanza la forma y tamaño definitivos la mayoría del crecimiento celular cesa y su peso se mantiene constante a lo largo de la maduración.

Por otro lado, ‘Cortes’ tuvo el mayor peso de fruto ($P \leq 0.05$) a los 55, 65 y 100 daa, no obstante, sólo a los 55 dda (187.90 g) presentó valores superiores a los de 75 y 90 dda (110.50-109.17 g). Este comportamiento pudo ser debido a que los frutos se tomaron al azar de la parte baja y alta de la planta; al respecto Alan & Eser (2007) reportan que frutos de la parte baja tienen mayor peso que de la parte media y alta. Otra explicación es que el genotipo ‘Cortes’ presenta un comportamiento parecido a lo encontrado por Thanopoulos *et al.* (2013) en ‘Yolo Wonder’, ya que frutos antes del cambio de color tuvieron menor peso y este aumentó conforme maduraron. El peso se puede establecer como indicador de cosecha para los genotipos recolectados en color verde, para los que se cosechan en estado maduro, a excepción de ‘Cortes’ no se puede utilizar ya que permanecen sin cambios ($P \leq 0.05$) durante el proceso de maduración.

Cuadro 9. Comparación de medias para peso fresco (g) de fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
‘Zapata’	157.9A ^y a ^z	171.27Aabc	198.77Aa	147.33Aa	166.27Ab	96.26
‘Olvera’	113.33Aa	90.70Ac	161.00Aabc	122.87Aa	150.70Ab	73.13
‘Turbine’	118.7Aa	115.6Abc	106.03Ac	153.03Aa	124.37Ab	69.89
‘PS1636’	155.77Aa	191.27Aab	162.93Aabc	141.87Aa	125.93Ab	76.42
‘Cortes’	187.90Aa	119.53ABbc	110.50Bbc	109.17Ba	159.27ABb	75.84
‘Bandai’	224.37Aa	222.9Aa	219.63Aa	170Aa	264.63Aa	110.04
‘Aitana’	183.6Aa	203.2Aab	195.23Aab	203.33Aa	193.47Aab	152.52
DMSH	141.34	92.89	85.10	108.55	76.11	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Entre genotipos el peso de fruto es el mismo a los 55 dda, no así a los 65 dda en donde ‘Bandai’ (222.9 g) superó ($P \leq 0.05$) a ‘Cortes’ (119.53 g), ‘Turbine’ (115.6

g) y ‘Olvera’ (90.70 g), además de contar numéricamente con el mayor peso de los siete genotipos, comportamiento similar a lo observado a los 75 daa (219.63 g) donde solo fue superior ($P \leq 0.05$) a ‘Cortes’ (110.50 g) y ‘Turbine’ (106.03 g). A los 90 dda no hay diferencias entre genotipos, no así a los 100 dda, donde ‘Bandai’ supera ($P \leq 0.05$) en peso a todos los genotipos exceptuando a ‘Aitana’ (Cuadro 9). El peso en pimiento puede variar de 80 a 240 g dependiendo del cultivar y la madurez del fruto (Figuerola *et al.*, 2015; Palacio-Márquez y Sánchez-Chávez, 2017), por lo que en este estudio ‘Bandai’ es el genotipo de mayor peso.

La firmeza del fruto cosechado a diferentes daa, presentó diferencias ($P \leq 0.05$) en cuatro genotipos (Cuadro 10), encontrando los valores más bajos entre los 90 y 100 daa; sin embargo, cabe mencionar que a los 65 dda, ‘Zapata’ (28.47 N), ‘Olvera’ (29.13 N), ‘PS1636’ (29.70 N) y ‘Cortes’ (30.00 N) muestran numéricamente la mayor firmeza, resultados que coinciden con lo reportado por Tsegay *et al.* (2013) quienes en frutos verdes de pimiento ‘Telmo’ y ‘Velez’, donde la firmeza valorada fue de 38.49 N a 28.17 N en frutos maduros; Rodoni *et al.* (2016) observaron resultados similares para el cultivar ‘Jaen’.

Cuadro 10. Comparación de medias para firmeza [Newtons (N)] de fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
‘Zapata’	25.17AB ^y a ^z	28.47Aa	20.83ABa	14.67Bb	15.90Bb	12.22
‘Olvera’	22.20ABa	29.13Aa	23.17ABa	15.97Bb	15.90Bb	10.46
‘Turbine’	18.37Aa	24.00Aa	23.70Aa	17.43Aab	19.17Aab	14.53
‘PS1636’	25.63ABa	29.70Aa	21.63ABCa	17.53BCab	14.70Cb	10.55
‘Cortes’	18.37ABa	30.00Aa	19.13ABa	18.33ABab	13.63Bb	13.51
‘Bandai’	24.90Aa	23.90Aa	21.50Aa	15.83Ab	18.17Aab	11.32
‘Aitana’	31.90Aa	30.17Aa	26.27Aa	28.07Aa	26.20Aa	21.28
DMSH	20.47	16.55	13.41	11.45	9.84	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

La firmeza de fruto está relacionada con el estado de madurez del fruto y sirve como indicador de cosecha, de modo que los consumidores prefieren frutos firmes y crujientes independientemente de su color o tamaño (Rahman *et al.*,

2014); los frutos verdes que han alcanzado su desarrollo definitivo tienen mayor firmeza y disminuye conforme madura el fruto (Tsegay *et al.*, 2013). En este estudio, la firmeza a los 75 dda coincidió con el color característico del genotipo cuando está maduro, resultados parecidos a lo reportado por Figueroa *et al.* (2015) en frutos de variedades de color rojo (19.24 a 24.63 N) cosechados en madurez comercial. De este modo la cosecha con mayor firmeza deberá hacerse a los 55 dda para 'Bandai' y 'Aitana', mientras que para los demás genotipos a los 65 dda.

La firmeza de fruto entre genotipos no mostró diferencia significativa a los 55, 65 y 75 daa, no así a los 90 y 100 dda ya que 'Aitana' (28.07 N) superó ($P \leq 0.05$) a 'Olvera' (15.97 N), 'Zapata' (14.67 N) y 'Bandai' (15.83 N) a los 90 daa, y a 'Olvera' (15.90 N), 'Zapata' (15.90 N), 'PS1636' (41.70) y 'Cortes' (13.63) a los 100 dda; cabe mencionar que 'Aitana' (26.20 N) mantuvo numéricamente la mayor firmeza en todos los muestreos. Al respecto, Figueroa *et al.* (2015) no encontraron diferencias significativas entre variedades rojas o amarillas de frutos en madurez comercial encontrando valores entre 17.38 y 24.63 N; por otro lado Tsegay *et al.* (2013) observaron que la variedad roja 'Telmo' (36.06 N) presentó mayor firmeza que la variedad amarilla 'Velez' (30.97 N), a su vez menciona que las diferencias en firmeza pueden ser debidas a factores genéticos o ambientales. En este experimento, si fuera necesario contar con un genotipo que mantenga la mayor firmeza sin cambios relevantes a lo largo de la maduración, se recomendaría 'Aitana'.

Con excepción de 'Cortes' y 'PS1636', el grosor del pericarpio de fruto de los genotipos restantes mostró el mismo comportamiento ($P \leq 0.05$) en los diferentes muestreos (Cuadro 11), situación similar a la observada en 'Cortes' y 'PS1636' hasta los 75 daa, ya que a los 90 y 100 daa se reportaron los resultados menores ($P \leq 0.05$). En este contexto, Del Amor *et al.* (2009) y Rahman *et al.* (2014) afirman que el grosor está correlacionado de manera positiva con la firmeza, conforme aumenta la madurez de los frutos de pimiento estos dos parámetros disminuyen, tendencia seguida por 'Cortes', 'PS1636', 'Bandai' y 'Aitana', aunque en los

últimos dos genotipos las diferencias fueron numéricas. Utilizando el grosor como indicador de cosecha, se pueden cosechar los genotipos desde los 55 dda si el fruto se consume verde y hasta los 75 dda si el fruto se consume maduro.

Cuadro 11. Comparación de medias para el grosor (mm) de fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
‘Zapata’	5.53A ^y ab ^z	6.72Aa	6.28Aa	5.23Aa	4.95Aab	2.42
‘Olvera’	4.63Ab	5.30Abc	5.32Aa	5.01Aa	5.06Aab	1.86
‘Turbine’	4.87Aab	5.05Ac	5.57Aa	5.17Aa	4.94Aab	0.91
‘PS1636’	5.27ABab	6.15Aabc	6.15Aa	4.57Ba	4.21Bb	1.36
‘Cortes’	5.80Aab	5.37Abc	5.18Aa	4.21Ba	4.23Bb	0.89
‘Bandai’	6.51Aa	6.48Aab	5.91Aa	5.53Aa	5.92Aa	1.62
‘Aitana’	6.38Aa	6.31Aab	6.73Aa	5.73Aa	5.67Aab	2.42
DMSH	1.64	1.22	1.93	2.02	1.58	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Al comparar entre genotipos, el grosor del pericarpio de fruto de ‘Bandai’ (6.51 mm) a los 55 dda, tiene el mayor valor numérico y sólo supera estadísticamente a ‘Olvera’ (4.63 mm), mientras que a los 65 dda ‘Zapata’ (6.72 mm) tuvo numéricamente el mayor grosor, superando ($P \leq 0.05$) a ‘Turbine’ (5.05 mm) ‘Olvera’ (5.30 mm) y ‘Cortes’ (5.37 mm). A los 75 y 90 dda no hay diferencias entre genotipos, no así a los 100 dda, donde ‘Bandai’ (5.92 mm) presenta numéricamente el mayor grosor de pericarpio superando estadísticamente solo a ‘Cortes’ (4.23 mm) y ‘PS1636’ (4.21 mm) (Cuadro 11), por lo que ‘Bandai’ podría ser considerado como un buen material, particularmente cuando Del Amor *et al.* (2009) mencionan que el grosor esta correlacionado de manera positiva con la firmeza.

