SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Tecnológico Nacional de México

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

INFLUENCIA DEL ESTADO DE MADUREZ DEL FRUTO SOBRE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE CHILE HABANERO

TESIS

Que presenta:

Carlos David Hernández Pinto

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. René Garruña Hernández

Conkal, Yucatán, México

Junio, 2017

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 30 de Mayo de 2017.

El comité de tesis del candidato a grado: **Carlos David Hernández Pinto**, constituido por los CC. René Garruña Hernández, Manuel Jesús Zavala León, Rubén Humberto Andueza Noh y Alfonzo Pérez Gutiérrez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Influencia del estado de madurez del fruto sobre la calidad fisiológica de semillas de chile habanero**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. René Garruña Hernández
Director de Tesis

MC. Manuel Jesús Zavala León
Co-director de Tesis

Dr. Rubén Humberto Andueza Noh
Asesor de Tesis

MC .Alfonzo Pérez Gutiérrez
Asesor de Tesis

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Conkal, Yucatán a 30 de Mayo de 2017

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Carlos David Hernández Pinto

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría.

A mi comité de tesis conformado por el Dr. René Garruña Hernández, MC. Manuel Zavala León, Dr. Rubén Humberto Andueza Noh y MC. Alfonzo Pérez Gutiérrez por sus valiosas aportaciones, conocimientos, objetividad, sabios consejos y sobre todo por su tiempo y honestidad, los cuales permitieron la realización de la presente investigación.

Al MC. Manuel Zavala por su disponibilidad y por motivarme a continuar con mi formación profesional, por su conocimiento y apoyo para la realización de la presente investigación.

Al Dr. René Garruña por su tiempo, consejos y conocimientos que fueron de gran aportación.

A la Dra. Aurelia López por las facilidades y su apoyo en la realización de las pruebas de laboratorio.

A mis padres Honorina Pinto Chale y Bernardino R. Hernández y Balam por su apoyo incondicional, consejos y motivación para seguir adelante en las metas de mi vida.

A mis amig@s Milca, Nivardo, Rodrigo, Yomara y compañeros por el apoyo incondicional, consejos, paciencia por los grandes y buenos momentos que hicieron de esta experiencia más especial.

Al Instituto Tecnológico de Conkal y al INIFAP campo experimental Mococha por las facilidades prestadas para la realizar la investigación

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....i

INDICE DE CONTENIDO.....ii

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....iv

RESUMEN.....v

ABSTRACT.....vi

1 CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....1

1.1 INTRODUCCIÓN.....1

1.2 ANTECEDENTES.....2

1.2.1 La semilla.....2

1.2.2 Estructura de la semilla.....2

1.2.3 Composición de la semilla.....4

1.2.4 Germinación.....5

1.2.5 Factores que afectan la germinación.....6

1.2.6 Latencia de semillas.....6

1.2.7 Madurez del fruto y calidad de semilla.....7

1.3 HIPÓTESIS.....8

1.4 OBJETIVOS.....9

1.4.1 Objetivo General.....9

1.4.2 Objetivos Específicos.....9

1.5 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.....9

1.6 LITERATURA CITADA.....10

2 CAPITULO II ALMACENAMIENTO POSTCOSECHA DE FRUTOS: UNA ALTERNATIVA PARA AUMENTAR LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.).....14

2.1 RESUMEN.....14

2.2 INTRODUCCIÓN.....15

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....15

2.3.1 Material vegetal y manejo agronómico.....15

2.3.2 Obtención de las semillas.....16

2.3.3 Variables evaluadas.....16

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
2.4.1 Contenido de humedad 18
2.4.2 Conductividad eléctrica 18
2.4.3 Cinética y tasa de germinación 19
2.4.4 Cinética y tasa de emergencia 22
2.4.5 Tasa de crecimiento relativo 24
2.5 CONCLUSIÓN 29
2.6 LITERATURA CITADA 30

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Conductividad eléctrica de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obtenidas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M), almacenados por 1, 7 y 14 días y evaluadas a los 2, 6 y 10 meses……..... 19

Cuadro 2. Tasa de germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obtenidas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M), almacenados por 1, 7 y 14 días y evaluadas a los 2, 6 y 10 meses……. 20

Cuadro 3. Tasa de emergencia (plántulas d^{-1}) de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sembradas a los 2, 6 y 10 meses después de ser extraídas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M), almacenados durante 1, 7 o 14 días postcosecha…….. 24

Cuadro 4. Tasa de crecimiento relativo con base en longitud radicular (TCRLR) de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obtenidas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M), almacenados por 1, 7 y 14 días y evaluadas a los 2, 6 y 10 meses…… 27

Figura 1. Germinación acumulada de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sembradas a los A) 2, B) 6 y C) 10 meses después de ser extraídas de frutos verdes, pintos y maduros, almacenados durante 1, 7 y 14 días postcosecha. Los datos son medias. *= diferencia estadística significativa (ANDEVA, $p \leq 0.05$)……..... 21

Figura 2. Emergencia acumulada de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sembradas a los A) 2, B) 6 y C) 10 meses después de ser extraídas de frutos verdes, pintos y maduros, almacenados durante 1, 7 y 14 días postcosecha. Los datos son medias. *= diferencia estadística significativa (ANDEVA, $p \leq 0.05$)……..... 23

Figura 3. Longitud radicular de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a los A) 2, B) 6 y C) 10 meses después de la extracción de la semilla. Los datos son medias. * = diferencia estadística significativa (ANDEVA)……..……. 26

Figura 4. Longitud radicular de plántulas de chile habanero provenientes de semillas extraídas de frutos verdes, pintos y maduros almacenados por 1(V1, P1 y M1), 7 (V7, P7 y M7) Y 14 (V14, P14 y M14) días respectivamente…….…… 28

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad fisiológica de semillas de chile habanero con relación a la madurez y el almacenamiento postcosecha de frutos. Se almacenaron frutos por periodos de 1, 7 y 14 días postcosecha a los cuales se les extrajo las semillas después de transcurrir el período de almacenamiento correspondiente. La evaluación de semillas se realizó a los dos, seis y diez meses de estar almacenadas. En la cinética de germinación las semillas de frutos almacenados por 14 días (V14, P14 y M14) germinaron por arriba del 90%. En el porcentaje de emergencia la semilla de frutos con almacenamiento por 14 días presentaron los mayores porcentajes por encima del 85%. A los 10 meses de evaluación todos los tratamientos con excepción del V1 presentaron una mayor longitud radicular superior a los 4.6 cm. En general la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR_{LR}) incremento con relación a la madurez del fruto y al almacenamiento de la semilla. En el contenido de humedad no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. La conductividad eléctrica de las semillas disminuyo significativamente cuando los frutos eran almacenados por 14 días. En general el almacenamiento postcosecha de los frutos y el almacenamiento de la semilla mejoro los atributos fisiológicos de las semillas manteniendo su viabilidad hasta por un período de diez meses.

Palabras clave: *Capsicum chinense* Jacq., almacenamiento, viabilidad.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate physiological quality of habanero pepper seeds in relation to maturity and post - harvest storage of fruits. Fruits were stored for periods of 1, 7 and 14 days postharvest to which the seeds were extracted after the corresponding storage period. Seed evaluation was carried out after two, six and ten months of storage. The seeds of fruits stored for 14 days (V14, P14 and M14) registered the highest emergence percentages above 85% and above 90% germination. All treatments presented root length greater than 4.6 cm after 10 months of storage, with the exception of V1. In general the Relative Growth Rate (TCR_{LR}) increased in relation to fruit maturity and seed storage. With respect to moisture content, statistically no significant differences were found between treatments. The electrical conductivity of the seeds decreased significantly when the fruits were stored for 14 days. In general, post-harvest storage of fruits and seeds improved the physiological attributes of the seeds, thereby maintaining their viability for up to ten months.

Key words: *Capsicum chinense* Jacq., storage, viability.

1 CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

En México el cultivo de chile habanero *Capsicum chinense* Jacq. es de gran importancia, esto se debe a que se utiliza en fresco, industrializado en salsas, en polvos y como productos farmacéuticos y cosméticos. Esta especie es mundialmente reconocida por su grado de pungencia (Salazar y Silva, 2004). Durante el año 2015 la superficie de siembra en la península de Yucatán fue de 314.54 hectáreas, con una producción de 3,520 toneladas (SIAP, 2015), Debido a lo anterior, el aumento en la demanda de chile habanero a nivel nacional e internacional incrementó la demanda de semillas de calidad para garantizar un cultivo exitoso. Sin embargo, las semillas del género *Capsicum* presentan problemas de latencia, una característica genética-ambiental que torna lenta la germinación y emergencia, lo que afecta el establecimiento del cultivo en el campo (Bosland y Botava, 1999). Esta problemática depende del estado de madurez del fruto, es decir, frutos cosechados en fase inmadura producen semillas de baja calidad, mientras que los frutos cosechados en estado maduro producen semillas de mayor calidad (Sayed y Essam, 1952).

Algunos estudios demostraron que la maduración del fruto y el tiempo de reposo postcosecha afecta la germinación. En este sentido, almacenar los frutos de pimiento durante 7 días postcosecha incrementó la tasa de germinación y el vigor de las semillas (Santos *et al.*, 2014). Así mismo, el almacenamiento de frutos por al menos siete días disminuyó la latencia en las semillas de *C. chinense* (Dos Santos *et al*. 2016) y mejoró los atributos fisiológicos en *C. annuum* (Zavala *et al*. 2015).

La calidad en las semillas de chile habanero disminuye significativamente durante su almacenamiento, esto se atribuye a diversos factores, como el estado de desarrollo del fruto, la madurez del embrión y las condiciones de almacenamiento. La calidad de las semillas comprende aspectos genéticos, fitosanitarios, físicos y fisiológicos, donde se incluyen la viabilidad, la capacidad germinativa y el vigor (Ayala *et al.*, 2012; Garruña *et al.*, 2014).

