



Post-harvest storage of fruits: An alternative to improve physiological quality in habanero pepper seeds

Almacenamiento postcosecha de frutos: Alternativa para mejorar la calidad fisiológica de semillas de chile habanero

Hernández-Pinto, C.¹, Garruña, R.^{2*}, Andueza-Noh, R.², Hernández-Núñez, E.³, Zavala-León, M. J.⁴, Pérez-Gutiérrez, A.¹

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

²Catedrático CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345 Conkal, Yucatán, México.

³Catedrático CONACYT-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Antigua carretera a Progreso Km 6, Cordemex, Loma Bonita Xcumpich, C.P. 97310 Mérida, Yucatán, México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Mocochoá, km 25 antigua carretera Mérida-Motul, C.P. 97454, Mocochoá, Yucatán, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Hernández-Pinto, C., Garruña, R., Andueza-Noh, R., Hernández-Núñez, E., Zavala-León, M. J., Pérez-Gutiérrez, A. (2020). Post-harvest storage of fruits: An alternative to improve physiological quality in habanero pepper seeds. *Revista Bio Ciencias* 7, e796. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e796>



ABSTRACT

A heterogeneous germination is one of the main problems in habanero pepper (*Capsicum chinense*) cultivation, this could be due to poor quality seeds, physiologically immature at the time of being extracted from the fruit. The aim of this study was to determine the effect of post-harvest storage of fruits on the germination of seeds obtained at different ripening stages of fruits. Thus, unripe (green color = UR), half ripe (half green and half orange = HR) and ripe (orange color = R) fruits were harvested and stored during 7 and 14 days before extracting the seeds, control fruits were not stored. The parameters evaluated were: germination (%G) and germination rate (GR), emergence (%E) and emergence rate (ER), electrical conductivity (EC), root length (RL) and relative growth rate of root length (RGR_{RL}). The post-harvest storage of fruits

RESUMEN

Uno de los principales problemas del chile habanero (*Capsicum chinense*) es la heterogeneidad en la germinación, esto podría deberse a semillas de baja calidad, inmaduras fisiológicamente al momento de ser extraídas del fruto. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del almacenamiento postcosecha de frutos sobre la germinación de semillas obtenidas en diferentes estados de maduración. Se cosecharon frutos verdes (UR), pintos (HR) y maduros (R), que se almacenaron durante 7 y 14 días antes de extraerles las semillas, el testigo no se almacenó. Se evaluó porcentaje (%G) y tasa de germinación (GR), porcentaje (%E) y tasa de emergencia (ER), conductividad eléctrica (EC), longitud radicular (RL) y tasa de crecimiento relativo de radícula (RGR_{RL}). El almacenamiento postcosecha de los frutos durante 14 días incrementó el porcentaje de germinación (R14 = 98 %, HR14 = 94 % y UR14 = 91 %), la emergencia (R14 = 98 %, HR14 = 88 % y UR14 = 94 %) y la tasa de germinación (R14 = 19.22, HR14 = 20.08 y UR14 = 17.59 germinadas/día). La tasa de emergencia más alta fue en R14 y UR14 (13.93 y 12.67 plántulas/día, respectivamente). A los 7 días después de la siembra las raíces de R14 (3.8

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: August 15th 2019.

Accepted/Aceptado: February 6th 2020.

Available on line/Publicado: February 22th 2020.

*Corresponding Author:

René Garruña. Dirección postal: Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345 Conkal, Yucatán, México. Número de teléfono: 999 912 4135 ext. 126. Correo: rene.garruna@itconkal.edu.mx.

during 14 days increased seeds germination (R14 = 98 %, HR14 = 94 % and UR14 = 91 %), seedlings emergence (R14 = 98%, HR14 = 88% and UR14 = 94%) and germination rate (R14 = 19.22, HR14 = 20.08 and UR14 = 17.59 germinated/day). The highest emergence rate was both in R14 and in UR14 (13.93 and 12.67 seedlings/day, respectively). At 7 days after sowing, roots of R14 (3.8 cm) were the longest. The storage of fruits during 14 days decreased the EC of the solution where seeds were soaked (UR14 = 0.6, HR14 = 0.6 and R14 = 0.6 $\mu\text{S mL}^{-1}$). Therefore, harvesting both unripe and half-ripe fruits with an after storage during 14 days improved the physiological attributes of habanero pepper seeds.

KEY WORDS

Capsicum chinense, physiological quality, electrical conductivity, seedlings emergence, germination.