La concentración de vitamina C en los frutos cosechados en diferentes épocas de cosecha con base en los dda, solo tuvo diferencias ($P \leq 0.05$) en tres (‘Turbine’, ‘Aitana’, y ‘PS1636’) de los siete genotipos evaluados (Cuadro 12). A los 90 días daa, ‘Turbine’ (319.94 mg / 100 g) alcanzó numéricamente la mayor concentración de ácido ascórbico, siendo superior ($P \leq 0.05$) a los valores

reportados a los 55 (49.37 mg / 100 g) y 65 dda (176.58 mg / 100 g), mientras que en 'Aitana' a los 100 dda (75.47 mg / 100 g) se presentó numéricamente la mayor concentración superando ($P \leq 0.05$) únicamente a la registrada a los 55 dda (28.77 mg / 100 g). Por otro lado 'PS1636' presentó los menores valores a los 65 (54.53 mg / 100 g) y 75 dda (54.87 mg / 100 g) en tanto que en las fechas restantes los valores fueron estadísticamente iguales, dentro de las cuales, numéricamente los valores que destacan son los reportados a los los 55 y 90 daa (72.72 mg / 100 g). Como es bien conocido el estado de madurez del fruto influye en el contenido de vitamina C (Rahman *et al.*, 2014), por lo que su concentración aumenta conforme maduran los frutos de chile (Bae *et al.* 2014; Takahashi *et al.*, 2018) y pimiento (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010; Botella *et al.*, 2017), tendencia que siguió particularmente 'Turbine' y 'Aitana'. Adicionalmente, Ghasemnezhad *et al.* (2011) y Rahman *et al.* (2014) observaron que el contenido de vitamina C fue mayor en frutos verdes, proyección que en este estudio la tuvieron 'Zapata' y 'Olvera', no obstante, de no presentar diferencias significativas entre fechas. Si se requiere de la mayor concentración de vitamina C, en 'Zapata' y 'Olvera' los frutos deben cosecharse a los 55 y 65 dda; en 'Turbine', 'Bandai' y 'Aitana' de los 75 a 100 dda; por último, en 'PS1636' y 'Cortes' a los 55 o 90 dda.

Cuadro 12. Comparación de medias del contenido de vitamina C (mg ácido ascórbico / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	100.01A ^y ab ^z	97.05Aab	68.6Ab	72.72Ab	83.71Ab	63.78
'Olvera'	63.11Aabcd	84.93Aab	53.50Ab	75.47Ab	72.72Ab	70.38
'Turbine'	49.37Cbcd	176.58BCa	211.44ABCa	344.66Aa	319.94ABa	164.29
'PS1636'	72.72Aabc	54.53Bb	54.87Bb	72.72Ab	61.74ABb	16.24
'Cortes'	109.81Aa	68.83Ab	69.98Ab	118.05Ab	83.71Ab	59.88
'Bandai'	10.92Ad	93.14Aab	130.41Aab	64.48Ab	76.84Ab	127.85
'Aitana'	28.77Bdc	57.18ABb	57.62ABb	69.98Ab	75.47Ab	34.67
DMSH	52.24	102.89	135.05	82.25	52.75	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Comparando entre genotipos, a los 55 dda 'Cortes' (109.81 mg / 100 g) presentó numéricamente la mayor concentración de ácido ascórbico (Cuadro 12), superando ($P \leq 0.05$) a 'Bandai' (10.92 mg / 100 g), 'Aitana' (28.77 mg / 100 g) y 'Turbine' (49.37 mg / 100 g); no obstante, a los 65 dda esta última variedad alcanzó numéricamente la mayor concentración, siendo superior ($P \leq 0.05$) a 'Cortes' (68.83 mg / 100 g), 'Aitana' (57.18 mg / 100 g) y 'PS1636' (54.53 mg / 100 g), tendencia que persistió a los 75, 90 y 100 dda, al superar estadísticamente a todos los genotipos en concentración de ácido ascórbico, a excepción de Bandai a los 75 días (130.41 mg / 100 g), de modo que 'Turbine' probablemente en términos genéticos es capaz de mostrar una mayor expresión en la concentración de vitamina C, pues este parámetro depende de las condiciones ambientales y el genotipo (Figuerola *et al.*, 2015).

El porcentaje de acidez titulable en frutos para los dda siguió la misma tendencia en los siete genotipos, mostrando a los 55 dda la menor concentración ($P \leq 0.05$) la cual aumentó conforme pasaron los dda (Cuadro 13). En 'Zapata' (0.36-0.41 %), 'Cortes' (0.34-0.48 %) y 'Bandai' (0.35-0.38 %) a partir de los 90 dda el porcentaje de acidez titulable fue superior ($P \leq 0.05$) al obtenido en muestreos anteriores, mientras que en 'Olvera' (0.22-0.32 %), 'Turbine' (0.30-0.38 %), 'PS1636' (0.27-0.37 %) y 'Aitana' (0.30-0.36 %) el mayor porcentaje fue a partir de los 75 dda. Resultados similares fueron obtenidos por Serrano *et al.* (2010) y Temiyacul *et al.* (2012), quienes enfatizan que la acidez titulable es menor en frutos cosechados a los 50 dda (0.13 %) y aumenta conforme pasan los días hasta llegar a los 65 dda (0.20 %) en el último muestreo. Ghasemnezhad *et al.* (2011) mencionan que mientras ocurre la maduración aumentan las reacciones metabólicas y la concentración de ácidos orgánicos involucrados en el ciclo de Krebs; estos ácidos participan en reacciones metabólicas que involucran la síntesis de pigmentos, enzimas, degradación de pectinas y celulosas; además la acidez titulable sirve como indicador de la madurez del fruto de pimiento y junto con los sólidos solubles se puede determinar el momento de cosecha. El porcentaje de acidez titulable en frutos a 90 y 100 dda es parecido al reportado por Figuerola *et al.* (2015) en frutos de pimiento en madurez comercial y por Pérez

et al. (2018) en chile manzano (*Capsicum pubescens*). Cabe mencionar que la acidez titulable también puede disminuir a partir de los 80 dda (Sohette *et al.* 2016), lo que no sucedió en el presente estudio.

Cuadro 13. Comparación de medias del contenido de acidez titulable (% ácido cítrico) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	0.17B ^y a ^z	0.14Ba	0.18Ba	0.36Aa	0.41Aa	0.14
'Olvera'	0.19Ba	0.16Ba	0.23ABCa	0.29Aa	0.32Aa	0.09
'Turbine'	0.14Ba	0.20Ba	0.30ABa	0.25Aa	0.38Aa	0.17
'PS1636'	0.14Ba	0.16Ba	0.27ABa	0.36Aa	0.37Aa	0.15
'Cortes'	0.12Ca	0.17BCa	0.28BCa	0.34Aa	0.48Aa	0.18
'Bandai'	0.13Ba	0.17Ba	0.21Ba	0.35Aa	0.39Aa	0.12
'Aitana'	0.14Ca	0.19BCa	0.3ABa	0.37Aa	0.35Aa	0.16
DMSH	0.09	0.08	0.16	0.17	0.21	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Entre genotipos no hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la concentración de acidez titulable a lo largo de los dda (Cuadro 13). Ghasemnezhad *et al.* (2011) indican que en frutos maduros no hay diferencias en acidez titulable para diferentes variedades de pimiento, de igual manera Sánchez-Chávez *et al.* (2015) no tuvieron diferencias entre frutos de pimiento amarillos y rojos.

Los sólidos solubles totales en fruto tienden a incrementar su concentración conforme pasaron los dda en los siete genotipos (Cuadro 14), aunque en 'Olvera' y 'Turbine' el aumento no fue significativo ($P \leq 0.05$); en este tenor los resultados más bajos ($P \leq 0.05$) se reportan a los 55 daa en las variedades restantes ellos; sin embargo, en 'Zapata' (7.40-9.40 °Brix) y 'Cortes' (8.00-9.00 °Brix) a partir de los 75 dda se logró estadísticamente ($P \leq 0.05$) la concentración de sólidos solubles mayores, mientras que en 'PS1636' (6.30-8.17 °Brix), 'Bandai' (6.77-8.50 °Brix) y 'Aitana' (6.87-8.00 °Brix) lo fue desde los 65 dda. Diversos autores encontraron que la concentración de sólidos solubles fue menor en frutos verdes y aumento conforme fueron madurando por lo que se registró la mayor concentración fue en frutos maduros (Rahman *et al.*, 2014; Garcia-Mier *et al.*, 2015; Soethe *et al.*, 2016; Rodoni *et al.*, 2016 y Botella *et al.*, 2017). Este

fenómeno es debido a la mayor degradación o biosíntesis de los polisacáridos y la acumulación de azúcares (Ghasemnezhad *et al.*, 2011), por lo que de este experimento se deriva que si se requiere mayor concentración de azúcares la cosecha de los frutos deberá hacerse a partir de los 75 dda.

Cuadro 14. Comparación de medias del contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	6.13B ^y a ^z	5.37Bb	7.90ABa	7.40ABCa	9.40Aa	3.02
'Olvera'	7.03Aa	7.57Aab	8.10Aa	8.33Aa	8.50Aa	3.63
'Turbine'	6.70Aa	8.07Aa	9.53Aa	7.77Aa	7.97Aa	4.49
'PS1636'	5.90Ba	6.30ABab	7.67ABa	7.90Aa	8.17Aa	1.98
'Cortes'	5.53Ba	5.43Bab	8.43ABa	9.00Aa	8.00ABa	3.44
'Bandai'	5.47Ba	6.77ABab	7.33ABa	8.50Aa	8.30Aa	2.37
'Aitana'	5.67Ba	6.87ABab	6.83ABa	7.40Aba	8.00Aa	2.16
DMSH	2.71	2.64	3.53	4.00	2.89	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Para los sólidos solubles totales en fruto (Cuadro 14) solo hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a los 65 dda, en donde 'Turbine' (8.07 °Brix) solo fue superior a 'Zapata' (5.37 °Brix); a los 55, 65 y 75 daa 'Turbine' numéricamente tuvo la mayor concentración, mientras que a los 90 y 100 daa lo fueron 'Cortes' y 'Zapata', respectivamente. Palacio-Márquez y Sánchez-Chávez (2017) observaron que frutos de variedades rojas y amarillas en madurez comercial no presentaron diferencias significativas (6.3-8.3 °Brix), de igual manera que Ghasemnezhad *et al.* (2011), en frutos maduros de las variedades 'Y-43-09' (roja) y 'Y-43-07' (amarilla), tuvieron concentración de sólidos solubles parecidas (4-5 °Brix).