González (1994) define la calidad fisiológica como la capacidad de la semilla para germinar, emerger y originar plantas uniformes y vigorosas. Por lo tanto, semillas de

calidad producen plantas fuertes, uniformes y saludables, con mejor crecimiento y desarrollo en el campo (Doijode, 2001).

Por todo lo mencionado, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la madurez y del almacenamiento postcosecha de los frutos sobre la calidad fisiológica en semillas de chile habanero.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 La semilla

La semilla de las plantas angiospermas se origina de la doble fecundación y se define como un óvulo maduro que consta principalmente de un embrión y de reservas nutritivas, ambos protegidos por una cubierta seminal. Los nutrientes contenidos en la semilla proveen al embrión de los requerimientos necesarios para mantenerse vivo durante la germinación, para reanudar el crecimiento hasta el momento donde sus primeras hojas puedan fotosintetizar. La principal función de la semilla es la generación de un nuevo organismo para perpetuar la especie. (Desai *et al*., 1997; Esau, 1987).

1.2.2 Estructura de la semilla

Las semillas de chile en general tienen una forma aplastada hemidiscoidal, en donde el hilio se localiza en el lado más recto y tienen la superficie relativamente lisa sin aspecto pubescente (Nuez *et al*., 2003). Está compuesta por: (1) el embrión, resultado de la fertilización del núcleo de la célula del huevo en el saco embrionario por uno de los núcleos masculinos del tubo polínico; (2) el endosperma, que surge de la fusión de dos núcleos polares de la célula central en el saco embrionario con el otro núcleo del tubo polínico; y (4) la testa (capa de semilla), formada a partir de uno o ambos integumentos internos o externos alrededor del óvulo (Bewley *et al*., 2013).

El embrión: se compone del eje embrionario y uno o más cotiledones. El eje se compone de la raíz embriónica (radícula), el hipocótilo al que están unidos los cotiledones

y el ápice del brote con el primer primordio de la hoja verdadera. Las formas de los embriones y sus tamaños en relación con otras estructuras dentro de la semilla son variables (Bewley *et al*., 2013).

Endosperma: las semillas pueden clasificarse como endospérmicas o no endospérmicas en relación con la presencia o ausencia en la semilla. Constituyen la principal fuente de reservas, regulan el equilibrio hídrico del embrión durante la germinación y proporcionar reservas que se utilizan para el crecimiento temprano de plántulas (Bewley *et al*., 2013).

La testa: es la única barrera protectora entre el embrión y el ambiente externo. La naturaleza protectora de la capa de semilla puede atribuirse a la presencia de una cutícula externa e interna, a menudo impregnada con sustancias grasas y cerosas (por ejemplo, suberina), y una o más capas de células protectoras de paredes gruesas (Bewley *et al*., 2013).

La formación de las estructuras de las semillas y la adquisición de otras características se dividen en tres fases durante su desarrollo: i) histodiferenciación, ii) acumulación de reservas y iii) adquisición de tolerancia a la desecación. En cada uno de estos estados se incluye una serie de reacciones a nivel celular que determina el inicio y la conclusión de los procesos mediante la activación o silenciamiento de genes (Taiz y Zeiger, 2010). La histodiferenciación ocurre inmediatamente después de la polinización, cuando el óvulo se activa para iniciar el desarrollo de las principales estructuras de la semilla: el embrión, el endospermo y las cubiertas seminales. El crecimiento inicial se debe a la división y al alargamiento celular que se completan en los primeros días de su formación (Bradford, 2004).

Seguido a este crecimiento, se presenta la acumulación de reservas en órganos de almacenamiento; esto disminuye el contenido de humedad debido a que los materiales de reserva sustituyen el agua de las células (Bradford, 2004). El contenido de agua declina en proporción con la acumulación de la materia seca, la cual resulta en un incremento de reservas pero ya sin presentarse incremento en el tamaño seminal (Blasiak *et al*., 2006). No existe conexión simplástica entre la cubierta seminal y el embrión ni el endospermo; por lo tanto, los tejidos embrionarios reciben todos los nutrientes vía apoplástica. Los compuestos específicos acumulados por las semillas varían entre especies, pero se agrupan

generalmente en carbohidratos, lípidos y proteínas (Patrick y Offler, 2001; Taiz y Zeiger, 2010).

La tolerancia a la desecación está dada por la síntesis de proteínas y azucares específicos que aunque se sintetizan durante las fases iniciales del desarrollo cuando el contenido de ácido abscísico es aún elevado, su acumulación se acelera durante la deshidratación, alcanzando el máximo en la madurez. A este conjunto de proteínas cuya función es proteger al embrión de la desecación se les conoce como proteínas abundantes en embriogénesis tardía (LEA Late Embryogenesis Abundant).

1.2.3 Composición de la semilla

Las semillas están compuestas principalmente de almidón principal carbohidrato almacenado, acumulado intracelularmente en gránulos. Otros carbohidratos almacenados son la hemicelulosa en las paredes celulares, en semillas maduras es común encontrar sacarosa, rafinosa, estaquiosa y otros azucares no reducidos como glucosa y fructosa. Estos carbohidratos se utilizan durante la respiración temprana seguida de la imbibición pero también juegan un papel importante en la tolerancia a la desecación y mantenimiento de la longevidad durante el almacenamiento (Obendorf, 1997; Peterbauer y Richter, 2001)

También se encuentran proteínas entre las cuales destacan las proteínas LEA´s, estas se caracterizan por componerse de aminoácidos hidrofílicos que las hacen solubles en agua y resistentes a la desnaturalización causada por altas temperaturas. Se han encontrado estas proteínas en otros órganos de la planta como respuesta a estrés ambiental y a la acumulación de ácido abscísico; esto sugiere que actúan en el mantenimiento de la conformación de la membrana celular durante la deshidratación (Bewley y Black, 2000; Bradford, 2004).

En semillas de chile dulce se observó la ausencia de LEA’s en los estados iniciales de madurez de la semilla 40 dias después de antesis (dda) (Vidigal *et al*., 2009). Sin embargo, estas proteínas se expresaron con poca intensidad en semillas obtenidas de frutos cosechados 50 dda y almacenados por 12 días. A los 60 y 70 dda, las proteínas se acumularon en mayores cantidades indicando que su acumulación ocurre después del

estado de maduración del fruto, momento en que la semilla inicia con la adquisición de tolerancia a la desecación (Vidigal *et al*., 2009).

1.2.4 Germinación

La germinación es una serie de eventos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que permiten que la nueva planta se establezca y complete su ciclo de vida. Morfológicamente, es la transformación de un embrión en una plántula, que inicia con la protrusión de la radícula. Fisiológicamente, es la reactivación del crecimiento de un embrión, el cual fue suspendido durante la desecación de la semilla. Bioquímicamente, es la diferenciación secuencial de las vías metabólicas tanto oxidativas como sintéticas (Bernal, 1994). Palacios-Román (2000) indica que durante el crecimiento hay una aceleración en el metabolismo, en la germinación se incrementa la respiración debido a que el embrión requiere de nutrientes suficientes que obtiene por medio de la movilización de las reservas alimenticias contenidas en el endospermo, para atender el aumento en la actividad metabólica. La germinación tiene tres fases principales:

Imbibición: Es la absorción de agua por las semillas, es el principal paso en la germinación. La hidratación de los tejidos de la semilla es un proceso físico con una duración variable según la especie. Esta se requiere para la reanudación del metabolismo y la iniciación de eventos celulares que conducen a la aparición de radículas (Besnier 1989).

Desdoblamiento de reservas: Durante esta etapa tiene lugar una activación generalizada del metabolismo de la semilla, lo cual es esencial para que se desarrolle la última fase del proceso de germinación, la fase de crecimiento. Los compuestos de reserva que se encuentran en las semillas son glúcidos, proteínas y lípidos, en mayor o menor proporción según la especie considerada. La movilización de estas reservas, durante la germinación, es un proceso esencial que permite la supervivencia de la semilla hasta que la plántula se desarrolla lo suficiente como para poder realizar la fotosíntesis (Besnier 1989).

La hidrólisis previa del almidón es imprescindible para obtener, a partir de las moléculas de glucosa que lo constituyen, la energía necesaria para la activación del metabolismo de la semilla. El proceso se inicia con la liberación por el embrión de giberelinas, hormonas

vegetales que determinan la síntesis de los enzimas responsables de la degradación del almidón (Besnier 1989).

Protrusión radicular: Es la culminación de la germinación, cuando se produce el crecimiento y emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales (Besnier 1989).

1.2.5 Factores que afectan la germinación

El primer requerimiento para que ocurra la germinación de la semilla viable y sin latencia, es la disponibilidad de agua para que los tejidos seminales se rehidraten y reactiven su metabolismo. Debido a que la respiración depende del nivel de hidratación, es importante que haya suficiente humedad disponible para que se pueda sostener el crecimiento del embrión (Berrie, 1984; Palacios-Román, 2000). El embrión absorbe agua rápido y de forma continua, la velocidad de hidratación varía según la especie, permeabilidad del tegumento, disponibilidad de agua, temperatura, presión hidrostática, área de contacto semilla-agua, fuerzas intermoleculares, composición química y condición fisiológica (Bewley y Black, 1994). Una semilla madura tiene el porcentaje de humedad necesario para mantenerse viva con mínima actividad, pero una vez que se coloca a imbibición se reactiva su metabolismo y aumenta el consumo de oxígeno por respiración (Sayed y Essam 1952).