Introduction

Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) is one of the horticultural crops of greater culinary, social and economical importance in the Yucatan Peninsula. In 2010, the Mexican Institute of Intellectual Property (IMPI) gave the appellation of origin "Chile habanero de la Península de Yucatán" (DOF, 2010), this increased its demand in fresh as well as for the industry (Zavala *et al.*, 2013). However, the loss of viability and low germination of the seed, as well as the heterogeneity in seedlings emergence, are the main issues presented by this crop (Garruña-Hernandez *et al.*, 2014); some of the factors to which these issues are attributed are the state of ripeness of the fruit at the moment of harvest, the position of the fruit in the plant and the inhibitory substances in the seed's cover (Randle & Honma, 1981). Other factors, like the extraction process, the content of moisture and the seed selection, cause physiological and biochemical alterations that have an effect on the physiological quality of the seeds and seedlings (Doijode, 2001; Vidigal *et al.*, 2009). In this sense, the ripeness of fruits from the *Capsicum* genus is known to affect germination of the seeds (Vidigal *et al.*, 2006; Zavala *et al.*, 2015). Some studies realized in *Capsicum annuum* demonstrated that storing the fruits before extracting the seeds allows to complete the ripeness of the embryo and to increase the germination and vigor of the seeds (Dias *et al.*, 2006; Dos-Santos *et al.*, 2016). Nonetheless, in the case

cm) fueron las más largas. El almacenamiento de frutos durante 14 días disminuyó la EC de la solución donde se embebieron las semillas (UR14 = 0.6, HR14 = 0.6 y R14 = 0.6 $\mu\text{S mL}^{-1}$). Cosechar frutos inmaduros (verdes o pintos) y almacenarlos durante 14 días mejoró los atributos fisiológicos de las semillas de chile habanero.

PALABRAS CLAVE

Capsicum chinense, calidad fisiológica, conductividad eléctrica, emergencia de plántulas, germinación.

Introducción

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia culinaria, social y económica en la Península de Yucatán. En el año 2010 el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual otorgó la denominación de origen "Chile habanero de la Península de Yucatán" (DOF, 2010), esto incrementó la demanda del fruto tanto en fresco como para la industria (Zavala *et al.*, 2013). Sin embargo, la pérdida de viabilidad y baja germinación de la semilla, así como la heterogeneidad en la emergencia de las plántulas, son de los principales problemas que se presentan en este cultivo (Garruña-Hernández *et al.*, 2014); algunos de los factores a los que se atribuyen estos problemas son el estado de madurez del fruto a la hora de la cosecha, la posición del fruto en la planta y las sustancias inhibitoras en la cubierta de la semilla (Randle & Honma, 1981). Otros factores, como el proceso de extracción, el contenido de humedad y la selección de la semilla, provocan alteraciones fisiológicas y bioquímicas que influyen en la calidad fisiológica de las semillas y las plántulas (Doijode, 2001; Vidigal *et al.*, 2009). En este sentido, se sabe que la maduración de los frutos del género *Capsicum* afecta la germinación de las semillas (Vidigal *et al.*, 2006; Zavala *et al.*, 2015). Algunos estudios realizados en *Capsicum annuum* demostraron que almacenar los frutos antes de extraer las semillas permite completar la madurez del embrión e incrementar la germinación y el vigor de las semillas (Dias *et al.*, 2006; Dos-Santos *et al.*, 2016). Sin embargo, en el caso de *Capsicum chinense* nos planteamos la siguiente pregunta ¿La maduración del fruto y el tiempo de almacenamiento postcosecha incrementan el porcentaje y la velocidad tanto en la germinación de las semillas como en la emergencia de las plántulas? Con base en lo anterior, el objetivo de

of *Capsicum chinense*, the following question was laid out: Do the ripeness of the fruit and post-harvest storage time increase percentage and rate of seeds germination as well as seedlings emergence? Based on the aforementioned, the objective of this study was to identify the proper ripening stage of the fruit to obtain seeds of quality and to determine the effect of the post-harvest storage of fruits on germination and emergence.

Material and Methods

Seeds production

A habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) seedbed was established in Motul, Yucatan. Seeds from the variety Mayapan were used, provided by the INIFAP Mococho experimental field, they were sown in germinating trays with Canadian moss-based substrate (Sunshine, Proveedora Agrícola, Guadalajara, Mexico). Seedlings were established in a 200 m² plot at the INIFAP Mococho experimental field, to 35 days after sowing (das). The distance of sowing between plants was 0.30 m and 1.50 m between furrows. The agronomic handling was performed according to Tun (2001).

At around 45 das, flowering started, at this stage flowers in anthesis were labelled. Fruits were harvested at unripe (green), half-ripe (half green and half orange) and ripe (orange) stages, 28, 35 and 40 days post-anthesis (dpa), respectively. Seeds were immediately extracted from a portion of harvested fruits (control: fruits without storage), like local producers of seedlings traditionally do it. Another portion of harvested fruits (unripe, half-ripe, and ripe) was stored during 7 and 14 days post-harvest, at a temperature of 25 ± 2 °C and 60 % of relative humidity (RH). After the corresponding period or storage, the seeds were extracted from the fruits with an apple corer, disinfected with chlorine at 2 % during three minutes and were rinsed three times with distilled water. Finally, the seeds were dried in the shade until reaching a moisture content within a range of 6-10 % (SNICS, 2014), the moisture content test was performed in accordance with the International Seed Testing Association (ISTA, 2004). The seeds were stored in silvered polyethylene bags and kept in refrigeration at 10 °C until evaluation (7 days later). The treatments were V = green fruit, not-stored, V7 = green fruit, stored for 7 days, V14 = green fruit, stored for 14 days, P = half-ripe fruit, not-stored, P7 = half-ripe fruit,

este estudio fue identificar la etapa adecuada de madurez del fruto para obtener semillas de calidad y determinar el efecto del almacenamiento postcosecha de los frutos sobre la germinación y la emergencia.