Exceptuando 'Olvera', la concentración de clorofila a en fruto en los genotipos restantes siguió una tendencia significativa ($P \leq 0.05$) de disminuir conforme pasaron los dda (Cuadro 15), de tal modo que en 'Zapata' (0.11 μg / 100 g) y 'Turbine' (0.11 μg / 100 g) hasta los 100 dda se reportaron estadísticamente ($P \leq 0.05$) los valores más bajos. Por otro lado a los 55 dda, 'PS1636' (3.74 μg /

100 g), 'Cortes' (2.96 µg / 100 g) y 'Aitana' (2.44 µg / 100 g) tuvieron la mayor ($P \leq 0.05$) concentración, mientras que 'Bandai' y 'Turbine' la mantuvieron hasta los 75 dda (1.94-1.41 µg / 100 g) y 90 daa (0.34 µg / 100 g), respectivamente, y por lo tanto en todos los genotipos, los valores más bajos se reportaron a los 100 daa. Los resultados muestran una clara diferencia entre el comportamiento de cada genotipo, lo que implica precocidad diversa entre ellos, sin embargo, en todos se presenta el proceso natural que se caracteriza por la disminución de la clorofila a conforme aumentó la coloración del fruto (Soethe *et al.*, 2016), es decir que la clorofila a disminuye a valores cercanos a cero cuando el fruto alcanza la madurez debido a su degradación (Figuerola *et al.*, 2015).

Cuadro 15. Comparación de medias del contenido de clorofila a (µg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	1.83A ^y c ^z	1.51Aa	1.05Aa	1.06Aa	0.11Ba	0.91
'Olvera'	1.56Ac	1.57Aa	1.04Aa	1.12Aa	0.14Aa	1.68
'Turbine'	0.39ABd	0.07Bb	0.98Aa	0.34Aba	0.11Ba	0.85
'PS1636'	3.74Aa	1.45Ba	0.92Ba	0.89Ba	0.13Ba	1.75
'Cortes'	2.96Aab	1.41Ba	0.77BCa	0.90BCa	0.12Ca	1.00
'Bandai'	1.94Abc	1.09ABCab	1.41ABa	0.51BCa	0.12Ca	1.23
'Aitana'	2.44Abc	1.07Bab	1.11Ba	0.10Ca	0.07Ca	0.97
DMSH	1.03	1.31	0.96	1.19	0.16	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

A los 55 dda 'PS1636' (3.74 µg / 100 g) superó ($P \leq 0.05$) en concentración de clorofila a (Cuadro 15), a todos los genotipos siendo la excepción 'Cortes' (2.96 µg / 100 g), por otro lado, a los 65 dda 'Turbine' (0.07 µg / 100 g) presentó la concentración más baja con respecto a los demás genotipos, mientras que de los 75 a 100 dda no se encontraron diferencias significativas entre las variedades. Figuerola *et al.* (2015) encontraron que para la clorofila a en 'Triple 4' (roja) presentó la mayor concentración, pero de igual manera otra variedad roja 'Triple Star' tuvo la menor concentración, por lo que la concentración de clorofila a,

además de factores ambientales también depende del genotipo, fenómeno que se ve claro en el presente estudio particularmente en el primer muestreo.

La clorofila b para los dda tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en cinco genotipos (Cuadro 16). Hasta los 90 dda en 'Zapata' (1.12-1.81 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$), 'Olvera' (1.15-2.03 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) y 'Cortes' (1.54-1.47 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) se presentó la mayor concentración, superando a la concentración de los 100 dda; mientras que en 'Aitana' (1.61-1.29 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) hasta los 75 dda la concentración fue estadísticamente mayor que a los 90 y 100 dda. Por otro lado 'Turbine' en términos numéricos tuvo la mayor concentración a los 75 dda (1.74 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) siendo estadísticamente superior a la de 65 dda (0.14 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$), no obstante, no descarta en este caso un error de muestreo, por lo que la tendencia es que el valor de clorofila b sea el mismo en todos los estados de madurez evaluados. En todos los genotipos la concentración de clorofila b bajo drásticamente a los 100 dda, particularmente en 'Zapata', 'Olvera', 'Aitana' y 'Cortes', donde el abatimiento fue significativo ($P \leq 0.05$). Al respecto, Soethe *et al.* (2016) mencionan que, durante la maduración del fruto, la degradación de clorofila a es generalmente más intensa que en la b, porque la clorofila b tiene que convertirse en clorofila a para entrar en la ruta de degradación, probablemente por esta razón tres genotipos tuvieron estadísticamente mayor concentración hasta los 90 dda.

Cuadro 16. Comparación de medias del contenido de clorofila b ($\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	1.12AB ^y b ^z	0.9ABab	0.95ABa	1.81Aa	0.17Ba	1.45
'Olvera'	1.15ABb	1.11ABa	1.2ABa	2.03Aa	0.27Ba	1.66
'Turbine'	0.28ABc	0.14Bb	1.74Aa	0.66Aba	0.25ABa	1.58
'PS1636'	2.17Aa	0.85Aab	0.73Aa	1.64Aa	0.24Aa	2.19
'Cortes'	1.54Aab	0.74ABab	0.7ABa	1.47Aa	0.19Ba	0.61
'Bandai'	1.17Ab	0.67Aab	1.31Aa	0.80Aa	0.22Aa	1.24
'Aitana'	1.61Aab	0.96ABa	1.29Aa	0.22Ba	0.18Ba	0.84
DMSH	0.64	0.77	1.37	2.17	0.25	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

En la prueba de comparación de medias entre genotipos (Cuadro 16), a los 55 dda 'PS1636' (2.17 μg / 100 g) mostró la mayor concentración de clorofila b superando ($P \leq 0.05$) a 'Olvera' (1.15 μg / 100 g), 'Bandai' (1.17 μg / 100 g), 'Zapata' (1.12 μg / 100 g) y 'Turbine' (0.28 μg / 100 g), siendo ésta última la del menor valor; cabe mencionar que 'PS1636' presentó numéricamente el mayor valor en relación a las variedades restantes. A los 65 dda 'Turbine' (0.14 μg / 100 g) nuevamente expresa el menor valor ($P \leq 0.05$), mientras que entre el resto de los genotipos el comportamiento es el mismo, destacando de nuevo 'Olvera' con el valor numéricamente mayor. Por otro lado a partir de los 75 dda no hubo diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 16); no obstante, cabe mencionar que 'Olvera' y 'Turbine' tuvieron numéricamente los valores más altos a los 75 daa, para el primer caso y a los 90 y 100 daa para la segunda variedad. Resultados similares son concluidos por Figueroa *et al.* (2015) quienes no encontraron diferencias significativas entre la clorofila b de variedades rojas o amarillas.

Los resultados de comparación de medias del contenido de clorofila total en frutos cosechados en diferente grado de madurez, muestra, salvo algunas excepciones, que los valores disminuyen a medida que pasa el tiempo (Cuadro 17).

Cuadro 17. Comparación de medias del contenido clorofila total (μg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	2.95A ^y bc ^z	2.42ABa	1.99ABa	2.87Aa	0.27Ba	2.22
'Olvera'	2.71Ac	2.68Aa	2.24Aa	3.15Aa	0.41Aa	3.26
'Turbine'	0.68ABd	0.21Bb	2.72Aa	1.00Aba	0.36ABa	2.41
'PS1636'	5.91Aa	2.30ABa	1.66Ba	2.53Aba	0.38Ba	3.86
'Cortes'	4.5Aab	2.14Bab	1.47BCa	2.37Ba	0.31Ca	1.55
'Bandai'	3.11Abc	1.75ABab	2.72Aa	1.31Aba	0.34Ba	2.33
'Aitana'	4.06Abc	2.04Bab	2.40ABa	0.32Ca	0.25Ca	1.70
DMSH	1.62	2.04	2.13	3.36	0.40	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

De este modo, las concentraciones de clorofila total en 'Zapata' (2.95-2.87 μg / 100 g), 'Bandai' (3.11-1.31 μg / 100 g), y salvo una excepción a los 75 daa en 'PS1636', fueron mayores ($P \leq 0.05$) hasta los 90 daa, mientras que a los 55 daa 'Cortes' (4.5 μg / 100 g) presentó la mayor concentración con respecto a los cortes restantes. Para 'Aitana' (4.06 μg / 100 g) en términos numéricos la mayor concentración fue a los 55 daa y la clorofila desciende a partir de los 90 daa. Las variedades 'Turbine' y 'Olvera' no presentaron diferencia significativa entre cortes, sin embargo, la primera presentó numéricamente la menor concentración a los 65 daa (0.21 μg / 100 g) que pudo obedecer a un error experimental, en tanto que en 'Olvera' la menor concentración fue a los 100 daa del mismo modo que en los genotipos restantes. Este comportamiento obedece a que la concentración de clorofilas disminuye en la maduración debido a que son degradadas, permitiendo que otros pigmentos sobresalgan (Ignat *et al.*, 2013), por lo que en este estudio si fuera necesario contar con alta concentración de clorofilas en los frutos, el corte se deberá realizarse de los 55 a 65 daa.

Entre variedades, la concentración de clorofila total a los 55 daa en 'PS1636' (5.91 μg / 100 g) y 'Cortes' (4.50 μg / 100 g) fueron las mayores ($P \leq 0.05$), en tanto que 'Olvera' es la del menor contenido, del mismo modo que lo fue 'Turbine' (0.21 μg / 100g) a los 65 daa, donde los genotipos restantes muestran el mismo comportamiento ($P \leq 0.05$). En los muestreos restantes, es decir a partir de los 75 daa, no hay diferencias entre genotipos, lo que implica que en todos los casos con la maduración la clorofila total tiende a disminuir independientemente del genotipo (Cuadro 17), aunque cabe aclarar que es posible encontrar diferencias como las reportadas por Figueroa *et al.* (2015), quienes observaron que la clorofila total las variedades rojas (0.63-1.03 μg / 100 g) presentaron mayor concentración que las amarillas (0.16-0.19 μg / 100 g), ya que en estas últimas en la maduración no están presentes cloroplastos y solo hay leucoplastos, lo que hace dicha diferencia.