1.2.6 Latencia de semillas

La latencia es un estado que no permite a la semilla germinar aun cuando tenga condiciones favorables para hacerlo (Cano, 2013). La germinación puede ser eliminada o interrumpida mediante la adición de factores específicos (hormonales, térmicos, osmóticos, etc.). El rompimiento de la latencia en condiciones naturales puede ocurrir de manera gradual en semanas, meses o años, dependiendo de la especie y su grado de domesticación (Desai *et al*., 1997; Lambers *et al*., 2008).

La latencia de la semilla es un factor importante en la adaptación de las plantas a ambientes desfavorables, donde el ABA juega un rol importante como inductor del estado latente. Se reconocen dos tipos de latencia en la semilla: la causada por la cubierta seminal y la intrínseca. La latencia causada por la cubierta seminal incluye al endospermo,

pericarpio u órganos extra florales que retrasan la germinación, de modo que el embrión puede germinar hasta que los tejidos que rodean al embrión son removidos o dañados y se favorece el ingreso de agua y oxígeno.

Se conocen cinco tipos de latencia por la cubierta seminal (Hartmann et al., 1990; Taiz y Zeiger, 2010):

1. Prevención del ingreso de agua.

2. Restricción mecánica, donde la cubierta seminal impide el paso de la radícula, y para que la semilla germine es necesaria la acción de enzimas que degraden la pared celular del endospermo.

3. Interferencia con el intercambio de gases. La cubierta seminal impide el ingreso de oxígeno al embrión.

4. Retención de inhibidores. La cubierta impide la salida de los inhibidores de la semilla.

5. Acumulación de inhibidores. Las cubiertas de la semilla y pericarpio pueden contener concentraciones relativamente altas de inhibidores, como ABA, los que pueden suprimir la germinación del embrión.

El segundo tipo de latencia es la intrínseca del embrión, debido a la presencia de ABA o la ausencia de AG, por lo que la latencia se perderá si la relación AG:ABA se incrementa. En la naturaleza hay semillas que al separarse de la planta madre ya presentan latencia, a esto se le denomina latencia primaria, también hay semillas que al separarse de la planta madre ya están listas para germinar pero al encontrar condiciones ambientales desfavorables entran a un estado de latencia, a la cual se le llama latencia secundaria (Hartmann *et al*., 1990; Taiz y Zeiger, 2010).

1.2.7 Madurez del fruto y calidad de semilla

Cosechar frutos y almacenarlos por un período de reposo, de una a seis semanas después de cosechados permite completar la madurez fisiológica y alcanzar la óptima calidad, reflejado en el máximo potencial de germinación. Existe correlación entre la madurez del fruto y la semilla, el grado de madurez del fruto al momento de la cosecha y el tiempo de

reposo postcosecha del mismo afectan la calidad de las semillas (Edwards y Sundstrom, 1987; Vidigal *et al*. 2009). Sánchez *et al*. (1993) concluyen que los frutos de pimientos se deben cosechar maduros y después almacenarse por un tiempo breve, con el objeto de alcanzar la más alta germinación.

Se ha demostrado que cosechar frutos verdes y almacenarlos por 28 días permite la completa formación y una mayor calidad fisiológica en semillas de jalapeño (Ricci *et al*. 2013). De igual manera Ferreira *et al*., (2010) mencionan que la mayor calidad fisiológica de semillas de habanero fue de frutos cosechados completamente maduros y almacenados durante 7 días postcosecha, los valores más altos de germinación y vigor se registraron de semillas secadas a 35°C. Martínez (2014) cosechó frutos de chile Ancho y Guajillo a los 120 días postantesis y los almacenó durante 14 días, de esta manera mejoró la germinación con más del 93%. La permanencia de las semillas dentro del fruto de *Capsicum annum* por 14 días después de haber sido cosechado permite la oclusión normal de los tejidos conectivos con el resto del fruto, sin dañar las cualidades de las semillas (Carrillo *et al*., 2009).

La calidad de semillas es un factor que define el éxito o la falla de un cultivo, implica un conjunto de atributos que contribuyen al establecimiento de la planta en campo, en donde los factores genéticos, sanitarios, físicos y fisiológicos se definen como los más importantes (Bewley y Black, 2000). Las semillas maduras tienen un mejor comportamiento durante su almacenamiento, esto coincide con el cambio de color del fruto en algunos tipos de chile. Los frutos cosechados temprano producen semillas de baja calidad, con baja viabilidad y vigor, mientras que las semillas extraídas de frutos maduros presentan mayor germinación y vigor más alto en plántulas. Además, pueden ser almacenadas por más tiempo bajo condiciones controladas (Doijode, 2001).

1.3 HIPÓTESIS

La maduración de los frutos y el tiempo de almacenamiento postcosecha, incrementan la germinación de las semillas, así como la emergencia y la calidad de plántulas de chile habanero.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad fisiológica de semillas de chile habanero con relación a la madurez y el almacenamiento postcosecha de frutos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el porcentaje y tasa de germinación, contenido de humedad y conductividad eléctrica de las semillas con relación a la madurez y el almacenamiento postcosecha en los frutos de chile habanero.
- Evaluar el porcentaje y tasa de emergencia, longitud de la radícula y TCR_{LR} en plántulas de chile habanero con relación a la madurez y el almacenamiento postcosecha en frutos de chile habanero.

1.5 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

Se sembraron semillas de chile habanero variedad Mayapán en charolas de poliestireno, se utilizó Peat Moss (Sunshine Peat Moss México, Distrito Federal, México) como sustrato, las plántulas se trasplantaron 35 días después de la siembra en las parcelas de investigación del INIFAP, Campo Experimental Mocochá. Al comienzo de la floración se marcaron flores en antesis con la finalidad de determinar el momento exacto de la cosecha de los frutos para los tratamientos. Se cosecharon frutos en tres estados de madurez: verdes (28 dpa), pintos (35 dpa) y maduros (40 dpa). Los frutos cosechados de cada estado de madurez se dividieron en 3 lotes y en tres tiempos de almacenamiento (1, 7 y 14 días postcosecha) a una temperatura de 25°C y una humedad relativa de 60%. Cuando los frutos cumplieron los días de almacenamiento postcosecha se extrajeron las semillas de manera manual, las cuales se seleccionaron con el método de flotación, las semillas no vanas se conservaron y se desinfectaron con cloro al 2% por 3 minutos, se enjaguaron con agua destilada y se dejaron secar hasta que las semillas alcanzaron una humedad entre el 6 y 10% (Copeland y McDonald, 2001, SNICS, 2014). Después se empaquetaron en bolsas de polietileno selladas al alto vacío y se refrigeraron a 7°C hasta el momento de la evaluación (2, 6 y 10 meses). Se evaluó el contenido de humedad, la conductividad eléctrica, la germinación, la

tasa de germinación, la emergencia, la tasa de emergencia, la longitud radicular y la tasa de crecimiento relativa de la longitud radicular (TCR_{LR}).

1.6 LITERATURA CITADA

Ayala V., M. J. 2012. Análisis de crecimiento y calidad de semillas de tres tipos de chile (Capsicum annuum L.). Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco Estado de México. 78p

Bernal, L. I. 1994. Aspectos Bioquímicos de la Germinación y el Deterioro. Departamento de Bioquímica Vegetal. Facultad de Química.UNAM. México. 108 p.

Berrie, A. M. M. 1984. *Germination and dormancy*. In M. B. Wilkins (Ed.), Advanced Plant Physiology (pp. 514). Great Britain: Pitman Publishing.

Besnier Romero, F. 1989. Semillas. Biología y Tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 637 p.

Bewley, J. D and M. Black. 2000. *Seed Technology and its Biological Basis.* Sheffield Academic Press Ltd. Sheffield, England. 419 p.

Bewley, J. D., and M. Black. 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press. USA. 357 p.

Bewley, J., Bradford, K., Hilhorst, H., Nonagaki, H. 2013. *Physiological of development, germination and dormancy.* Tercera edición.

Blasiak, J.; A. Kuang; C. S. Farhangi and M. E. Musgrave. 2006. *Roles of intra- fruit oxygen and carbon dioxide in controlling pepper (Capsicum annuum L.) seed development and storage reserve deposition*. Journal of the American Society for Horticultural Science 131(1):164-173.

Bosland, P.W.; Votava, E.J. 1999. *Peppers: vegetable and spice capsicums*. Wallingford: CAB international, 1999. 204p.

Bradford, K. J. 2004. *Seed Production and Quality.* Department of Vegetable Crops. University of California. Davis, California, U.S.A. 134 p.

Cano, M., 2013. Germinación en se milla de chile piquin (*Capsicum annum* var. Aviculare). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Pp 13

Carrillo, E., Mejía, J., Carballo, A., García, G., Aguilar, V. y Corona, T. 2009. Calidad de semilla en colectas de chile de agua (capsicum annuum l.) de los valles centrales de Oaxaca, México. Agricultura Técnica en México Vol. 35 Núm.3 p. 257-266.

Copeland, O. L. and McDonald, M. B. 2001. *Principles of seed science and technology.* 3rd ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.

Desai, B. B., P. M. Kotecha, and D. K. Salunkhe. 1997. *Chap. 2. Seed Morphology and Development. In: Seeds Handbook. Biology, Production, Processing and Storage.* (pp. 7-28). USA: Marcel Dekker Inc.

Doijode, S. D. 2001. *Seed Storage of Horticultural Crops*. Haworth Press. New York, USA. 339 p.

Dos santos, H. O., Mangussi. S., Walace, R., De Oliveira Pires, R. M., De Resende Von Pinho, E., Franco Da Rosa, S. D., Moreira De Carvalho, M. L. 2016. *Physiological quality of habanero pepper (Capsicum Chinense) sedes base don development and drying process.* African Journal of Agricultura. Vol. 11 (12), pp. 1102-1109.