Material y Métodos

Producción de semillas

Se estableció un semillero de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Motul, Yucatán. Se utilizaron semillas de la variedad Mayapán proporcionadas por el INIFAP campo experimental Mococho, se sembraron en charolas germinadoras con sustrato a base de musgo canadiense (Sunshine, Proveedora Agrícola, Guadalajara, México). A los 35 días después de la siembra (das) las plántulas se establecieron en una parcela de 200 m² en el campo experimental Mococho del INIFAP. 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).

Aproximadamente a los 45 das comenzó la floración, en esa etapa se etiquetaron las flores que estaban en anthesis. Los frutos se cosecharon inmaduros (verdes), medio-maduros (pintos) y maduros (naranjas) a los 28, 35 y 40 días post-anthesis (dpa), respectivamente. A una parte de los frutos cosechados se les extrajo las semillas inmediatamente (testigo: frutos sin almacenar), como tradicionalmente lo hacen los productores de plántulas de la región. Otra parte de los frutos cosechados (verdes, pintos y maduros) se almacenaron durante 7 y 14 días postcosecha, a una temperatura de 25 ± 2 °C y 60 % de humedad relativa (HR). Después del período de almacenamiento correspondiente, las semillas se extrajeron de los frutos con un descorazonador de manzanas, se desinfectaron con cloro al 2 % durante tres minutos y se enjuagaron con agua destilada tres veces. Finalmente, las semillas se secaron a la sombra hasta alcanzar un contenido de humedad dentro del rango de 6-10 % (SNICS, 2014), la prueba de contenido de humedad se realizó de acuerdo a la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA, 2004). Las semillas se almacenaron en bolsas de polietileno plateadas y se conservaron en refrigeración a 10 °C hasta su evaluación (7 días después). Los tratamientos fueron: V = fruto verde sin almacenar, V7 = fruto verde almacenado 7 días, V14 = fruto verde almacenado 14 días, P = fruto pinto sin almacenar, P7 = fruto pinto almacenado 7 días, P14 = fruto pinto almacenado 14 días, M = fruto maduro sin almacenar, M7 = fruto maduro almacenado 7 días, M14 = fruto maduro almacenado 14 días.

stored for 7 days, P14 = half-fruit, stored for 14 days, M = ripe fruit, not-stored, M7 = ripe fruit, stored for 7 days, and M14 = ripe fruit, stored for 14 days.

Evaluated variables

All the evaluations of germination, emergence and growth were performed in the laboratorio de Biotecnología y Fisiología Vegetal del Instituto Tecnológico de Conkal, Mexico.

In order to determine the moisture content (MC), five samples of 0.5 g of seeds from each treatment were dried in a forced-air convection furnace at 103 °C until obtaining a constant dry weight (approximately 17 h). Initial fresh weight (FW) and final dry weight (DW) were used to calculate the moisture content of seeds according to the ISTA (2004) with the following formula:

$$MC = \frac{FW - DW}{FW} \times 100$$

Electric conductivity (EC) was determined by submerging during 24 hours a set of 50 seeds into 50 mL of deionized distilled water at 25 °C, the readings were realized with a conductometer (Consort C931, Debruyne Instruments, Wichelen, Belgium). Four repetitions of 50 seeds per treatment were evaluated in accordance with Vidigal *et al.* (2009).

The percentage of germination (%G) was evaluated by sowing 20 seeds per Petri dish, dishes with 90 mm in diameter were used and humidified paper tissues with 4 mL of deionized distilled water as a substrate, five Petri dishes per treatment were established, each dish represented a repetition. The growth chamber where the germination was evaluated had a temperature of 22 ± 1 °C, a relative humidity of 60 % and was in total darkness. The germination was counted during 14 days and a germinated seed was considered when the radicular protrusion was observed. The following formula was used:

$$\%G = \frac{n}{N} \times 100$$

Where %G = percentage of germination, n = total number of germinated seeds at the end of the evaluation and N = number of seeds sown.

Variables evaluadas

Todas las evaluaciones de germinación, emergencia y crecimiento se realizaron en el laboratorio de Biotecnología y Fisiología Vegetal del Instituto Tecnológico de Conkal, México.