La mayor ($P \leq 0.05$) concentración de carotenoides en frutos se apreció de los 90 daa en adelante en 'Zapata' (7.25-7.22 μg / 100 g), 'Turbine' (8.29-5.39 μg / 100 g) y 'Bandai' (6.60-5.48 μg / 100 g), y solo a los 90 daa en 'Aitana' (6.38 μg / 100

g), mientras que en 'PS1636' (6.95-6.43 μg / 100 g) y 'Olvera' (3.80-5.49 μg / 100 g) lo fue a partir de los 75 dda. (Cuadro 18). En 'Cortes' numéricamente la mayor concentración fue a los 75 dda (5.57 μg / 100 g) al tiempo que a los 65 dda (1.28 μg / 100 g) la diferencia fue significativamente menor, probablemente por un error de muestreo debido a que en los cortes restantes, el comportamiento fue el mismo ($P \leq 0.05$), siguiendo una tendencia de acrecentar la concentración de carotenoides a partir de los 75 dda, comportamiento que ha sido observado en otros estudios (Serrano *et al.*, 2010; Ignat *et al.*, 2013), simplemente porque hay mayor síntesis de éstos (Menichinni *et al.*, 2009, García-Mier *et al.*, 2015). Bajo estas circunstancias, considerando la concentración de carotenoides como indicadores para la cosecha en este estudio, esta deberá hacerse a partir de los 75 dda.

Cuadro 18. Comparación de medias del contenido de carotenoides (μg / 100 g) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	2.58B ^y ab ^z	1.49Ba	3.74Bab	7.25Aa	7.22Aa	3.15
'Olvera'	2.68BCab	1.62Ca	3.80ABCab	6.80Aa	5.49ABab	3.47
'Turbine'	2.01Bb	2.15Ba	2.64Bb	8.29Aa	5.39ABab	5.02
'PS1636'	2.92Ba	1.88Ba	6.95Aa	7.54Aa	6.43Aab	3.20
'Cortes'	2.52ABCab	1.28Ba	5.57Aab	5.04Aba	4.75ABab	4.17
'Bandai'	2.57Bab	1.89Ba	3.04Bb	6.60Aa	5.48Aab	2.22
'Aitana'	2.93BCa	1.53Ca	3.72BCab	6.38Aa	3.93Bb	2.30
DMSH	0.73	1.66	3.88	5.89	3.23	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

A los 55 dda 'Aitana' (2.93 μg / 100 g) presentó numéricamente la mayor concentración de carotenoides, de modo que sólo fue estadísticamente ($P \leq 0.05$) superior a 'Turbine' (2.01 μg / 100 g), mientras que a los 65 y 90 dda no se reportan diferencias estadísticas entre genotipos, no así a los 75 dda, donde 'PS1636' (6.95 μg / 100 g) presentó numéricamente mayor concentración que cuatro genotipo, y por lo tanto estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) a los dos restantes, 'Bandai' (3.04 μg / 100 g) y 'Turbine' (2.64 μg / 100 g). Por último a los 100 dda, 'Zapata' (7.22 μg / 100 g) produjo mayor ($P \leq 0.05$) concentración de

carotenoides que 'Aitana', mientras que numéricamente superó a los genotipos restantes (Cuadro 18). Este comportamiento es corroborado con los resultados de Serrano *et al.* (2010), quienes argumentan que el contenido de carotenoides varía con el genotipo y las condiciones ambientales; los frutos amarillos tienen más luteína y violaxantina, mientras que los frutos rojos tienen más capsorrubina y capsantina; en el mismo contexto, Ignat *et al.* (2013) encontraron que a los frutos de pimiento rojo a los 90 dda tuvieron mayor concentración de carotenoides que amarillos; sin embargo, Figueroa *et al.* (2015) no observaron diferencias significativas entre pimiento rojos o amarillos, por lo que en este caso el ambiente puede ser fundamental.

Cuadro 19. Comparación de medias para luminosidad (L) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	32.01A ^y b ^z	33.72Aab	31.68Ab	32.01Ab	32.00Ab	3.74
'Olvera'	32.34Ab	35.03Aab	34.85Ab	32.65Ab	33.49Ab	4.78
'Turbine'	37.96Aa	38.46Aa	38.97Aa	40.15Aa	37.16Aa	6.36
'PS1636'	33.41Ab	33.48Aab	31.71Ab	30.87Ab	33.60Ab	3.75
'Cortes'	34.64ABab	36.26Aab	33.16ABb	32.54ABb	31.71Bb	3.98
'Bandai'	32.09Ab	32.26Ab	31.41Ab	32.80Ab	34.05Aab	2.88
'Aitana'	32.17Ab	33.52Aab	33.08Ab	32.63Ab	33.89Aab	2.74
DMSH	3.86	5.04	4.01	4.09	3.54	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

La luminosidad en frutos con respecto a los dda no tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los genotipos, exceptuando Cortes' (36.26), pues presentó valores estadísticamente superiores que a los 100 dda (31.71) (Cuadro 19). Resultados similares fueron encontrados por Soethe *et al.* (2016) en 'BRS Mari', ya que a los 60 dda tenía 36.4 y se mantuvo sin cambios hasta los 80 dda; por su parte Rahman *et al.* (2014) observaron que a partir de los 45 dda la luminosidad no tuvo cambios significativos y se mantuvo en 39.46. Con base a la coloración del fruto en el cambio de verde a rojo, Cheema *et al.* (2018) mencionan que la luminosidad se mantiene entre 34 a 39.5, mientras que Thanopoulos *et al.* (2013)

en frutos de pimiento sin semilla reportan 36, y Rodoni *et al.* (2016) entre 31 a 32. Por otro lado, Takahashi *et al.* (2018) menciona que la luminosidad disminuyó conforme al proceso de maduración, comportamiento que solo lo tuvo 'Cortes', en este estudio, por lo que la luminosidad no es factible para utilizarla como indicador de cosecha al no presentar cambios relevantes a lo largo de la maduración del fruto.

Los valores de luminosidad en fruto a los 55 dda en 'Turbine' (37.96) fueron mayores ($P \leq 0.05$), aunque sin diferencias significativas con respecto a 'Cortes' (34.64), mientras que a los 65 dda 'Turbine' (38.46) numéricamente tuvo el mayor valor de luminosidad siendo estadísticamente superior que 'Bandai'. En los cortes restantes, nuevamente alcanza los mayores valores (Cuadro 19), situación que hace de este un genotipo con una característica particular. Estos resultados coinciden con lo reportado por Del Amor *et al.* (2009) quienes vieron en las variedades amarillas valores de luminosidad 48.7 y en las rojas de 28.9. Palacio-Márquez y Sánchez-Chávez (2017) y Sánchez-Chávez *et al.* (2015) de igual manera observaron que 'Jeannete' (amarilla) tuvo mayor luminosidad que 'Fascinato' (roja).

Cuadro 20. Comparación de medias para la pureza de color (Croma) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	14.36A ^y ab ^z	18.64Aab	15.79Aab	14.93Aa	19.06Aa	5.08
'Olvera'	12.15Ab	16.23Ab	18.33Aab	13.18Ab	16.32Aa	7.35
'Turbine'	18.59Aa	28.72Aa	23.76Aa	22.45Aa	22.36Aa	13.13
'PS1636'	17.31Aab	13.11Ab	16.92Aab	16.86Aa	21.52Aa	17.04
'Cortes'	15.89Bab	18.64ABab	15.84Bab	15.02Ba	20.13Aa	3.92
'Bandai'	13.18Ab	16.02Ab	17.98Aab	13.91Aa	15.80Aa	6.02
'Aitana'	14.22Aab	18.92Aab	11.06Ab	14.00Aa	18.03Aa	11.42
DMSH	5.20	12.40	11.88	11.20	11.34	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

El croma en fruto solo tuvo diferencias significativas entre los diversos muestreos en la variedad 'Cortes' (Cuadro 20), alcanzando el mayor valor ($P \leq 0.05$) a los 100

(20.13) y 65 dda (18.64), no obstante, cabe destacar una inconsistencia de los resultados a lo largo de los periodos de cosecha. En los cinco genotipos restantes no se mostraron diferencias significativas, pero siguieron la tendencia de aumentar el croma a partir de los 65 dda, con excepción de 'Turbine' y 'Aitana', tal y como lo reportan Takahashi *et al.* (2018) en Chile Shimagarotoshi (*Capsicum frutescens*), donde el croma de frutos verdes fue de 45.56 y en maduros aumentó a 56.89; asimismo es importante mencionar que existe una correlación negativa entre croma y Hue en Chile serrano (*Capsicum annuum*) (Vázquez *et al.*, 2010). Considerando el croma como indicador de cosecha, se recomienda colectar a partir de los 75 dda.

Entre genotipos 'Turbine' (18.59) presentó el mayor valor numérico de croma a los 55 y 65 dda, siendo estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) a 'Olvera' (12.15) y 'Bandai' (13.15) en ambas fechas; posteriormente, 'Turbine' numéricamente siguió teniendo el mayor valor de croma (Cuadro 20), seguramente por efecto del genotipo, ya que Del Amor *et al.* (2009) encontraron que las variedades amarillas tuvieron mayor pureza con 27.3 que las rojas con 23.5, del mismo modo que Palacio-Márquez y Sánchez-Chávez (2017) y Sánchez-Chávez *et al.* (2015) lo observaron entre 'Jeannete' (amarilla) y 'Fascinato' (roja).

Los valores del ángulo de tono (Hue) en fruto entre las diversas oportunidades de cosecha, muestran en general una tendencia a disminuir a medida que el fruto madura. De este modo en las variedades 'Zapata' (105.92-101.46), 'Bandai' (106.19-101.69) y 'PS1636' (107.27-96.20) el Hue fue mayor ($P \leq 0.05$) hasta los 65 dda y en 'Cortes' (108.28-87.57) a los 75 daa, mientras que en 'Turbine' a los 55 dda (105.09), del mismo modo que 'Olvera', aunque en este último el mayor valor es en términos numéricos (Cuadro 21). Como se mencionó previamente, todos los genotipos tienden a disminuir los valores de Hue conforme pasaron los dda, del mismo modo que fue observado por Takahashi *et al.* (2018) en Chile Shimagarotoshi (*Capsicum frutescens*) donde obtuvieron en frutos verdes valores de Hue de 89.72 y en frutos maduros de 43.40. De la misma manera Soethe *et al.* (2016) encontraron en 'BRS Mari' valores de Hue mayores a los 20 dda que

disminuyeron drásticamente a partir de los 60 dda, mientras que Rodoni *et al.* (2016) observaron que en frutos verdes de pimiento el Hue fue de 127 y en frutos maduros 57. El Hue es un indicador del cambio de color de verde a rojo o amarillo y va disminuyendo conforme a la maduración del fruto, estos cambios están asociados con los procesos de degradación de pigmentos de clorofila y síntesis de carotenoides pigmentos (amarillo, naranja y rojo), que ocurren durante el desarrollo de la fruta (Rahman *et al.*, 2014 y Soethe *et al.*, 2016). El Hue puede utilizarse como indicador de cosecha porque el cambio de color está asociado con la maduración del fruto, a partir de los 55 dda se deben cosechar los frutos si el consumo es en verde y a los 75 dda si el fruto se consume maduro.