Edwards R. L. and F. J. Sundstrom. 1987. *Afterripening and harvesting effects on Tabasco pepper seed germination performance.* HortScience 22:473-475.

Esau, K. 1987. Anatomía de las plantas con semilla. Hemisferio Sur. Argentina. 512 p.

Ferrreira, L., Vilela de Resende, E., Oliveira, J., Ferreira, V., Oliveira, B., Rosa, B. 2010. Época de colheta e secagem na qualidade de sementes de pimienta habanero yellow. Revista Brasileira de Sementes, vol. 33, nº 3 p. 472 – 481.

Garruña-Hernández R., **Latournerie-Moreno L.**, **Ayala-Garay** O. **Santamaría J.**, **Pinzón-López L. 2014.** Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinens*e Jacq.). Agrociencia. 48:420-422.

González H., N. 1994. Influencia del tamaño de semilla sobre la calidad fisiológica de la simiente de frijol (*Phaseolusvulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 56 p.

Hartmann, H. T., D. E. Kester, and F. T. J. Davies. 1990. *Plant Propagation. Principles and Practices.* Prentice Hall. USA. 647 p.

Lambers, H., F. S. Chapin, and T. L. Pons. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer. USA. 604 p.

Martínez, M. 2014. Cinética del desarrollo de caracteres fisiológicos durante la madurez de la semilla de *Capsicum annum* L. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados.

Nuez, F., R. Gil Ortega y J. Costa. 2003. El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones Mundi-Prensa Madrid-España. 586 p.

Obendorf, R. L. 1997. *Oligosaccharides and galactosyl cyclitols in seed desiccation tolerance.* Seed Science Research 7:63-74.

Palacios Román, R. 2000. Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. Journal of de Mexican Chemical Society 44(3): 233-236.

Patrick, J. W. and C. E. Offler. 2001. *Compartmentation of transport and transfer events in developing seeds.* Journal of Experimental Botany 52:551-564.

Peterbauer, T and A. Richter. 2001. *Biochemistry and physiology of raffinose family oligosaccharides and galactosyl cyclitols in seeds.* Seed Science Research 11:185-197.

Ricci, N., Pacheco, A., Sfordi, A., Castilho, C. 2013. Quilidade de sementes de pimienta jalapenho en funcao da maturacao e tempo de permanencia nos frutos. Facultad de ciencias agrarias. Pp 123-129.

Salazar-Olivo, L. A. y C. O. Silva-Ortega. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. Biología Scripta 1: 7-14

Sánchez, V. M., F. J. Sundstrom, G. N. McClure and N. S. Lang. 1993. *Fruit maturity, storage and postharvest treatments affect bell pepper (Capsicum annuum L.) seed quality.* Scientia Horticulturae, 54:191-201.

Santos, H. O., Von Pinho, E., Von Pinho, I., Dutra, S., Andrade, T., Guimaraes, R. 2014. *Physiological quality and gene expression during the development of habanero pepper (Capsicum Chinense Jacquin) sedes.* Genetics and Molecular Research, pp. 5085-5098.

Sayed M. S. and M. Essam. 1952. *Viability of seeds harvested from fruits at different stages of maturity*. Proceedings of American Society for Horticultural Science 60:327-329.

SIAP 2015. Anuario de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

SNICS 2014. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology.* 5th Ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. 764 p.

Vidigal D. S., D. C. F. S. Dias, E. R. V. Von Phino and L. A. S. Dias 2009. *Sweet pepper seed quality and lea-protein activity in relation to fruit maturation and post-harvest storage.* Seed Science and Technology 37:192-201.

Zavala, M.J., Hernández Pinto, D., Vázquez, M., Hernández Pinto J., López, A., Baeza, J.J. 2015. Almacenamiento postcosecha de frutos como mecanismo para mejorar la calidad fisiológica de las semillas de dulce e x´catik (*Capsicum annum* L.). XVIII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, pp 1028-1035.

2 CAPITULO II ALMACENAMIENTO POSTCOSECHA DE FRUTOS: UNA ALTERNATIVA PARA AUMENTAR LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

2.1 RESUMEN

El chile habanero es un cultivo rentable y de gran importancia en México. Sin embargo, uno de sus principales problemas es que sus semillas pierden viabilidad en periodos relativamente cortos, esto se atribuye a diversos factores, como el estado de madurez del fruto, el proceso de extracción y la selección de las semillas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue identificar la etapa de madurez del fruto más apropiada para obtener las semillas de mayor calidad y determinar si el tiempo de almacenamiento postcosecha de los frutos afecta los parámetros de germinación y emergencia. Se establecieron plántulas de chile habanero en las parcelas del INIFAP, se marcaron flores en antesis para determinar el momento exacto de cosecha de los frutos, se cosecharon frutos en tres diferentes estados de madurez (verdes: 28 dpa, pintos: 35 dpa y maduros: 40 dpa), los frutos se almacenaron por 1, 7 o 14 días antes de extraerles las semillas, las semillas se extrajeron manualmente y se seleccionaron por flotación, se desinfectaron con cloro al 2% durante tres minutos y se secaron hasta alcanzar una humedad del 6 al 12%. Se evaluó el contenido de humedad, la germinación y la emergencia, la conductividad eléctrica y la longitud radicular de las plántulas. En los frutos verdes almacenados por 14 días disminuyó 67% la conductividad eléctrica, incrementó 81% la germinación y 88% la emergencia de plántulas y aumentó 50% la longitud radicular en comparación con los frutos verdes almacenados por 1 día. En la mayoría de las variables las semillas cosechadas de frutos verdes almacenados por 14 días tuvieron valores muy similares a las de frutos pintos almacenados 14 días y maduros almacenados a los 7 y 14 días. Con el almacenamiento postcosecha de frutos los embriones alcanzaron su madurez, lo que aumentó sus atributos fisiológicos.

Palabras clave: *Capsicum chinense* Jacq., conductividad eléctrica, emergencia de plántulas, semillero.

2.2 INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es uno de los cultivos de mayor importancia social y económica en la Península de Yucatán, debido a la mano de obra e ingresos que genera su siembra. Por estas y otras razones, en 2010, el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual otorgó la denominación de origen "Chile habanero de la Península de Yucatán", lo que trajo una mayor demanda tanto de fruto fresco como industrializado. Sin embargo, uno de los problemas de este cultivo reside en la semilla, que presenta problemas de latencia, una característica genética-evolutiva que produce germinación errática y emergencia desuniforme (Garruña *et al*., 2014), atribuido a factores como la madurez del fruto, posición del fruto en la planta, sustancias inhibidoras en la cubierta de la semilla (Randle and Honma, 1981). Otros factores como el proceso de extracción, contenido de humedad de la semilla y la selección de la semilla, provocan alteraciones fisiológicas y bioquímicas que influyen en la calidad fisiológica de la semilla y de las plántulas (Doijode, 2001; Vidigal *et al*., 2009). Algunos estudios en el género *Capsicum* demostraron que la maduración del fruto a la hora de extraer la semilla afecta positiva o negativamente la germinación (Zavala *et al*., 2013). Cosechar frutos y almacenarlos un tiempo antes de extraer la semilla permite completar la madurez del embrión, lo que incrementa la germinación y el vigor de la semilla (Barbedo *et al*., 1994; Dias *et al*., 2006; Vidigal *et al*., 2006; Zavala *et a*l., 2015; Dos Santos *et* al., 2016). Con base en lo mencionado, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la madurez y del almacenamiento postcosecha de frutos sobre la calidad fisiológica de semillas de chile habanero y superar la latencia.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Material vegetal y manejo agronómico

Se sembraron semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) variedad Mayapán en charolas germinadoras de 200 cavidades con sustrato a base de musgo canadiense (Sunshine, Proveedora Agrícola, Guadalajara, México). Treinta y cinco días después de la siembra (dds) las plántulas se trasplantaron en una parcela de 200 m^2 en las instalaciones del INIFAP, campo experimental Mocochá. La distancia de siembra entre plantas fue de 0.30 m y entre filas de 1.50 m. El manejo agronómico se realizó de acuerdo a Tun (2001).

2.3.2 Obtención de las semillas

Cuando comenzó la fase de floración, se etiquetaron las flores en antesis para tener un registro exacto al momento de la cosecha. La cosecha se realizó en tres estados de maduración del fruto: a los 28 (frutos verdes), 35 (frutos pintos) y 40 (frutos naranjas) días post-antesis (dpa). La cantidad de fruto cosechado fue el suficiente para realizar las pruebas físicas y fisiológicas a las semillas. Los frutos cosechados de cada estado de madurez se dividieron en tres lotes iguales y se almacenaron por tres períodos de almacenamiento (1, 7 y 14 días postcosecha), previo a la extracción de la semilla. Los frutos cosechados se mantuvieron bajo condiciones de temperatura y humedad constante (25°C y 60% HR). Después de terminado cada período de almacenamiento, las semillas se extrajeron manualmente con ayuda de un descorazonador de manzana. Las semillas obtenidas se desinfestaron con cloro al 2% por 3 min y, enseguida, se enjuagaron con agua destilada hasta eliminar el cloro. Una vez lavada la semilla, se dispusieron en bolsas de tela de tul y se dejaron secar bajo sombra hasta que alcanzaron un contenido de humedad de 6 a 10%, según indica el SNICS 2014, para semillas de chile habanero. A partir de este momento, las semillas de cada estado de maduración y tiempo de reposo, se empacaron en bolsas laminadas y se almacenaron en refrigeración a 10°C hasta el momento de la evaluación. Esta última etapa se realizó en el laboratorio de Biotecnología y Fisiología Vegetal del Instituto Tecnológico de Conkal.