Para determinar el contenido de humedad (MC), cinco muestras de 0.5 g de semillas de cada uno de los tratamientos se secaron en un horno de convección de aire forzado a 103 °C hasta obtener el peso seco constante (aproximadamente 17 h). El peso fresco inicial (FW) y el peso seco final (DW) se utilizaron para calcular el contenido de humedad de semillas de acuerdo al ISTA (2004) con la siguiente formula:

$$MC = \frac{FW - DW}{FW} \times 100$$

La conductividad eléctrica (EC) se determinó sumergiendo durante 24 horas un lote de 50 semillas en 50 mL de agua destilada desionizada a 25 °C, las lecturas se realizaron con un conductímetro (Consort C931, Debruyne Instruments, Wichelen, Bélgica). Se evaluaron cuatro repeticiones de 50 semillas por tratamiento de acuerdo a Vidigal *et al.* (2009). El porcentaje de germinación (%G) se evaluó sembrando 20 semillas por caja Petri, se utilizaron cajas de 90 mm de diámetro, y como sustrato se utilizaron toallas de papel humectadas con 4 mL de agua destilada desionizada, se establecieron cinco cajas por tratamiento, cada caja representó una repetición. El cuarto de crecimiento donde se evaluó la germinación tenía una temperatura de 22 ± 1 °C, una humedad relativa de 60 % y se encontraba en total oscuridad. La germinación se contabilizó durante 14 días y se consideró una semilla germinada cuando se observó la protrusión radicular. Se utilizó la fórmula:

$$\%G = \frac{n}{N} \times 100$$

dónde %G = porcentaje de germinación, n = número total de semillas germinadas al final de la evaluación y N = número de semillas sembradas.

La emergencia de plántulas se evaluó en charolas germinadoras de 200 cavidades durante 7 días. Se sembraron 20 semillas por repetición y cinco repeticiones por tratamiento. Se utilizó como sustrato musgo canadiense (Sunshine, Proveedora Agrícola, Guadalajara, México). Para calcular el porcentaje de

Seedling emergence was evaluated in germinating trays with 200 cavities during 7 days. Twenty seeds were sown per repetition and five repetitions per treatment. Canadian moss was used as a substrate (Sunshine, Proveedora Agrícola, Guadalajara, Mexico). The same formula used to calculate %G was used to calculate the percentage of emergence (%E).

So as to obtain the germination rate (GR), the germination was counted during 14 days and was calculated with the formula for seeds germination rate proposed by the ISTA (2004):

$$GR = \sum \frac{n_i}{T_i}$$

Where GR = germination rate, n_i = number of germinated seeds during the interval T_i , T_i = time from the sowing until the counting day.

For the emergence rate (ER) the number of emerged seedlings was counted daily until 7 das and the same formula was used as for calculating GR.

Root length was evaluated 7 and 14 das, pictures of 10 seedlings per treatment were taken and processed with ImageJ software (National Institute of Health, Maryland, United States) to calculate root length.

With root length data, the relative growth rate of root length was calculated, according to the formula proposed by Hunt *et al.* (2002):

$$RGR_{RL} = \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{T_2 - T_1}$$

Where RGR_{RL} = relative growth rate of root length; $\ln L_1$ = natural logarithm of root length at 7 das; $\ln L_2$ = natural logarithm of root length at 14 das; T_1 = day on which the first measurement was performed (7 das); T_2 = day on which the second measurement was performed (14 das).

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized, with bi-factorial adjustment, one factor was the ripeness state of the fruits (unripe, half-ripe and ripe) and another factor was the period of post-harvest storage of the fruits (7 and 14 days post-harvest; control = not-stored). Data in percentage were arcsine square root transformed; an analysis of variance (ANOVA, $p \leq 0.05$) was performed

emergencia (%E) se utilizó la misma fórmula con la que se calculó el %G.

Para obtener la tasa de germinación (GR) se contabilizó la germinación durante 14 días y se calculó con la fórmula para velocidad de germinación de semillas propuesta por el ISTA (2004):

$$GR = \sum \frac{n_i}{T_i}$$

dónde GR = tasa de germinación, n_i = número de semillas germinadas durante el intervalo T_i , T_i = tiempo desde la siembra hasta el día del conteo.

Para la tasa de emergencia (ER) se contabilizó a diario el número de plántulas emergidas hasta los 7 das y se utilizó la misma fórmula con la que se calculó la GR.

La longitud de radícula se evaluó a los 7 y 14 das, se tomaron fotografías de 10 plántulas por tratamiento y se procesaron con el software ImageJ (National Institute of Health, Maryland, Estados Unidos) para calcular la longitud de la radícula.