Cuadro 21. Comparación de medias para el ángulo de tono (Hue) en fruto de seis genotipos de pimiento cosechados a diferentes dda.

Genotipo	55	65	75	90	100	DMSH
'Zapata'	105.92A ^y a ^z	101.46Aa	85.43BCa	69.68Ca	73.44BCab	12.47
'Olvera'	105.21Aa	93.86ABa	86.47ABCa	66.92Ba	78.76ABab	31.83
'Turbine'	105.09Aa	87.20Ba	82.97BCa	83.31Ba	87.81Ba	14.84
'PS1636'	107.27Aa	96.20ABa	83.07BCa	70.18Ca	74.96BCab	21.80
'Cortes'	108.28Aa	95.39ABa	87.57ABa	75.84Ba	76.16Bab	26.50
'Bandai'	106.19Aa	101.69Aa	83.15Ba	76.21Ba	77.19Bab	13.12
'Aitana'	106.29Aa	95.71Aa	56.04Aa	68.31Aa	70.14Ab	65.44
DMSH	4.92	30.17	54.48	17.23	16.29	

^yMedias con la misma letra mayúscula dentro de filas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^zMedias con la misma letra minúscula dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Con respecto a los genotipos, solo hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a los 100 dda (Cuadro 21), fecha en la que 'Turbine' (87.81) presentó numéricamente mayor Hue, y estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) solo a 'Aitana' (70.14), por lo que la diferencia es debida a genotipo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Del Amor *et al.* (2009) quienes encontraron que las variedades amarillas tuvieron diferencias altamente significativas 83.2 y las rojas 22.5 Hue, del mismo modo que, Palacio-Márquez y Sánchez-Chávez (2017) y Sánchez-Chávez *et al.* (2015) lo reportaron en otro experimento.

El peso y la luminosidad no muestran diferencia significativa entre las oportunidades de cosecha (Cuadro 22). La firmeza de fruto y el grosor alcanzan los mayores ($P \leq 0.05$) valores a los 65 dda (27.91 N) y a 75 dda (5.87 mm), respectivamente, mientras que a los 55 dda lo obtuvieron la clorofila a (2.12 μg / 100 g), clorofila total (3.42 μg / 100 g) y el ángulo de tono (106.32); cabe mencionar que en las cuatro variables, así como en la clorofila b, los valores disminuyeron registrando los resultados más bajos ($P \leq 0.05$) en los frutos de mayor madurez.

Cuadro 22. Comparación de medias de 13 parámetros de calidad en pimiento a diferentes dda.

Dda (días)	Peso (g)	Firmeza (N)	Grosor (mm)	VC (mg ác. ascórbico / 100 g)		ATT (% ác. cítrico)	SST (°Brix)
55	163.08a ^t	23.79ab	5.57a	62.10c		0.14d	6.06b
65	159.21a	27.91a	5.91a	90.32bc		0.17d	6.62b
75	164.87a	22.32bc	5.87a	92.34ab		0.25c	7.97a
90	149.66a	18.26dc	5.06b	116.87a		0.33b	8.04a
100	169.23a	17.66d	4.99b	110.59a		0.39a	8.33a
DMSH	30.94	4.50	0.50	26.48		0.04	0.94
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	CR	L	Ángulo de tono (Hue)	Pureza de color (croma)
	(μg / 100 g)						
55	2.12a ^t	1.29a	3.42a	2.60d	33.52a	106.32a	15.1c
65	1.17b	0.77b	1.93b	1.69d	34.67a	95.93b	18.61ab
75	1.04bc	1.13ab	2.17b	4.21c	33.55a	80.67c	17.10abc
90	0.70c	1.23a	1.93b	6.84a	33.38a	72.92c	15.76bc
100	0.11d	0.21c	0.33c	5.53b	33.70a	76.92c	19.03a
DMSH	0.37	0.43	0.77	1.04	1.32	9.26	3.16

^tMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Daa: días después de antes; VC: vitamina C; ATT: acidez titulable total; SST: sólidos solubles totales; CR: carotenoides; L: luminosidad; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Por otro lado, la vitamina C (92.34 mg / 100 g) y Sólidos solubles totales (7.97 °Brix) tuvieron la mayor concentración ($P \leq 0.05$) a partir de los 75 dda, es decir que los valores más bajos se presentaron en frutos menos maduros. Un comportamiento similar se registró para la acidez titulable y los carotenoides,

alcanzando la máxima concentración ($P \leq 0.05$) a los 100 dda (0.39 %) y a los 90 dda (6.84 μg / 100 g), respectivamente. Los cambios ocurridos son parte del proceso de maduración en pimiento, es decir que se ha demostrado que la concentración de clorofila y la firmeza disminuyen mientras que los carotenoides, azúcares y ácidos orgánicos aumenta (Ghasemnezhad *et al.*, 2011; Ignat *et al.*, 2013).

Los resultados de comparación de medias entre genotipos se reportan en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Comparación de medias de diferentes genotipos de pimiento sobre 13 parámetros de calidad en fruto.

Genotipo	Peso (g)	Firmeza (N)	Grosor (mm)	VC (mg ác. Ascórbico / 100 g)	ATT (% ác. cítrico)	SST (°Brix)	
‘Zapata’	168.31bc	21.00b	5.74ab	84.42b	0.25a	7.24a	
‘Olvera’	127.72d	21.27b	5.07c	69.95b	0.24a	7.91a	
‘Turbine’	123.55d	20.53b	5.12bc	220.40a	0.26a	8.00a	
‘PS1636’	155.55dc	21.84b	5.27bc	63.32b	0.26a	7.19a	
‘Cortes’	137.27dc	19.89b	4.96c	90.07b	0.28a	7.28a	
‘Bandai’	220.31a	20.86b	6.07a	75.16b	0.25a	7.27a	
‘Aitana’	195.77ab	28.52a	6.16a	57.80b	0.27a	6.95a	
DMSH	39.68	5.77	0.64	33.97	0.06	1.20	
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	CR	L	Ángulo de tono	Pureza de color
	(µg / 100 g)					(Hue)	(croma)
‘Zapata’	1.11a	0.99a	2.10a	4.46ab	32.29b	87.19a	16.56b
‘Olvera’	1.09a	1.15a	2.24a	4.08ab	33.67b	86.25a	15.24b
‘Turbine’	0.38b	0.62a	0.99b	4.10ab	38.54a	89.27a	23.17a
‘PS1636’	1.43a	1.13a	2.55a	5.14a	32.61b	86.34a	17.14b
‘Cortes’	1.23a	0.93a	2.16a	3.83ab	33.66b	88.65a	17.10b
‘Bandai’	1.01a	0.83a	1.85ab	3.92ab	32.52b	88.89a	15.38b
‘Aitana’	0.96a	0.85a	1.81ab	3.70b	33.06b	79.30a	15.25b
DMSH	0.48	0.55	0.98	1.33	1.69	11.87	4.06

¹Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); VC: vitamina C; ATT: acidez titulable total; SST: sólidos solubles totales; CR: carotenoides; L: luminosidad; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Entre genotipos, 'Bandai' (220.31 g) y 'Aitana' (195.77 g) obtuvieron el mayor ($P \leq 0.05$) peso de fruto, así como el mayor grosor de pericarpio junto a 'Zapata' (5.7 mm), mientras que la mayor firmeza (28.52 N) y el más alto contenido de vitamina C (220.40 mg / 100 g) se reportaron en 'Aitana' y 'Turbine', respectivamente; siendo esta última variedad, también la de mayor luminosidad (38.54) y pureza de color (23.17), así como los valores más bajos en clorofila a y total (0.38 y 0.99 μg / 100 g), probablemente por ser de color amarillo (Cuadro 23). En las demás variables no hubo diferencias significativas entre genotipos.

Estos resultados confirman que la concentración de componentes bioactivos, firmeza y peso, dependen de la madurez del fruto, genotipo y condiciones ambientales, tal y como lo declaran Tsegay *et al.* (2013) y Bae *et al.* (2014).

CONCLUSIÓN

La madurez de fruto de pimiento es determinante en su calidad, donde los parámetros concentración de sólidos solubles, vitamina C, acidez titulable, carotenoides y croma se incrementan en cosechas tardías, alcanzando sus mayores valores a los 75 dda, mientras que la firmeza, el grosor del pericarpio, el Hue y la clorofila disminuyeron en frutos maduros.

Entre genotipos hubo diferencias en el peso y firmeza de fruto, así como en el grosor del pericarpio, obteniendo los mayores valores de calidad entre los 75 y 90 dda.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Mancilla, CL., Iturriaga de la Fuente G., Ramírez-Pimentel J.G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., Raya-Pérez J.C. (2017). El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnol. Agrop.* México 5(1):19-31.
- Alan, O., & Eser, B. (2007). Pepper seed yield and quality in relation to fruit position on the mother plant. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(23), 4251-4255.