2.3.3 Variables evaluadas

El contenido de humedad de la semilla se determinó secando 4 lotes de 50 semillas por tratamiento, en un horno de convección a 105±3 °C durante 24 horas. La fórmula utilizada fue: CH= $((Pf - Ps)/Ps)*100$, donde *CH* = contenido de humedad de la semilla; *Pf* = peso fresco de las semillas; *Ps* = peso seco de las semillas (ISTA, 2004).

El porcentaje de germinación se evaluó en 5 cajas Petri con 20 semillas cada una por tratamiento, las cajas tenían como sustrato papel sanita humectada con 4 ml de agua destilada. La germinación se contabilizó diario y se consideró germinada cuando se observó la protrusión radicular. Fue calculada con la siguiente formula %G= $(n/N)*100$, dónde %G = porcentaje de germinación; *n* = número total de semillas germinadas al final de la evaluación; *N* = número de semillas sembradas.

La tasa de germinación se calculó con la fórmula de ISTA (2004). TG=Σ(*ni/ti*), dónde TG = tasa de germinación; *ni* = número de semillas germinadas durante el intervalo *ti*; *ti* = tiempo desde la siembra hasta el día de conteo.

La longitud de radícula se evaluó siete días después de la siembra en las cajas Petri, se fotografiaron 10 semillas por tratamiento y con el programa Imagej se midió la longitud de la radícula. Los datos se utilizaron para calcular la TCR con la fórmula: TCR= ((ln L2 – ln L1)/ (T2-T1)), donde L1 y L2 representan la longitud radicular en los tiempos T1 y T2.

La emergencia de plántulas se evaluó sembrando 5 lotes de 10 semillas por tratamiento en charolas germinadoras de 200 cavidades, se utilizó como sustrato sunshine mezcla 3 (Proveedora Agrícola, Guadalajara, México). Se contabilizó diario hasta los 7 días después de la siembra (dds). Los resultados se expresaron en porcentajes de plántulas normales, además se calculó la tasa de emergencia.

La conductividad eléctrica se determinó sumergiendo las semillas en 50 mL de agua destilada desionizada a 25 °C, la lectura se realizó a las 24 horas con un conductímetro soil test (EC y Temp.) (Hanna, D.F., México), se evaluaron 4 lotes de 50 semillas por tratamiento.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo bi-factorial de tres estados de maduración (verde, pinto y maduro) y tres periodos de almacenamiento postcosecha de frutos (1, 7 y 14 días), fueron nueve tratamientos y quedaron de la siguiente forma: V1 = fruto verde + almacenado 1 día, V7 = fruto verde + almacenado 7 días, V14 = fruto verde + almacenado 14 días; P1 = fruto pinto + almacenado 1 día, P7 = fruto pinto + almacenado 7 días, P14 = fruto pinto + almacenado 14 días; M1 = fruto maduro + almacenado 1 día, M7 = fruto maduro + almacenado 7 días, M14 = fruto maduro + almacenado 14 días. Para ajustar la normalidad de los datos, los porcentajes fueron trans-formados utilizando la formula √arcoseno. Con los datos se realizó un ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Estos análisis se realizaron en Statistica 7 (Statsoft, Tulsa, Ok, USA).

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Contenido de humedad

En el contenido de humedad no hubo diferencias estadísticas significativas, las semillas de todos los tratamientos estaban dentro del rango para ser consideradas semillas vivas entre 10 y 12% de humedad base seca (Copeland y McDonald, 2001).

2.4.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es una prueba usada para medir el vigor de la semilla, la cual determina la estabilidad de las membranas celulares al flujo de solutos y electrolitos (aminoácidos, azúcares, potasio, etc.), dicha estabilidad dependerá de factores como la etapa de maduración de la semilla, edad de la semilla y daño por imbibición (Powell, 1986).

La conductividad eléctrica (CE) de las semillas de los frutos V1 (80, 70 y 60 µS cm^{-1} g^{-1} de semilla a los 2, 6 y 10 meses de almacenamiento de la semilla) presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos. Las semillas de los frutos V7 tuvieron una CE (50, 50 y 40 µS cm^{-1} g^{-1} semillas a los 2, 6 y 10 meses de almacenamiento de la semilla) inferior a la de los frutos V1, pero fue superior al resto de los tratamientos. Sin embargo, la CE de las semillas de los frutos V14 fue estadísticamente igual a la CE de los frutos pintos y maduros (Cuadro 1). De acuerdo con Vidigal *et al*., (2009) y Powell (1986), la CE de las semillas está asociada al flujo de solutos (aminoácidos, azúcares) y electrolitos (principalmente potasio) a través de las membranas celulares. Los valores bajos de CE, en las semillas, indican membranas celulares estables con menor flujo de solutos y electrolitos, que se traduce en semillas de mayor vigor, germinación y viabilidad, y viceversa. En este contexto, las semillas de los frutos V1 tuvieron mayor flujo de solutos y electrolitos, es decir, los embriones estaban inmaduros. Sin embargo, al almacenar los frutos verdes durante 14 días (V14), la CE disminuyó hasta 67%, esto indica una lenta liberación de solutos y electrolitos, debido a que durante el almacenamiento postcosecha de los frutos, las semillas continuaron su maduración y estabilización de sus membranas celulares (Días, 2006).

Cuadro 1. Conductividad eléctrica de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obtenidas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M) almacenados por 1, 7 y 14 días y evaluadas a los 2, 6 y 10 meses.

Tratamiento	2 Meses ($\mu S\ cm^{-1}\ g^{-1}$)	6 Meses ($\mu S\ cm^{-1}\ g^{-1}$)	10 Meses ($\mu S\ cm^{-1}\ g^{-1}$)
V1	80 a	70 a	60 a
V7	50 b	50 b	40 b
V14	30 d	30 d	20 c
P1	40 c	30 d	30 c
P7	30 d	30 d	30 c
P14	30 d	30 d	30 c
M1	40 c	40 c	30 c
M7	30 d	30 cd	20 c
M14	30 d	30 d	20 c

Los datos son medias ± EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

2.4.3 Cinética y tasa de germinación

En las tres evaluaciones realizadas (2, 6 y 10 meses), el almacenamiento postcosecha de los frutos favoreció la germinación. El ANDEVA mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Las semillas de los frutos almacenados por 14 días (V14, P14 y M14) germinaron por arriba del 90%, porcentaje superior al requerido para semillas de chile habanero en cualquiera de sus categorías (SNICS, 2014). Por su parte, Dos Santos *et al*., (2016) obtuvieron el mejor porcentaje de germinación (85%) en semillas de chile habanero con 7 días de reposo provenientes de frutos maduros. En contraste, las semillas de frutos V1 obtuvieron los porcentajes de germinación más bajos en las evaluaciones realizadas, con valores de 15% a 25% (Figura 1).

Por otro lado, las semillas de los frutos V14, P14 y M14 obtuvieron las tasas de germinación más altas, mientras que las semillas de frutos V1 tuvieron las tasas más bajas con valores de 0.98, 2.34 y 0.86 semillas germinadas d^{-1} a los 2, 6 y 10 meses,

respectivamente (Cuadro 2). En este sentido, Mattews y Khajeh-Hosseini (2006) mencionan que la germinación lenta produce plántulas heterogéneas. Autores como Bradford, (2004) y Bewley *et al*., (2013) sugieren que los frutos cosechados en un estado de madurez temprano (verdes) proporcionan semillas de baja calidad, pero al almacenarlos por un tiempo antes de la extracción, las semillas incrementan hasta 73% la germinación. Las semillas extraídas de frutos verdes sin almacenamiento postcosecha, se encuentran en la etapa de acumulación de reservas y tolerancia a la desecación. En semillas de frutos verdes el embrión puede contar con las estructuras necesarias para germinar, pero es probable que no cuente con la madurez fisiológica y las reservas suficientes para abastecer el crecimiento del embrión durante la germinación (Otho *et al*., 2007; Trigiano *et al*., 2008). Según Carrillo *et al*., (2009) las semillas de *Capsicum* completan su madurez fisiológica pasando por un período de reposo, que varía de una a seis semanas después de que los frutos fueron cosechados. La viabilidad de las semillas se atribuye a que los frutos de *Capsicum* son climatéricos y continúan su maduración fisiológica a la par que el embrión de la semilla, esto permite la formación de los diversos tejidos de membranas, así como una disminución en el contenido de ácido abscísico (ABA) hasta alcanzar la germinación (Kermode, 1985).

Cuadro 2. Tasa de germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obtenidas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M) almacenados por 1, 7 y 14 días y evaluadas a los 2, 6 y 10 meses.

Tratamiento	**2 meses (semillas germinadas d^{-1})**	**6 meses (semillas germinadas d^{-1})**	**10 meses (semillas germinadas d^{-1})**
V1	0.98 ± 0.26 e	2.34 ±0.12 f	0.86 ± 0.14 f
V7	7.88 ±0.75 c	13.22 ±1.08 de	13.74 ±0.34 de
V14	17.59 ±0.61 a	25.15 ±0.46 a	29.97 ±1.09 a
P1	4.00 ±0.27 d	11.30 ±0.26 e	13.74 ±0.32 de
P7	10.72 ±0.67 bc	16.63 ±0.65 cd	13.76 ±1.34 de
P14	20.08 ±0.88 a	20.70 ±0.43 ab	21.39 ±1.11 b
M1	12.08 ±1.13 b	11.91 ±1.35 e	11.63 ±0.80 e
M7	16.62 ±0.36 a	14.46 ±0.89 de	16.31 ±0.90 cd
M14	19.22±0.55 a	19.58 ±0.25bc	17.97 ±0.76 bc

Los datos son medias ± EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, p≤0.05).