Con los datos de longitud de la radícula se calculó la tasa de crecimiento relativa de la longitud radicular, de acuerdo a la fórmula propuesta por Hunt *et al.* (2002):

$$RGR_{RL} = \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{T_2 - T_1}$$

dónde RGR_{RL} = tasa de crecimiento relativo de la longitud de la radícula; $\ln L_1$ = logaritmo natural de la longitud de la radícula a los 7 das; $\ln L_2$ = logaritmo natural de la longitud de la radícula a los 14 das; T_1 = día que se efectuó la primera medición (7 das); T_2 = día que se efectuó la segunda medición (14 das).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo bi-factorial, un factor fue el estado de maduración de los frutos (verdes, pintos y maduros) y otro factor el periodo de almacenamiento postcosecha de los frutos (7 y 14 días postcosecha; testigo = sin almacenar). Los datos en porcentaje fueron transformados con la raíz cuadrada de arcoseno; a todos los datos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA, $p \leq 0.05$). Se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) en las variables donde hubo diferencias

on all data. A comparison of means test (Tukey's multiple comparison test, $\alpha = 0.05$) was carried out on the variables when significant differences were detected among treatments. The analyses were performed with Statistica 7 software (Statsoft, Tulsa, Ok, EE. UU. A.).

Results and Discussion

In the analysis of variance, significant differences were found in all the variables. Post-harvest storage and fruit ripeness factors had highly significant statistical differences ($p \leq 0.01$). In the interaction of factors (storage x ripeness), the electrical conductivity and germination parameters (%G and GR) were highly significant ($p \leq 0.01$); while emergence parameters (%E and ER) and radicle growth (RL7, RL14 and RGR_{RL}) had significant differences ($p \leq 0.05$) (Table 1).

Moisture content

The moisture content in seeds from all the treatments was between 6 and 10 %. According to Copeland and McDonald (2001), that is the moisture interval for live seeds, in addition it is the range established by SNICS (2014) in all the categories of seeds (basic, registered, certified and enabled).

Electrical conductivity

The electrical conductivity (EC) of the seeds is associated to the flow of solutes (amino acids, sugars) and electrolytes (mainly potassium) through cellular membranes (Vidigal *et al.*, 2009). According to the comparison of means, the lowest EC was observed in the three ripeness stages with 14 days of storage (UR14, 0.6; HR14, 0.6; R14, 0.6 $\mu\text{S mL}^{-1}$) and in the seeds from half-ripe and ripe fruits with 7 days of storage (HR7, 0.6; R7, 0.6 $\mu\text{S mL}^{-1}$); the highest values of EC were in the seeds from not-stored unripe fruits (UR, 1.5 $\mu\text{S mL}^{-1}$) (Figure 1). Low values of electrical conductivity in seeds is an indicator of stable cellular membranes, with lower flow of solutes and electrolytes (Powell, 1986), in other words, these were seeds with greatest vigor, germination and viability. In this context, seeds of not-stored unripe fruits had a higher flow of solutes and electrolytes, it is probable that the seeds that were in a physiologically unripe stage. However, when storing green fruits for 14 days (UR14) seeds electrical conductivity decreased of 40 % (slow releasing of solutes and electrolytes), indicating that during fruits post-harvest storage, the seeds continued

significativas entre tratamientos. Los análisis se realizaron en el software Statistica 7 (Statsoft, Tulsa, Ok, USA).

Resultados y Discusión

En el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas significativas en todas las variables. Los factores almacenamiento postcosecha y maduración de fruto tuvieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$). En la interacción de los factores (almacenamiento x maduración), la conductividad eléctrica y los parámetros de germinación (%G y GR) fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$); mientras que los parámetros de emergencia (%E y ER) y crecimiento radicular (RL7, RL14 y RGR_{RL}) tuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 1).

Contenido de humedad

El contenido de humedad en las semillas de todos los tratamientos estuvo entre 6 y 10 %. De acuerdo con Copeland & McDonald (2001), ese es el intervalo de humedad de las semillas vivas, además es el rango que establece el SNICS (2014) en todas las categorías de semillas (básicas, registrada, certificada y habilitada).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (EC) de las semillas está asociada al flujo de solutos (aminoácidos, azúcares) y electrolitos (principalmente potasio) a través de las membranas celulares (Vidigal *et al.*, 2009). De acuerdo a la comparación de medias la EC más baja se observó en los tres estados de maduración con 14 días de almacenamiento (UR14, 0.6; HR14, 0.6; R14, 0.6 $\mu\text{S mL}^{-1}$) y en las semillas de frutos pintos y maduros con 7 días de almacenamiento (HR7, 0.6; R7, 0.6 $\mu\text{S mL}^{-1}$); los valores de conductividad eléctrica más altos fueron en las semillas de frutos verdes sin almacenar (UR, 1.5 $\mu\text{S mL}^{-1}$) (Figura 1). Valores bajos de conductividad eléctrica en semillas es un indicador de membranas celulares estables, con menor flujo de solutos y electrolitos (Powell, 1986), es decir, son semillas con mayor vigor, germinación y viabilidad. Bajo este contexto, las semillas de los frutos verdes sin almacenar tuvieron mayor flujo de solutos y electrolitos, es probable que las semillas se encontraban en un estado de madurez fisiológicamente inmaduro. Sin embargo, al almacenar los frutos verdes durante 14 días (UR14) la conductividad eléctrica de las semillas disminuyó 40 % (lenta liberación de solutos y electrolitos), esto indica que durante el almacenamiento postcosecha de los frutos las

Table 1.