- AOAC (2005). Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA.1018 p.
- Ayala, V. M. J., Ayala, G. O. J., Aguilar, R. V. H., & Corona, T. T. (2014). Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnica mexicana*, 37(1), 79-87.
- Bae, H., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K., Yoo, K. S., Leskovar, D. I., Jifon, J., & Patil, B. S. (2014). Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown peppers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(2), 195-202.
- Botella, M. Á., Arévalo, L., Mestre, T. C., Rubio, F., García-Sánchez, F., Rivero, R. M., & Martínez, V. (2017). Potassium fertilization enhances pepper fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 40(2), 145-155.
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Amer, A., Parry, M. J., Lim, L. T., Subramanian, J., & Paliyath, G. (2018). Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 136, 80-89.
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M., & Moreno-Pérez, E. D. C. (2012). Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(3), 333-344.
- Del Amor, F. M., López, M. D. G., Delicado, E. N., Martínez, A. S., Fortea, M. I., Folgado, A. P., y García, A. J. (2009). Evaluación de diferentes variedades de pimiento en cultivo sin suelo. Rendimiento y calidad de fruto. *Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura*, (332), 435-438.
- Figueroa, C. I. E., Martínez, D. M. T., Rodríguez, P. J. E., Cruz, Á. O., Beryl C. L. M. T., Valle, G. S., y Ramírez, R. S. P. (2015). Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morron (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia*, 40(10), 696-703.
- Garcia-Mier, L., Jimenez-Garcia, S. N., Guevara-González, R. G., Feregrino-Perez, A. A., Contreras-Medina, L. M., & Torres-Pacheco, I. (2015). Elicitor mixtures significantly increase bioactive compounds, antioxidant activity, and quality parameters in sweet bell pepper. *Journal of Chemistry*, 2015. 1-8.
- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of functional foods*, 3(1), 44-49.
- Hernández-Fuentes, A. D., Campos-Montiel, R., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morron (*Capsicum annuum* L.) var. california por efecto de la fertilización química y aplicación de

- Lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91.
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Feföldi, J., Bernstein, N., Steiner, B., Egozi, H., & Hoffman, A. (2013). Nonlinear methods for estimation of maturity stage, total chlorophyll, and carotenoid content in intact bell peppers. *Biosystems engineering*, 114(4), 414-425.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymol.* 148:350-382.
- Martí, M. C., Camejo, D., Vallejo, F., Romojaro, F., Bacarizo, S., Palma, J. M., Sevilla, F., & Jiménez, A. (2011). Influence of fruit ripening stage and harvest period on the antioxidant content of sweet pepper cultivars. *Plant foods for human nutrition*, 66(4), 416-423.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G., & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry*, 114(2), 553-560.
- Minolta, K (2007). Precise Color Communication. Color control from perception to instrumentation. Japan, Konica Minolta Sensing, Inc. Disponible en: https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf (Revisado el 20 de febrero de 2018).
- Palacio-Márquez, A. y Sánchez-Chávez, E. (2017). Influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez en pimiento morrón. *Nova scientia*, 9(19), 1-23.
- Pérez, G. M., Martínez, D. M. T., Oscar, C. A., Potrero, A, S. M., Aureliano, P. L., González, H. V. A., & Villegas, M. A. (2018). Content of Capsaicinoids and Physicochemical Characteristics of Manzano Hot Pepper Grown in Greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1).
- Rahman, M. A., Halim, G. M. A., Chowdhury, M. G. F., Hossain, M. A., & Rahman, M. M. (2014). Changes in physicochemical attributes of sweet pepper (*Capsicum annum* L.) during fruit growth and development. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(2), 373-383.
- Reséndiz-Melgar, R. C., Moreno-Pérez, E. D. C., Castillo, S. D., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 16(3), 223-229.

- Rodoni, L. M., Hasperué, J. H., Ortiz, C. M., Lemoine, M. L., Concellón, A., & Vicente, A. R. (2016). Combined use of mild heat treatment and refrigeration to extend the postharvest life of organic pepper sticks, as affected by fruit maturity stage. *Postharvest biology and technology*, 117, 168-176.
- Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275-289.
- Salas, L. J. G., & Muñoz, L. E. P. (2010). Caracteres Agronómicos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) utilizando cuatro materiales de siembra y tres planes de fertilización. *Revista ESPAMCIENCIA*, 1(1): 1-6.
- Sánchez-Chávez, E., Torres-González, A., Flores-Córdova, M. A., Preciado-Rangel, P., y Márquez-Quiroz, C. (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova scientia*, 7(15), 227-244.
- Sánchez, D. C. F.; Escalante, E.R. (1989). Hidroponía: Un sistema de producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Serrano, M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chemistry*, 118(3), 497-503.
- Soethe, C., Steffens, C. A., Mattos, L. M., Ferreira, N. A., & Mayer, D. M. (2016). Postharvest quality and functional compounds in "dedo-de-moça" BRS Mari'pepper fruit at different stages of maturity. *Ciência Rural*, 46(8), 1322-1328.
- Takahashi, M., Arakaki, M., Yonamine, K., Hashimoto, F., Takara, K., & Wada, K. (2018). Influence of Fruit Ripening on Color, Organic Acid Contents, Capsaicinoids, Aroma Compounds, and Antioxidant Capacity of Shimatogarashi (*Capsicum frutescens*). *Journal of oleo science*, 67(1), 113-123.
- Temiyakul, P., Taylor, P. W., & Mongkolporn, O. (2012). Differential fruit maturity plays an important role in chili anthracnose infection. *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 22(3), 494-504.
- Thanopoulos, C., Bouranis, D., & Passam, H. C. (2013). Comparative development, maturation and ripening of seedless and seed-containing bell pepper fruits. *Scientia horticulturae*, 164, 573-577.
- Tsegay, D., Tesfaye, B., Mohammed, A., & Yirga, H. (2013). Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under passive refrigeration

system. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*, 4(7), 98-104.

Vázquez, G. E., Ramírez, M. M., Mata, V. H., Ariza, F. R., y Alia, T. I. (2010). Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Revista fitotecnica mexicana*, 33(SPE4), 79-82.

Vidigal, D. D. S., Dias, D. C. F. D. S., Dias, L. A. D. S., & Finger, F. L. (2011). Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Scientia Agrícola*, 68(5):535-539.

IV. DISCUSIÓN GENERAL

El pimiento es un cultivo hortícola de importancia nacional y mundial (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017), que depende de semilla de calidad para obtener buen rendimiento, razón por la que se han realizado diversos estudios para evaluar la calidad de la semilla de acuerdo a la madurez del fruto, concluyendo que la calidad mejora conforme el fruto madura; sin embargo, no se ha explorado la relación que guardan los diversos indicadores de madurez del fruto con la calidad fisiológica de la semilla, por lo que en el presente experimento se evaluó la calidad de semilla y parámetros de calidad en fruto en distintos genotipos de pimiento, para ver su comportamiento y evaluar su relación.

Los parámetros de calidad de semilla fueron más bajos a los 55 días después de anthesis (dda), y a partir de los 75 dda mostraron un aumento significativo, resultados parecidos a los obtenidos por Vidigal *et al.* (2011) y Ruiz *et al.* (2017). La calidad fue menor a los 55 y 65 dda, probablemente porque en etapas tempranas del fruto, la semilla aún se encuentra en desarrollo y el embrión está fisiológicamente inmaduro, además de que es susceptible a daño por desecación y no germina (Dos Santos *et al.*, 2016 y Moo *et al.*, 2016). En general, los mejores parámetros de calidad fisiológica de semilla se obtuvieron a los 100 dda; sin embargo, algunas semillas germinaron dentro del fruto, tal como lo reportó Valdés *et al.* (1992). De este modo, la mejor época de cosecha de frutos para semilla fue de los 75 a los 90 dda, coincidiendo con lo concluido por Criollo y Upegui (2005) en tomate de cáscara. En términos generales se aprecia que las semillas obtenidas de las F₂, que en este caso fueron F₃, mostraron mayores parámetros de calidad que las provenientes de los híbridos (F₂), probablemente porque al segregar provocaron reducción de rendimiento y calidad de fruto, lo que ha sido reportado en jitomate (Martínez-Solís *et al.*, 2005) y pimiento (Salas y Muñoz, 2010).

Para la calidad del fruto, se observó que parámetros como peso y luminosidad no presentaron cambios, mientras que los mayores valores de firmeza (27.91 N) y grosor (5.87 mm) se alcanzaron a los 65 y 75 dda, respectivamente, en tanto

que para clorofila a ($2.12 \mu\text{g} / 100 \text{ g}$), clorofila total ($3.42 \mu\text{g} / 100 \text{ g}$) y el ángulo de tono (106.32), lo fue a los 55 dda. La mayor concentración Sólidos solubles totales (7.97°Brix) se obtuvo a partir de los 75 dda y el contenido de vitamina C ($92.34 \text{ mg} / 100 \text{ g}$) y carotenoides ($6.84 \mu\text{g} / 100 \text{ g}$) hasta los 90 dda, de modo que la máxima concentración de acidez titulable (0.39 %) se alcanzó a los 100 daa.

Los cambios ocurridos en las variables evaluadas son parte del proceso de maduración en pimiento (Ghasemnezhad *et al.*, 2011; Ignat *et al.*, 2013) y en el presente experimento, tanto los híbridos como las F_2 presentaron parámetros de calidad aceptables, esto a pesar de que hubo segregación, lo que pudo provocar reducción de rendimiento y calidad de fruto (Salas y Muñoz ,2010).

Con la finalidad de determinar si existe algún grado de correlación entre los parámetros de calidad en semilla con parámetros de calidad en fruto cosechados con diferente grado de madurez, se construyó una matriz de correlación, donde los parámetros de calidad fisiológica de semilla: porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas normales, índice de velocidad de germinación, longitud de tallo, además de peso fresco y seco de plántulas, muestran una correlación positiva ($p \leq 0.05$) entre ellos. Adicionalmente, excluyendo la longitud de raíz y el porcentaje de semillas no germinadas, las variables de calidad fisiológica restantes presentaron correlación positiva ($p \leq 0.05$) con los parámetros de calidad de fruto, especialmente con la vitamina C, acidez titulable, sólidos solubles totales; adicionalmente se aprecia una correlación negativa ($p \leq 0.05$) de los parámetros de calidad fisiológica de semilla, con clorofila a, clorofila total y ángulo de tono, parámetros que pueden ser utilizados para definir el momento óptimo de cosecha que asegure buena calidad de semilla, para lo cual será necesario precisar los valores de cada variable que definan los mayores valores de germinación y vigor.

V. CONCLUSIONES GENERALES

La calidad fisiológica en semilla de pimiento mejoró conforme maduró el fruto, alcanzando la mayor de calidad entre los 75 y 90 días después de antesis, del mismo modo que la calidad de frutos.

Los parámetros de calidad en frutos de pimiento son afectados por su grado de madurez, de los cuales la concentración de sólidos solubles, vitamina C, acidez titulable total, carotenoides y croma, mejoran en frutos maduros, mientras que firmeza, grosor del pericarpio, ángulo de tono (Hue) y la clorofila, disminuyen en cosechas tardías.