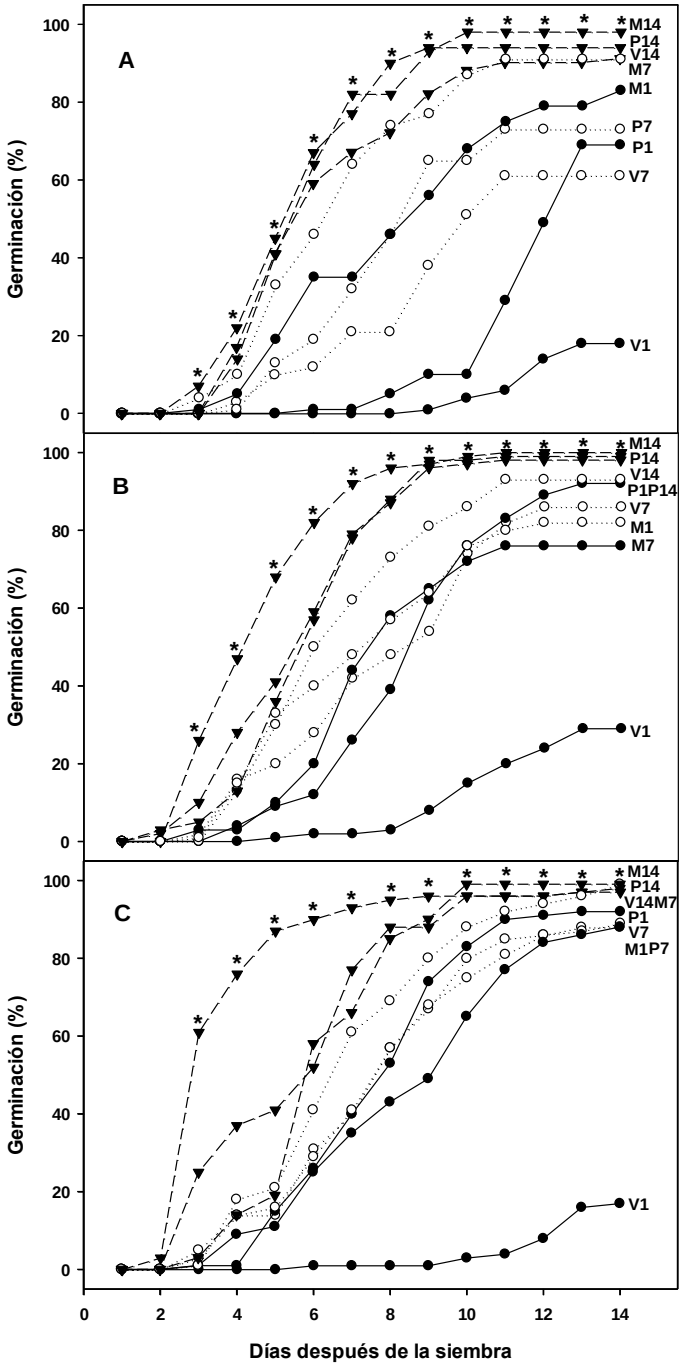

Figura 1. Germinación acumulada de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sembradas a los A) 2, B) 6 y C) 10 meses después de ser extraídas de frutos verdes, pintos y maduros, almacenados durante 1, 7 y 14 días postcosecha. Los datos son medias. *= diferencia estadística significativa (ANDEVA, p≤0.05).

2.4.4 Cinética y tasa de emergencia

En el porcentaje de emergencia de plántulas se encontraron diferencias estadísticas significativas (ANDEVA, $P \leq 0.05$) en las tres evaluaciones realizadas. A los dos meses, sólo las semillas de frutos M14 (92%) y M7 (82%) superaron el 80% de la emergencia de la plántula, pero a los 6 y 10 meses los tres tratamientos de frutos con almacenamiento postcosecha de 14 días (M14, P14 y V14) y dos de siete días (P7 y M7) superaron el 80% de la emergencia. Las semillas del tratamiento V1 tuvieron el menor porcentaje de emergencia con valores de 8, 0 y 6% a los 2, 6 y 10 meses (Figura 2). En general, en todos los tratamientos la uniformidad de la emergencia se alcanzó en la evaluación a los 10 meses.

En cuanto a la velocidad de emergencia evaluada a los dos meses, las semillas de frutos M14, M7 y M1 (12.43, 14.87 y 18.4 plántulas día^{-1}) obtuvieron las tasas de emergencia más altas superando estadísticamente a los restos de los tratamientos. A los seis meses, la semilla de frutos V14 (11.48 plántulas día^{-1}), P14 (9.66 plántulas día^{-1}), M14 (13.68 plántulas día^{-1}) y M7 (9.54 plántulas día^{-1}) y a los 10 meses la de V14 (12.67 plántulas día^{-1}) y M14 (13.93 plántulas día^{-1}). La tasa de emergencia más baja se presentó en el tratamiento V1 con valores de 0.48, 0 y 0.16 plántulas día^{-1} a los 2, 6 y 10 meses (Cuadro 3). De acuerdo con Demir *et al*., (2008) a mayor tasa de germinación las plántulas son más grandes y homogéneas. Tanto el porcentaje como la tasa de emergencia tuvieron una tendencia muy similar a la germinación, es decir, el almacenamiento postcosecha de los frutos influyó positivamente sobre los parámetros evaluados. Durante el almacenamiento de frutos, el embrión continúa su proceso de maduración fisiológica hasta completar una adecuada formación de todas sus etapas, entre las cuales destaca la tolerancia a la desecación, que es un componente adicional de la calidad que favorece el mantenimiento de la longevidad y se refleja en la emergencia y la calidad de las plántulas (Doijode, 2001).

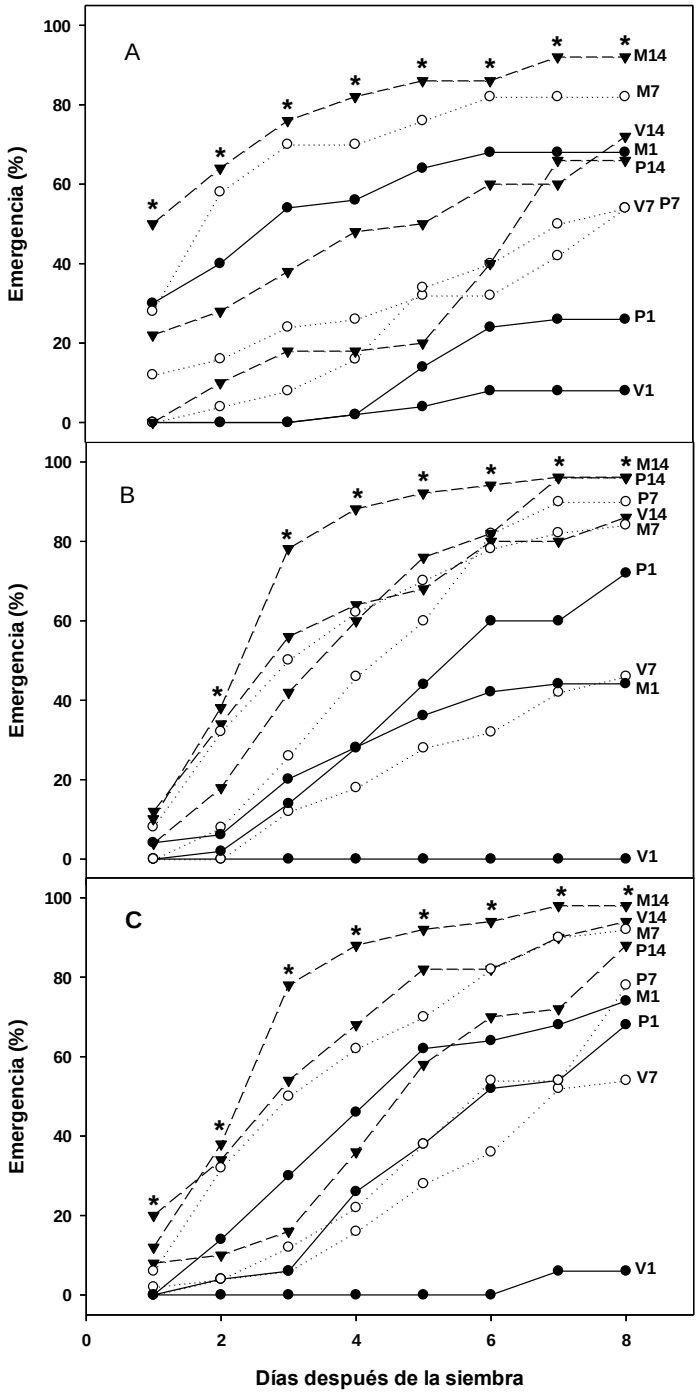

Figura 2. Emergencia acumulada de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sembradas a los A) 2, B) 6 y C) 10 meses y extraídas de frutos verdes, pintos y maduros, almacenados durante 1, 7 y 14 días postcosecha. Los datos son medias. *= diferencia estadística significativa (ANDEVA, $p \leq 0.05$).

Cuadro 3. Tasa de emergencia (plántulas d^{-1}) de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sembradas a los 2, 6 y 10 meses después de ser extraídas de frutos verdes (V), pintos (P) o maduros (M), almacenados durante 1, 7 y 14 días postcosecha.