F-value of moisture content (MC), electrical conductivity (EC), germination (%G), emergence (%E), germination rate (GR), emergence rate (ER), root length at 7 (RL7) and 14 (RL14) days after sowing and relative growth rate of RL (RGR_{RL}) of seeds from habanero pepper fruits harvested in different stages of maturation and post-harvest storage.

Tabla 1.

F-valor del contenido de humedad (MC), conductividad eléctrica (EC), porcentaje de germinación (%G), porcentaje de emergencia (%E), tasa de germinación (GR), tasa de emergencia (ER), longitud radicular a los 7 (RL7) y 14 (RL14) días después de la siembra y tasa de crecimiento relativa de la longitud de raíz (RGR_{RL}), de semillas provenientes de frutos de chile habanero cosechados en diferentes estados de maduración y almacenamiento postcosecha.

Treatments	MC	EC	%G	%E	GR	ER	RL7	RL14	RGR _{RL}
APdeF	0.22 ^{ns}	224.14 ^{**}	73.05 ^{**}	45.32 ^{**}	310.42 ^{**}	137.69 ^{**}	167.43 ^{**}	93.50 ^{**}	60.00 ^{**}
EMdeF	3.44 ^{ns}	226.71 ^{**}	55.79 ^{**}	32.13 ^{**}	111.21 ^{**}	85.97 ^{**}	48.70 ^{**}	17.16 ^{**}	10.90 ^{**}
APdeF x EMdeF	1.10 ^{ns}	64.71 ^{**}	12.29 ^{**}	12.03 [*]	29.54 ^{**}	33.78 [*]	6.21 [*]	4.07 [*]	4.98 [*]
CV	12.41	6.41	9.03	15.54	7.46	11.34	28.13	26.27	33.46

ns = not significant; * = significant differences ($p \leq 0.05$); ** = highly significant differences ($p \leq 0.01$); APdeF = fruits post-harvest storage; EMdeF = fruits ripening stages; CV = coefficient of variation.

ns = no significancia; * = diferencias significativas ($p \leq 0.05$); ** = diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). APdeF = almacenamiento postcosecha de frutos; EMdeF = estado de maduración de frutos; CV = coeficiente de variación.

their ripeness and stabilized their cellular membranes (Dias *et al.*, 2006).

semillas continuaron su maduración y estabilizaron sus membranas celulares (Dias *et al.*, 2006).

Germination and emergence

Fruits post-harvest storage for 14 days increased the percentage of germination of the seeds in the three fruits ripeness stages (R14, 98 %; HR14, 94 % and UR14, 91 %), seeds germination percentage R7 (91 %) was close to it; but, the germination of HR7 (73 %), HR (69 %) and UR7 (61 %) was at least 25 % inferior to the one of R14; likewise, the germination of seeds obtained from not-stored unripe fruits was the lowest (18 %) (Figure 2A). Fruit ripeness at the moment of the harvest obviously affected seeds germination (UR, 18 %; HR, 69 % and R, 83 %). In addition, fruits post-harvest storage before obtaining their seeds increased the final percentage of germination, regardless of the ripeness stage in which fruits were harvested, in other words, germination of the seeds from unripe, half-ripe and ripe fruits stored for 14 days increased 73, 25 and 15 %, respectively, in comparison with not-stored fruits. It is probable that the embryo from unripe seeds had the required structures (radicle, hypocotyl and cotyledons) for germinating, but without the physiological ripeness and the reserves required during germination (Ohto

Germinación y emergencia

El almacenamiento postcosecha de los frutos durante 14 días incrementó el porcentaje de germinación de las semillas en los tres estados de maduración de frutos (R14, 98 %; HR14, 94 % y UR14, 91 %), muy cerca estuvo el porcentaje de germinación de las semillas R7 (91 %); pero, la germinación de HR7 (73 %), HR (69 %) y UR7 (61 %) fue al menos 25 % inferior a la de R14; así mismo, la germinación de las semillas obtenidas de frutos verdes sin almacenar fue la más baja (18 %) (Figura 2A). Es evidente que la maduración del fruto al momento de la cosecha afectó la germinación de las semillas (UR, 18 %; HR, 69 % y R, 83 %). Además, el almacenamiento postcosecha de los frutos antes de obtener sus semillas incrementó el porcentaje final de germinación, sin importar el estado de maduración en el que se cosecharon los frutos, es decir, la germinación de las semillas provenientes de frutos verdes, pintos y maduros almacenados durante 14 días incrementó 73, 25 y 15 %, respectivamente en comparación con los frutos sin almacenar. Es probable que el embrión de las semillas inmaduras (UR) tenga las estructuras (radícula, hipocótilo y cotiledones) necesarias para germinar, pero sin la madurez fisiológica y las reservas que se requieren