La concentración de vitamina C, acidez titulable total, sólidos solubles totales, y carotenoides, correlacionaron positivamente con la germinación y la mayoría de los parámetros de vigor evaluados, por lo que pueden ser utilizados como indicadores de calidad fisiológica de semilla.

VI. LITERATURA CITADA GENERAL

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207-225.
- Agustí, M. (2010). Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 507 p.
- Aguilar-Rincón, V. H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H. y Aguilar Castillo, J. A. (2010). Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Aguirre-Mancilla, CL., Iturriaga-De la Fuente G., Ramírez-Pimentel J.G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., Raya-Pérez J.C. (2017). El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 5(1): 19-31.
- Afuakwa, J. J., & Crookston, R. K. (1984). Using the Kernel Milk Line to Visually Monitor Grain Maturity in Maize 1. *Crop Science*, 24(4), 687-691.
- Alan, Ö., & Eser, B. (2008). The effect of fruit maturity and post-harvest ripening on seed quality in hot and conic pepper cultivars. *Seed Science and Technology*, 36(2), 467-474.
- Almaguer, V. G. (1998). Fruticultura general. Departamento de Fitotecnia. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 3a. Edición. México. 416 p.
- Álvarez-Medina, A.; Martínez-Solís, J.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Peña-Ortega, M. G. (2011). Relationship between the physiological quality tests of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seeds and the emergence in seedbeds. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(2): 57-62.
- Álvarez L., M. G. (2007). Producción, comercio y certificación de semillas en México, Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria (CEDRSSA). 44 p.
- Antoniali, S., Leal, P. A. M., Magalhães, A. M. D., Fuziki, R. T., & Sanches, J. (2007). Physico-chemical characterization of 'Zarco HS' yellow bell pepper for different ripeness stages. *Scientia Agricola*, 64(1), 19-22.
- AOAC (2005). Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA. 1018 p.
- Arias, C., & Toledo, J. (2000). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). FAO, Rome, Italy. 136 p.
- Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann, R. y Carrera-Chávez, B. (2012). Hortalizas en México: competitividad frente a EE. UU. y oportunidades de desarrollo. *Revista de Globalización, Competitividad y Gobernabilidad* 6(3): 70-88.

- Ayala, V. M. J., Ayala, G. O. J., Aguilar, R. V. H., & Corona, T. T. (2014). Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 79-87.
- Azcón, B. J. y Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición, edit. McGrawHill. 639 p.
- Bae, H., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K., Yoo, K. S., Leskovar, D. I., Jifon, J., & Patil, B. S. (2014). Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown peppers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(2), 195-202.
- Barreiro, E. P. y Ruiz, A. M. (2000). Instrumentación de la calidad en frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional*, (29), 14-20.
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 369-389.
- Berrones, M. M., Garza, U. E., Vázquez, G. E., y Méndez, A. R. (2013). Producción de pimiento morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas. Centro de Investigación Regional del Noroeste, INIFAP. Folleto técnico, 45 p.
- Bennett, M. A., Waters, L. Jr., Curme, J. H. (1988). Kernel maturity, seed size, and seed hydration effects on the seed quality of a sweet corn inbred. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:348-353.
- Bhering, M. C., Dias, D. C. F. S., Vidigal, D. S., Naveira, D. S. P. (2006). Accelerated ageing test in pepper seeds. *Revista Brasileira de Sementes* 28: 64-71.
- Bidwell, R. G.S. (1993). Fisiología Vegetal. AGT Editor SA México, DF. 762 p.
- Bojacá, C. R., Monsalve, O., Casilimas, H., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., y Fuentes, L. S. (2012). Manual de producción de pimentón bajo invernadero. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Bio-Sistemas, 191 p.
- Borisjuk L, Rolletschek, H., Radchuk, R., Weschke, W., Wobus, U., Weber, H. (2004). Seed development and differentiation: a role for metabolic regulation. *Plant Biol (Stuttg)*. 6(4):375-86.
- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). Peppers: vegetable and spice capsicums. *Crop production science in horticulture*, 219 p.
- Botella, M. Á., Arévalo, L., Mestre, T. C., Rubio, F., García-Sánchez, F., Rivero, R. M., & Martínez, V. (2017). Potassium fertilization enhances pepper fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 40(2), 145-155.

- Camelo, A. F. L. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas (del campo al mercado) (Vol. 151). Food & Agriculture Org., 179 p.
- Carvalho, N. D., & Nakagawa, J. (2000). Sementes: ciência, tecnologia e produção. (4. Ed.) Jaboticabal: Funep. 588 p.
- Cavero, J., Ortega, R. G., & Zaragoza, C. (1995). Influence of fruit ripeness at the time of seed extraction on pepper (*Capsicum annuum*) seed germination. *Scientia horticultruae*, 60(3-4), 345-352.
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Amer, A., Parry, M. J., Lim, L. T., Subramanian, J., & Paliyath, G. (2018). Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 136, 80-89.
- Cid, R. J. A., Reveles, H. M. y Velásquez V. R. (2014). Selección y almacenamiento de semilla de frijol. Folleto Técnico No. 64. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. Calera, Zacatecas, México, 17 p.
- Criollo E., H. y Upegui E., P. A. (2005). Determinación de la madurez fisiológica de semillas de *Physalis peruviana* L. *Revista de Ciencias Agrícolas* 22(1): 1-13.
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M., & Moreno-Pérez, E. D. C. (2012). Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(3), 333-344.
- Del Amor, F. M., López, M. D. G., Delicado, E. N., Martínez, A. S., Fortea, M. I., Folgoso, A. P., ... y García, A. J. (2009). Evaluación de diferentes variedades de pimiento en cultivo sin suelo. Rendimiento y calidad de fruto. *Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura*, (332), 435-438.
- Dias, D. C. F. S.; Ribeiro, F. P.; Dias, L. A. S.; Silva, D. J. H.; Vidigal, D. S. (2006). Tomato seed quality in relation to fruit maturation and post-harvest storage. *Seed Science and Technology* 34: 691-699.
- Díaz, M. D. H. (2002). Fisiología de árboles frutales. Ed. AGT Editor, Mexico D.F. 385 p.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*. 31 (1): 74-85.
- Dos Santos, H. O., Dutra, S. M. F., Pereira, R. W., Pires, R. M. D. O., Da Rosa, S. D. V. F., & De Carvalho, M. L. M. (2016). Physiological quality of habanero pepper (*Capisicum chinense*) seeds based on development and drying process. *African Journal of Agricultural Research*, 11(12), 1102-1109.

- Espíndola, L. J. M.; Smirdele, O. J (2014). Physiologic quality of pepper seeds obtained from to fruit maturation and storage and storage. *Ciências Agrárias, Londrina*. 35 (1): 251-258.
- FAO, (2012). Semillas en emergencias. Manual técnico. Estudio FAO y protección vegetal. 81 p.
- FAO, (2016). Manual de procedimientos para la certificación oficial de semillas. Proyecto de Desarrollo de Capacidades Empresariales de Semillas en Honduras, 20 p.
- Figueroa, C. I. E., Martínez, D. M. T., Rodríguez, P. J. E., Cruz, Á. O., Beryl C. L. M. T., Valle, G. S., y Ramírez, R. S. P. (2015). Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morron (*Capsicum annum* L.). *Interciencia*, 40(10), 696-703.
- Garcia-Mier, L., Jimenez-Garcia, S. N., Guevara-González, R. G., Feregrino-Perez, A. A., Contreras-Medina, L. M., & Torres-Pacheco, I. (2015). Elicitor mixtures significantly increase bioactive compounds, antioxidant activity, and quality parameters in sweet bell pepper. *Journal of Chemistry*, 2015. 1-8.
- García-Tierrablanca, E. A., Raya-Pérez, J. C., Covarrubias-Prieto, J., Dorantes-González, J. A. R., Chablé-Moreno, F., Ramírez-Pimentel, J. G., & Aguirre-Mancilla, C. (2015). Evaluación de técnicas de emasculación y maduración de fruto para la producción de semilla en chile (*Capsicum annum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (11), 2129-2137.
- George, R. A. (1989). Producción de semillas de plantas hortícolas. Edit. Mundi-Prensa Madrid España. 330 p.
- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of functional foods*, 3(1), 44-49.
- González, E. A. (2005). Contribuciones económicas de la investigación agropecuaria y forestal del INIFAP al desarrollo de la agricultura mexicana. Día de campo CEVAMEX-2005. Chapingo, Estado de México. Memoria técnica. pp. 60-68.
- Hamdollah, E. (2012). Seed quality variation of crop plants during seed development and maturation. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 3(11):557-560.
- Heinz Castro, R. T. Q., Marín Sánchez, J., & Alvarado Gómez, O. G. (2014). Incremento de la calidad sanitaria y fisiológica en semilla de chile poblano (*Capsicum annum* L.). *Fitosanidad*, 18(3): 169-173.
- Hernández-Fuentes, A. D., Campos-Montiel, R., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morron (*Capsicum annum* L.)

- var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de Lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91.
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Feföldi, J., Bernstein, N., Steiner, B., Egozi, H., & Hoffman, A. (2013). Nonlinear methods for estimation of maturity stage, total chlorophyll, and carotenoid content in intact bell peppers. *Biosystems engineering*, 114(4), 414-425.
- Intagri, (2016). La calidad de las semillas en cultivos hortícolas. Horticultura protegida 3 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-calidad-de-la-semilla-en-cultivos-hortícolas>.
- ISTA (1976). International Rules for Seed Testing. Seed Science and Technology. 4: 3-177.
- Kader, A. A. (2002). Postharvest technology of horticultural crops (Vol. 3311). University of California Agriculture and Natural Resources. 596 p.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868.
- Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463-469.
- Knee, M. (2008). Bases biológicas de la calidad de la fruta/fruit quality and its biological basis. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 283 p
- Lesur, L. (2006). Una guía paso a paso: Manual del cultivo del chile. Ed. Trillas, D.F. México. 80 p.
- Lucero, F. J. M. y Sánchez, V. C. (2012). Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, México.pp:13-30.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymol.* 148:350-382.
- Martí, M. C., Camejo, D., Vallejo, F., Romojaro, F., Bacarizo, S., Palma, J. M., Sevilla, F., & Jiménez, A. (2011). Influence of fruit ripening stage and harvest period on the antioxidant content of sweet pepper cultivars. *Plant foods for human nutrition*, 66(4), 416-423.
- Martínez-Solís, J., Peña-Lomelí, A., Rodríguez-Pérez, J. E., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J., & Peña-Ortega, M. G. (2005). Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2): 5-21.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Melgarejo, L. M. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Primera edición, impreso en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 249 p.