Tratamiento	2 meses (plántulas d^{-1})	6 meses (plántulas d^{-1})	10 meses (plántulas d^{-1})
V1	0.48 ± 0.28 f	00 ±00 e	0.16 ±0.11 f
V7	5.90 ± 1.14 cd	3.12 ±0.56 d	3.38 ±0.33 e
V14	9.82 ± 1.35 bc	11.48 ±1.43 ab	12.67 ±0.57 ab
P1	1.43 ± 0.50 ef	4.90 ±0.74 cd	4.30 ±0.73 e
P7	3.60 ± 0.31 de	7.39 ±0.68 bc	4.56 ±0.25 de
P14	4.38 ± 0.62 de	9.66 ±0.62 ab	7.19 ±0.88 cd
M1	12.43 ± 1.23 ab	4.67 ±0.93 cd	7.05 ±0.84 cd
M7	14.87 ± 2.15 ab	9.54 ±0.44 ab	9.95 ±0.43 bc
M14	18.40± 2.06 a	13.68 ±0.36 a	13.93 ±0.63 a

Los datos son medias ± EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

2.4.5 Tasa de crecimiento relativo

En la evaluación a los dos meses (7 días después de la siembra), las plántulas de los tratamientos M14, P14 y V14 tuvieron una mayor longitud radicular, con valores de 2, 1.7 y 1.65 cm, respectivamente, pero a los 14 días después de la siembra, la mayor longitud de la raíz la tuvieron las plántulas de semillas de frutos M14 (4.7 cm), M7 (4.4 cm), M1 (3.7 cm), P14 (2.65 cm) y V14 (2.61 cm) (Figura 3). Estos mismos tratamientos tuvieron la mayor tasa de crecimiento relativo en la longitud de radícula (TCR_{LR}) con valores de 1.44 mm cm^{-1} $día^{-1}$; 1.47 mm cm^{-1} $día^{-1}$; 0.94 mm cm^{-1} $día^{-1}$; 0.90 mm cm^{-1} $día^{-1}$ y 0.94 mm cm^{-1} $día^{-1}$, respectivamente (Cuadro 4). En la evaluación de seis meses, las plántulas del tratamiento M14 tuvieron la radícula más larga a los 7 dds con un valor de 3.75 cm, superaron por lo menos en 34.4% a los demás tratamientos, pero una semana después los tratamientos M14, P14, V14, M7 y P7 tuvieron las raíces más largas con valores de 5.82 cm; 5.45 cm; 5.36 cm; 5.55 cm; 4.81 cm, respectivamente (Figura 3). La TCR_{LR} de las plántulas de V14 (1.63 mm cm^{-1} $día^{-1}$) superó estadísticamente a los tratamientos V1, P1,

M1 y V7, que obtuvieron valores de 0, 1.24, 1.40 y 1.33 mm cm^{-1} $día^{-1}$, respectivamente (Cuadro 4). En la evaluación a los 10 meses, con excepción del tratamiento V1, todas las plántulas tuvieron radículas superiores a los 4.6 cm a los 14 dds (Figura 3). Por lo tanto, la TCR_{LR} de todos los tratamientos fue estadísticamente superior a la del tratamiento V1 (Cuadro 4). En general, la longitud radicular de plántulas incrementó con el almacenamiento y con la maduración del fruto (Figura 4). El menor incremento en la longitud radicular de plántulas es un factor que pone en desventaja a las plántulas para obtener recursos (Cervantes *et al*., 1998; Paponov *et al*., 2000).

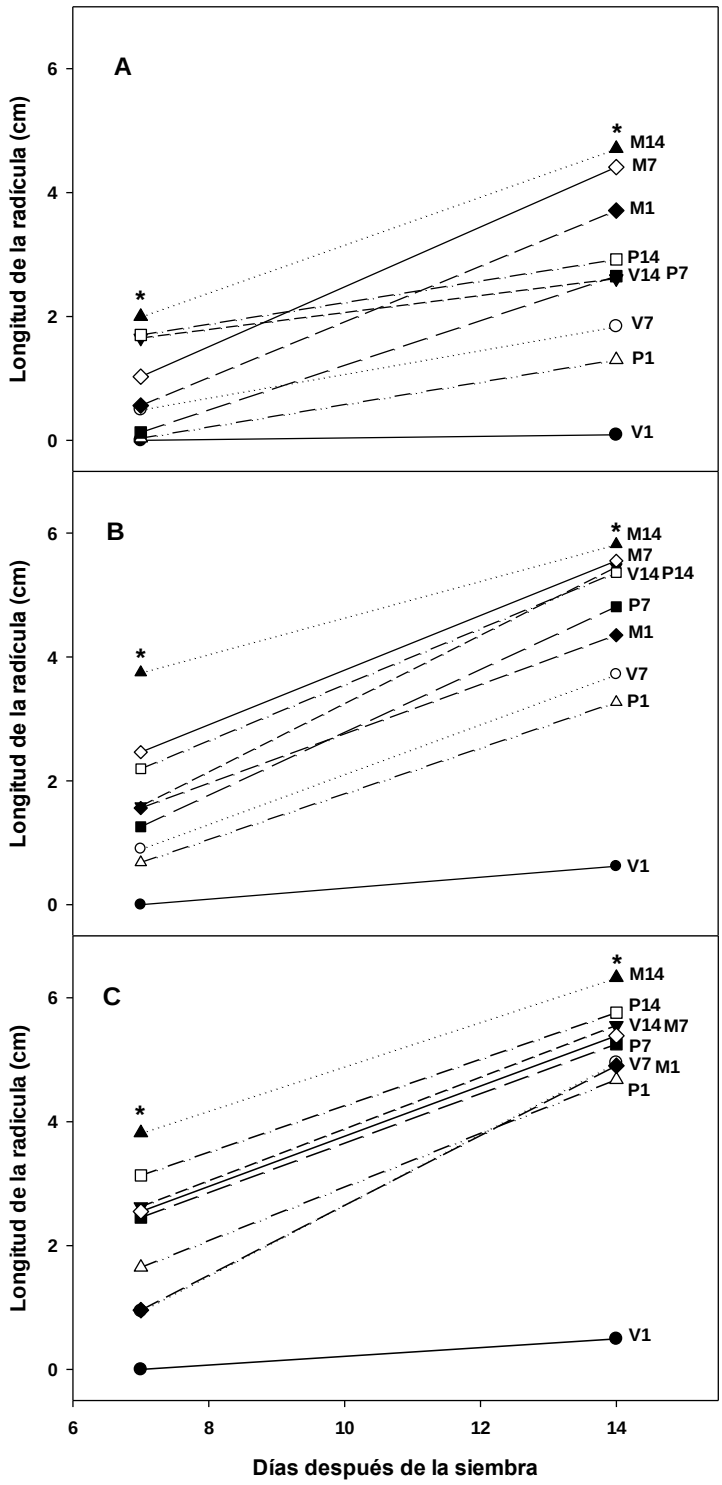

Figura 3. Longitud radicular de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a los A) 2, B) 6 y C) 10 meses después de la extracción de la semilla. Los datos son medias. * = diferencia estadística significativa (ANDEVA).

Cuadro 4. Tasa de crecimiento relativo con base en longitud radicular (TCR_{LR}) de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) obtenidas de frutos verdes (V), pintos (P) y maduros (M) almacenados por 1, 7 y 14 días y evaluadas a los 2, 6 y 10 meses.

Tratamientos	**2 Meses**	**6 Meses**	**10 Meses**
	(mm cm^{-1} día^{-1})	**(mm cm^{-1} día^{-1})**	**(mm cm^{-1} día^{-1})**
V1	00 ± 00 d	00 ± 00 d	00 ± 00 b
V7	0.77 ± 0.17 b	1.33 ± 0.03 c	1.61 ± 0.06 a
V14	0.94 ± 0.09 ab	1.63 ± 0.03 a	1.62 ± 0.05 a
P1	0.18 ± 0.14 cd	1.24 ± 0.06 c	1.52 ± 0.05 a
P7	0.61 ± 0.17 bc	1.53 ± 0.05 ab	1.62 ± 0.03 a
P14	0.90 ± 0.07 ab	1.56 ± 0.03 ab	1.49 ± 0.04 a
M1	0.94 ± 0.22 ab	1.40 ± 0.05 bc	1.60 ± 0.04 a
M7	1.47 ± 0.06 a	1.58 ± 0.05 ab	1.54 ± 0.04 a
M14	1.44 ± 0.06 a	1.57 ± 0.03 ab	1.65 ± 0.02 a