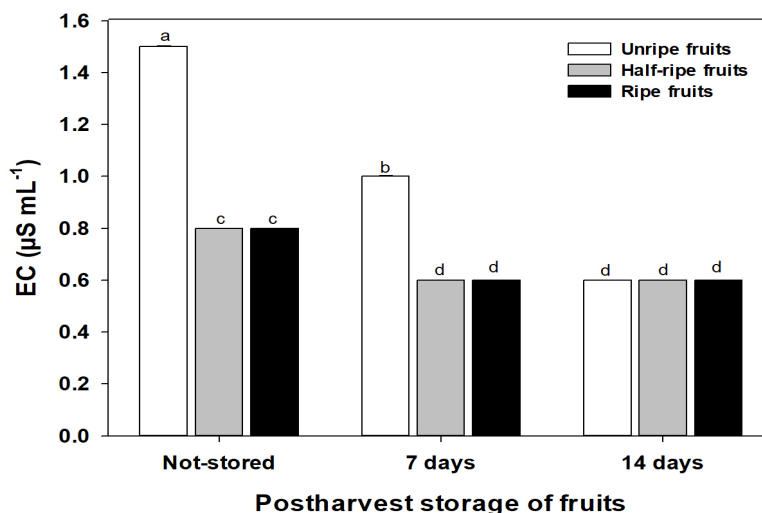


Figure 1. Electrical conductivity (EC) of habanero pepper seeds (*Capsicum chinense* Jacq.) extracted from unripe, half-ripe and ripe fruits; not-stored and stored during 7 and 14 postharvest days. Data were presented as mean $\pm$ S.E.M. Different letters indicate significant differences among treatments (Tukey, $\alpha = 0.05$, LSD = 0.00606). $n = 200$.

Figura 1. Conductividad eléctrica (EC) de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) extraídas de frutos verdes (Unripe), pintos (Half-ripe) y maduros (ripe); sin almacenar (not-stored) y almacenados durante 7 y 14 días postcosecha. Literales diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $\alpha = 0.05$; DMS = 0.00606). $n = 200$.

et al., 2007; Trigiano *et al.*, 2008). Storing habanero pepper fruits (unripe, half-ripe and ripe) for 14 days increased germination with values higher than 90 %, this value is higher than the one required for habanero pepper seeds (85 %) in the categories (basic, registered, certified and enabled) of the SNICS (2014) and higher than the value that was reported by Dos-Santos *et al.* (2016) who obtained 85 % of seeds germination of ripe fruits of *C. chinense* stored for seven days. In this sense, Carrillo *et al.* (2009) mentioned that seeds from *Capsicum* genus completed their physiological ripeness by going through a period of rest that can be from one to six weeks after the fruits were harvested. Seeds viability associated with fruits post-harvest storage times was attributed to the fact that fruits from *Capsicum* genus were climacteric and continued their physiological ripeness in tandem with the embryo of the seed, this allowed the seed to finish its formation process and to decrease the content of abscisic acid (ABA), preparing for germination (Kermode, 1995).

In seedlings emergence, significant statistical differences were observed ($p \leq 0.05$) from the first day after sowing.

durante la germinación (Ohto *et al.*, 2007; Trigiano *et al.*, 2008). Almacenar los frutos de chile habanero (verdes, pintos, maduros) por 14 días incrementó la germinación con valores mayores a 90 %, este valor es superior al requerido para semillas de chile habanero (85 %) en las categorías (básica, registrada, certificada y habilitada) del SNICS (2014) y a lo reportado por Dos-Santos *et al.* (2016) quienes obtuvieron 85 % de germinación en semillas de frutos maduros de *C. chinense* almacenados por siete días. En este sentido, Carrillo *et al.* (2009) mencionan que las semillas del género *Capsicum* completan su madurez fisiológica pasando por un período de reposo, que puede ser de una a seis semanas después de que los frutos fueron cosechados. La viabilidad de las semillas asociada a los tiempos de almacenamiento postcosecha de los frutos se atribuye a que los frutos del género *Capsicum* son climatericos y continúan su maduración fisiológica en paralelo con el embrión de la semilla, esto permite que la semilla termine su proceso de formación y disminuya el contenido de ácido abscísico (ABA) preparándose para la germinación (Kermode, 1995).

En la emergencia de plántulas se observaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) desde el primer día después

Storing post-harvested fruits favored the emergence of seedlings, the treatments R14 (98 %), HR14 (88 %) and UR14 (94 %) exceeded the treatments without storage R (74 %), HR (68 %) and UR (6 %) for 24, 20 and 88 %, respectively; R7 (92 %) was the only treatment of those stored for seven days with seedlings emergence higher than 85 %, the rest of the treatments remained under 80 % (Figure 2B). In this sense, Doijode (2001) mentioned that during fruits post-harvest storage, the embryo continued its physiological ripeness process until completing an adequate formation in all its stages (histodifferentiation, accumulation of reserves and tolerance to desiccation), which triggered changes in endogenous concentrations of gibberellic acid and abscisic acid, this favored seedlings emergence and root length.