- Mendoza, M., Latournerie, L., Moreno, E., Castañón, G., Carrillo, J. C., León, C. D., & García, J. G. (2004). Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2): 155-160.
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G., & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry*, 114(2), 553-560.
- Minolta, K (2007). Precise Color Communication. Color control from perception to instrumentation. Japan, Konica Minolta Sensing, Inc. Disponible en: https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf (Revisado el 20 de febrero de 2018).
- Molina-Moreno, J. C., González-Hernández, V. A., Carballo-Carballo, A., Livera-Muñoz, M., Castillo-González, F., y Ortega-Delgado, M. L. (2003). Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4): 271- 277.
- Montero, G. T. D. J. y Peláez R. V. (2008). Inserción del servicio de inspección y certificación de semillas (SICS) en el sistema estatal de sanidad vegetal. Impacto estructural a partir del 2000. *Fitosanidad*, 12(1): 63- 68.
- Moo, M. A. J., Latournerie, M. L., Pinzón, L. L. L., Ayala, G. O. J., & Tzec, M. Y. A. (2016). Efecto de la madurez y secado de semilla de (*Capsicum chinense* jacq.) en la germinación y calidad fisiológica de plántula. *Agroproductividad*, 9(1).
- Moreno P. E. D. C., Mora, A. R., Sánchez d. F., & García P. V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 5-18.
- Namesny, A. (2006). Pimientos. Compendios de horticultura. Segunda edición. Ed. Horticultura SL Reus, España. 167 p.
- Nautiyal, P. C., Misra, J. B., Zala, P. V. (2010). Influence of seed maturity stages on germinability and seedling vigor in groundnut. *Journal of SAT Agricultural Research* 8: 1-10.
- Nuez, F., Ortega, G., y Costa, R. (2003). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. (3ra Ed.) Mundi Prensa. Madrid, España. 586 p.
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66-73.
- Orellana, B., Escobar, J. C., Morales, A. J., Méndez, I. S., Cruz, R. A., & Castellón, M. E. (2012). El cultivo de chile dulce. Guía técnica. Centro Nacional de tecnología agropecuaria y forestal. San Salvador. El Salvador, 49 p.

- Ortega, A.R. (2014). Manual para la Producción de Semilla de Arroz. Folleto Técnico Núm. 2. SAGARPA INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México 54 p.
- Ortiz, T. C., Espinosa, C. A., Azpiroz, R. H. S., Sahagún C., S. (2005). Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y zona de transición. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México, México. p. 44-55 (Libro Técnico Núm. 3).
- Palacio-Márquez, A., & Sánchez-Chávez, E. (2017). Influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez en pimiento morrón. *Nova scientia*, 9(19), 1-23.
- Panayotov, N. (2009). Pepper Seed Quality after Different Periods of Postharvest Ripening Depending on the Position on the Mother Plant. In IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes. *Acta Hort.* 830 (pp. 497-504).
- Pérez, F. G., y Pita, J. M. V. (2001). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Hojas divulgativas. Universidad Politécnica de Madrid. España 16 p.
- Pérez, G. M., Martínez, D. M. T., Oscar, C. A., Potrero, A. S. M., Aureliano, P. L., González, H. V. A., & Villegas, M. A. (2018). Content of Capsaicinoids and Physicochemical Characteristics of Manzano Hot Pepper Grown in Greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1).
- Popinigis, F. (1985). Fisiología da semente. 2ª ed. Brasilia. 289 p.
- Rahman, M. A., Halim, G. M. A., Chowdhury, M. G. F., Hossain, M. A., & Rahman, M. M. (2014). Changes in physicochemical attributes of sweet pepper (*Capsicum annum* L.) during fruit growth and development. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(2), 373-383.
- Reséndiz-Melgar, R. C., Moreno-Pérez, E. D. C., Castillo, S. D., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 16(3), 223-229.
- Rodríguez, G. F. A., & Sánchez, N. C. (2003). Arreglo topológico y su efecto en rendimiento y calidad de semilla de chile jalapeño. *Agricultura Técnica en México*, 29(1): 49-60.
- Rodoni, L. M., Hasperué, J. H., Ortiz, C. M., Lemoine, M. L., Concellón, A., & Vicente, A. R. (2016). Combined use of mild heat treatment and refrigeration to extend the postharvest life of organic pepper sticks, as affected by fruit maturity stage. *Postharvest biology and technology*, 117, 168-176.
- Rohlf, F. J. (1990). NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system.

- Romajaro, F., Madrid, M. M., & Pretil, M. T. (2007). Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. Dpto. Tecnología de Alimentos, CEBAS-CSIC, 91-6.
- Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275-289.
- Ruiz, C. J.A., Medina, G. G., González, A. I. J., Flores, L. H. E., Ramírez O. G., Ortiz T. C. y Martínez P. R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Ruiz, M. B., & Parera, C. A. (2017). Effect of harvesting time on seed quality of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum*). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 67-77.
- Salas, L. J. G., & Muñoz, L. E. P. (2010). Caracteres Agronómicos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) utilizando cuatro materiales de siembra y tres planes de fertilización. *Revista ESPAMCIENCIA*, 1(1): 1-6.
- Sánchez-Chávez, E., Torres-González, A., Flores-Córdova, M. A., Preciado-Rangel, P., y Márquez-Quiroz, C. (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova scientia*, 7(15), 227-244.
- Sánchez, D. C. F.; Escalante, E.R. (1989). Hidroponía: Un sistema de producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez, V. M., Sundstrom, F. J., McClure, G. N., & Lang, N. S. (1993). Fruit maturity, storage and postharvest maturation treatments affect bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seed quality. *Scientia Horticulturae*, 54(3), 191-201.
- Serrano, M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chemistry*, 118(3), 497-503.
- Singkaew, J., Miyagawa, S., Wongs-Aree, C., Vichitsoonthonkul, T., Sokaokha, S., & Photchanachai, S. (2017). Season, Fruit Maturity, and Storage Affect on the Physiological Quality of F1 Hybrid 'VTM580' Tomato Seeds and Seedlings. *The Horticulture Journal*, 86(1), 121-131.
- SAS Institute (2009). SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release. Cary, NY: Institute Inc., USA.
- Shewfelt, R. L., & Prussia, S. E. (2009). Postharvest handling: a systems approach. 2nd. Edition, *Food science and technology* (USA). 613 p.

- SIAP. (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola. México. (Consultada en junio de 2018.) http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/.
- Schwember, A. y Contreras, S. (2011). Mejoramiento vegetal su importancia para la producción agrícola. *Revista agronomía y forestal* no 42, 17-25.
- Soethe, C., Steffens, C. A., Mattos, L. M., Ferreira, N. A., & Mayer, D. M. (2016). Postharvest quality and functional compounds in "dedo-de-moça" BRS Mari'pepper fruit at different stages of maturity. *Ciência Rural*, 46(8), 1322-1328.
- Tadeo R., M., A. Espinosa C. 2004. Producción y Tecnología de Semillas. Ingeniería Agrícola, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, División de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, México. 106 p.
- Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Cárdenas-Marcelo, A. L. y Valdivia-Bernal, R. (2015). Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(1), 33-43.
- Takahashi, M., Arakaki, M., Yonamine, K., Hashimoto, F., Takara, K., & Wada, K. (2018). Influence of Fruit Ripening on Color, Organic Acid Contents, Capsaicinoids, Aroma Compounds, and Antioxidant Capacity of Shimatogarashi (*Capsicum frutescens*). *Journal of oleo science*, 67(1), 113-123.
- Temiyakul, P., Taylor, P. W., & Mongkolporn, O. (2012). Differential fruit maturity plays an important role in chili anthracnose infection. *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 22(3), 494-504.
- Thanopoulos, C., Bouranis, D., & Passam, H. C. (2013). Comparative development, maturation and ripening of seedless and seed-containing bell pepper fruits. *Scientia horticulturae*, 164, 573-577.
- Thomson, J. R. (1979). Introducción a la tecnología de las semillas. Ed. Acribia Impreso en Zaragoza España. 301 p.
- Tsegay, D., Tesfaye, B., Mohammed, A., & Yirga, H. (2013). Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under passive refrigeration system. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*, 4(7), 98-104.
- Urrestarazu, M., Castillo, J., Salas, M., & Carmen, D. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura*, 159, 18-26.
- Vallejo, D. H. L., Ramírez, D. J. L., Chuela B. M. y Ramírez Z. R. (2008). Manual de Producción de Semilla de Maíz. Estudio de Caso. Folleto Técnico Núm. 14. Campo Experimental Uruapan. INIFAP, CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 96 p.

- Valdés, V., Anguita P., Ulriksen C. (1992). Efecto de madurez de los frutos de pimiento (*Capsicum annuum*) sobre la calidad de la semilla. *Ciencia e investigación agraria* 19 (1-2):3-7.
- Vázquez, G. E., Ramírez, M. M., Mata, V. H., Ariza, F. R., y Alia T. I. (2010). Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Revista fitotecnía mexicana*, 33(SPE4), 79-82.
- Velásquez, J., Monteros, A., y Tapia, B. (2008). Semillas, tecnología de producción y conservación. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Producción de Semillas. INIAP. Quito, Ecuador. 134 p.
- Vidigal, D. D. S., Dias, D. C. F. S., Pinho, E. V. R. V., & Dias, L. D. S. (2009). Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 31(2), 129-136.
- Vidigal D. D., Cunha F. D., Dos Santos D. L. A., Luiz F. F. (2011). Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Sci. Agric.* 68 (5): 535-539
- Wills, R., Mcglasson, B., Graham, D., Joyce D. (1998). Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. 260 p.
- Yadav, R. K., Goyal, R. K., & Dhankar, S. S. (2014). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Haryana Agricultural University. 53 p.
- Zapata, N. M., Bañón A. S., y Cabrera, F. P. (1992). El pimiento para pimentón. Ediciones mundiprensa Madrid España. 235 p.