Los datos son medias ± EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

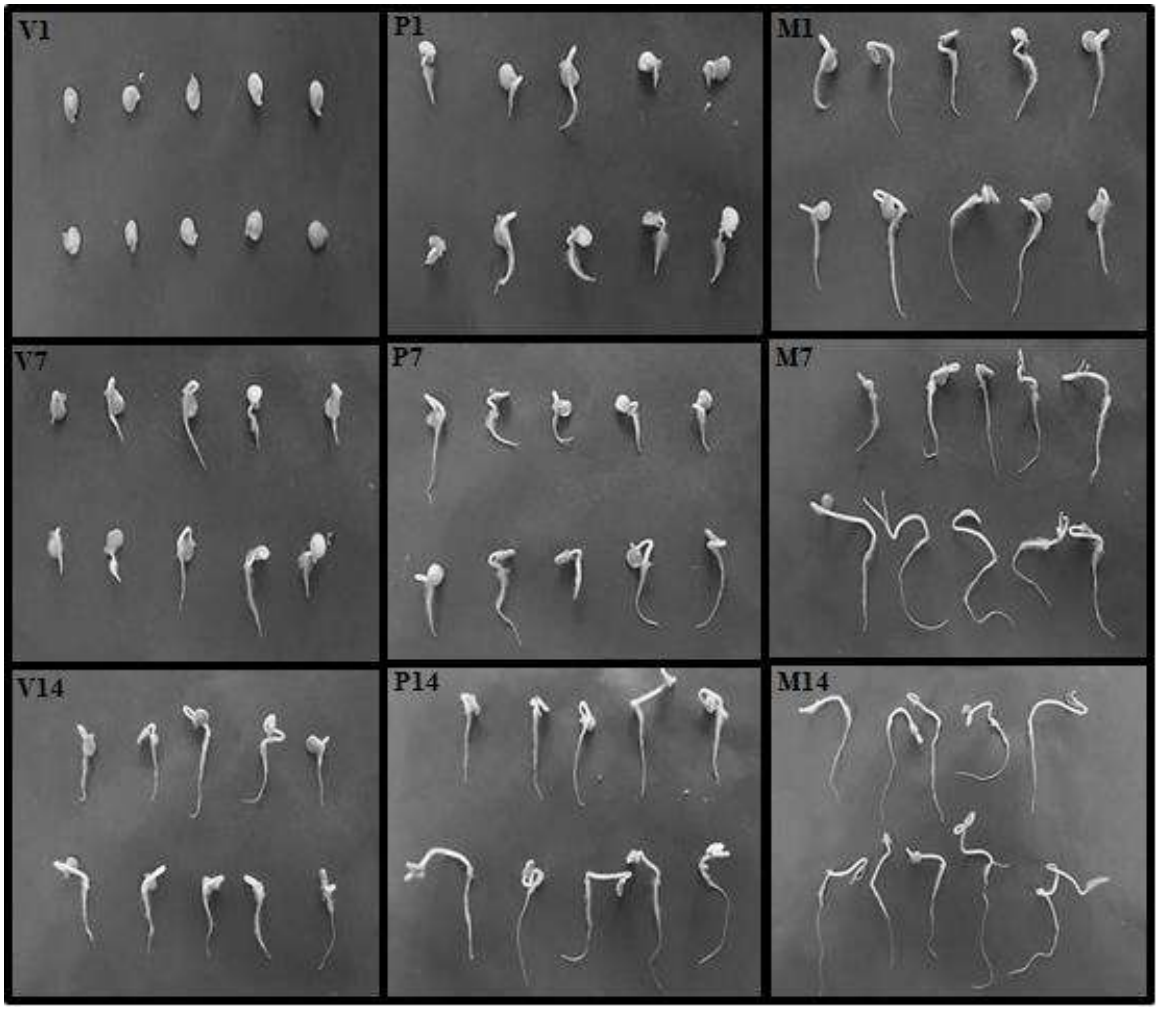

Figura 4. Longitud radicular de plántulas de chile habanero provenientes de semillas extraídas de frutos verdes, pintos y maduros almacenados por 1 (V1, P1 y M1), 7 (V7, P7 y M7) y 14 (V14, P14 y M14) días respectivamente.

De acuerdo con el ISTA (2004), el vigor de la semilla es la suma total de las propiedades que determinan el nivel potencial de actividad y desarrollo durante la germinación y la emergencia de la plántula. Es evidente que las semillas de frutos maduros *per se* producen plántulas más vigorosas, pero almacenar frutos pintos o verdes durante 14 días antes de extraer sus semillas también propicia la producción de plántulas vigorosas. En este sentido, asumimos que el embrión de las semillas de chile habanero continuó su proceso de maduración mientras permaneció unido a la placenta del fruto, sin importar que

el fruto estuviera en la planta o en almacenamiento postcosecha. En la industria semillera cosechar frutos verdes o pintos para la extracción de semillas en lugar de esperar que el fruto alcance su madurez en la planta es importante porque evita la exposición de frutos a daños bióticos o abióticos en el campo. Adelantar la cosecha de frutos incrementa el número de cortes en el ciclo de un cultivo, debido a que los asimilados de carbono que demandarían los frutos para su maduración se canalizarían para la formación de nuevos primordios florales (Marcelis *et al*., 2004; Garruña-Hernández *et al*., 2012). Contrario a lo esperado, el tiempo de almacenamiento de las semillas (no del fruto) no disminuyó los atributos de germinación y emergencia. Las semillas de chile habanero contenidas en bolsas de polietileno selladas al alto vacío, almacenadas a una temperatura de 10 °C pueden mantener intactos sus atributos fisiológicos al menos hasta los 10 meses de almacenamiento.

2.5 CONCLUSIÓN

El almacenamiento postcosecha de frutos de chile habanero antes de la extracción de las semillas, tuvo un efecto positivo en los atributos de germinación y emergencia. Cosechar frutos de chile habanero en estado verde (28 dpa) y almacenarlos a una temperatura de 25 ±2 °C y una humedad de 60% durante 14 días, permite que el embrión alcance su madurez y aumente la calidad de las plántulas. El almacenamiento contribuyó a la superación de la latencia, pues homogenizó la germinación y la emergencia.

2.6 LITERATURA CITADA

Barbedo, ASC, Zanin, ACW., Barbedo, CJ., Nakagawa, J. (1994). Efeitos daidade e do período de repouso pós-colheita dos frutos sobre a qualidade de sementes de berinjela. Horticultura Brasileira, Brasília, 12 (1):18-21.

Bewley J. D., K. J. Bradford, W. M. H Hilhorst and H. Nonogaky (2013). *Seed. Physiology of development, germination and dormarcy.* Third Edition. Springer. New York, U.S.A. 392 p.

Bradford, K. J. 2004. *Seed Production and Quality. Department of Vegetable Crops*. University of California. Davis, California, U.S.A. 134 p.

Carrillo, E., Mejía, J., Carballo, A., García, G., Aguilar, V. y Corona, T. 2009. Calidad de semilla en colectas de chile de agua (capsicum annuum l.) de los valles centrales de Oaxaca, México. Agricultura Técnica en México Vol. 35 Núm.3 p. 257-266.

Cervantes, V., Arriaga, J., Meave, and Carabias, J. 1998. *Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico.* For. Ecol. Manage. 110: 329-341.

Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2001. *Principles of Seed Science and Technology.* 4th Ed. Burgues Publishing Company. pp: 122-169

Demir I., S. Ermis, K. Mavi and S. Matthews (2008). *Mean germination time of pepper seed lots (Capsicum annuum L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules.* Seed Science and Technology 36:21-30

Dias, D. C. F. S., F. P. Ribeiro, L. A. S. Dias, D. J. H. Silva and D. S. Vidigal. 2006. *Tomato seed quality in relation to fruit maturation and postharvest storage.* Seed Science and Technology 34:691-699.

Doijode, S. D., 2001. *Seed Storage of Horticultural Crops.* Haworth Press. New York, USA. p 339.

Dos santos, H. O., Mangussi. S., Walace, R., De Oliveira Pires, R. M., De Resende Von Pinho, E., Franco Da Rosa, S. D., Moreira De Carvalho, M. L. 2016. *Physiological quality of habanero pepper (Capsicum Chinense) sedes base don*

development and drying process. African Journal of Agricultura. Vol. 11 (12), pp. 1102-1109.

Garruña-Hernández, R., Canto, A., Mijangos-Cortés, J., Pinzon, L., Orellana R. 2012. *Changes in flowering and fruiting of Habanero pepper in response to higher temperature and CO2.* Rev. Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol.10 (3&4), 802-808.

Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Ayala-Garay O., Santamaría, J., Pinzón-López, L., 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Agrociencia. 48:420-422.

ISTA (International Seed Testing Association) 2004. *International Rules for Seed Testing. Rules 2004.* ISTA Editions. Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.

Kermode, A. R., Belwey J.D. 1985. *The role of maturation drying in the transition from seed development to germination. I. Acquisition of desiccation tolerance and germinability durin development of Ricinus communis L. seeds.* Journal of Experimental Botany 36, 1906-15.

Marcelis, L. F. M., Heuvelink, E., Hofman-Eijer, L. R. B., Bakker, J. D., and Xue, L. B. 2004. *Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength*. J. Exp. Bot. 406:2261-2268.

Matthews S. and M. Khajeh-Hosseini (2006). *Mean germination time as indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (Zea mays).* Seed Science and Technology 34:339-347.

Otho M. A., S. L. Stone and J. J. Harada (2007). *Genetic control of seed development and seed mass. In: Seed Development, Dormancy and Germination.* K J Bradford, H Nonogaki (eds). Blackwell Publishing. Iowa, USA. pp:1-49.

Paponov, I. A., O. G. Posepanov, S. Lebedinskai, and E. L. Koshkin. 2000. *Growth and biomass allocation with varying nitrogen availability of near-isogenic pea lines with differing foliage structure*. Ann. Bot. 85: 563-569.

Powell, A. A. 1986. *Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing.* Journal of seed Technology, Vol. 10, No. 2. pp 81-100.

Randle W. M. and S. Honma (1981) *Dormancy in peppers*. *Scientia Horticulturae. pp* 14:19-25.

SNICS 2014. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

Trigiano R. N., R. A. Follum and C. A. Beyl (2008) *Sexual reproduction in angiosperms. In: Plant Propagation***.** C A Beyl, R N Trigiano (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group. US.A. pp:379-389

Tun, D. J. C. 2001. Chile habanero. Características y tecnología de producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agricolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Mocochá, Yucatán, México. 74 p.

Vidigal, D. S., D. C. F. S. Dias, E. R. V. Von Phino and L. A. S. Dias (**2009)** *Sweet pepper seed quality and lea-protein activity in relation to fruit maturation and post-harvest storage.* Seed Science and Technology 37:192-201.

Vidigal, DS., Dias, DCFS., Pinho, EVRV., Dias LAS. (2006). *Qualidade fisiológica de sementes de tomate em função da idade e do armazenamento pós-colheita dos frutos.* Rev. Bras. Sementes 28(3):87-93.

Zavala, M.J., Hernández Pinto, D., Vázquez, M., Hernández Pinto J., López, A., Baeza, J.J. 2015. Almacenamiento postcosecha de frutos como mecanismo para mejorar la calidad fisiológica de las semillas de dulce e x´catik (*Capsicum annum* L.). XVIII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, pp 1028-1035.

Zavala, M.J., López, A., Santamaría, F., Baeza, J.J. 2013. Calidad de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) mediante el acondicionamiento postcosecha de frutos. 10ª Convención mundial del chile. pp 282-287.