Germination and emergence rate

Germination and emergence rates are indicators of the speed at which seeds germinate and seedlings emerge, respectively. Just like percentages of germination (%G), germination rates (GR) of seeds from treatments R14 (19.22 germinated/day), HR14 (20.08 germinated/day), UR14 (17.59 germinate/day) and R7 (16.62 germinated/day) were statistically higher (Tukey, $\alpha = 0.05$) than the rest of the treatments (Table

de la siembra. El almacenamiento de los frutos postcosecha favoreció la emergencia de las plántulas, los tratamientos R14 (98 %), HR14 (88 %) y UR14 (94 %) superaron a los tratamientos sin almacenamiento R (74 %), HR (68 %) y UR (6 %) por 24, 20 y 88 %, respectivamente; R7 (92 %) fue el único de los tratamientos almacenados durante siete días con emergencia de plántulas superior al 85 %, el resto de los tratamientos estuvo por debajo del 80 % (Figura 2B). En este sentido, Doijode (2001) menciona que durante el almacenamiento postcosecha de los frutos, el embrión continúa su proceso de maduración fisiológica hasta completar una adecuada formación en todas sus etapas (histodiferenciación, acumulación de reservas y tolerancia a la desecación), lo cual desencadena cambios en las concentraciones endógenas de ácido giberélico y ácido abscísico, esto favorece la emergencia y la longitud radicular de las plántulas.

Tasa de germinación y emergencia

Las tasas de germinación y emergencia son un indicador de la velocidad a la que germinan las semillas y emergen las plántulas, respectivamente. Al igual que en el porcentaje de germinación (%G), la tasa de germinación (GR) de semillas provenientes de los tratamientos R14 (19.22 germinadas/día), HR14 (20.08 germinadas/día), UR14 (17.59 germinadas/día) y R7 (16.62 germinadas/día) fue estadísticamente superior (Tukey, $\alpha = 0.05$) al resto de

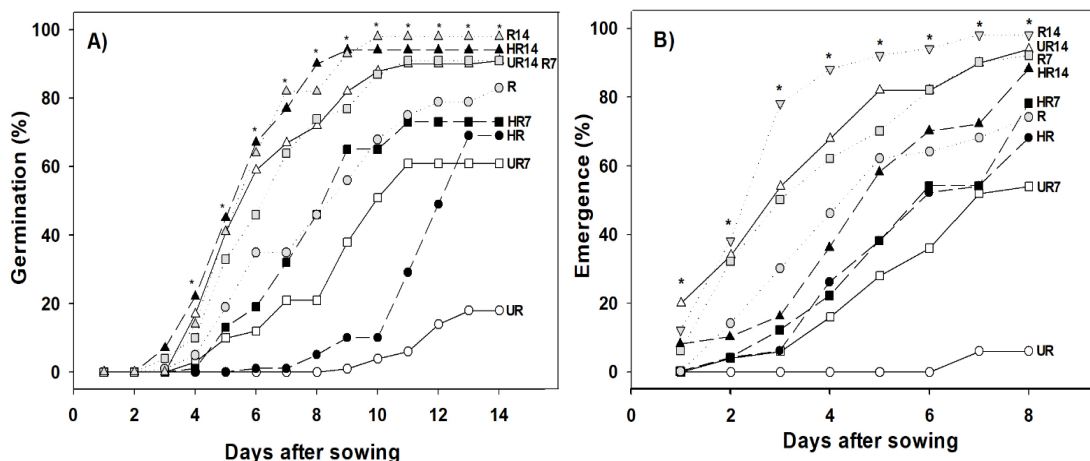


Figure 2. A) Germination and B) Emergence of habanero pepper seeds (*Capsicum chinense* Jacq.) extracted from unripe (UR), half-ripe (HR) and ripe (R) fruits; not-stored (control) and stored during 7 (UR7, HR7 y R7) and 14 (UR14, HR14 y R14) postharvest days. Data were presented as mean, * = significant statistical differences among treatments (ANOVA, $p \leq 0.05$; LSD of %G = 0.177; LSD of %E = 0.294), $n = 100$.

Figure 2. A) Germinación de semillas y B) Emergencia de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) extraídas de frutos verdes (UR), pintos (HR) y maduros (R); sin almacenar y almacenados durante 7 (UR7, HR7 y R7) y 14 (UR14, HR14 y R14) días postcosecha. Los datos son medias, * = diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (ANOVA, $p \leq 0.05$; DMS en %G = 0.177; DMS en %E = 0.294), $n = 100$.

2), this tendency was observed since the seventh day after sowing, where only these treatments (R14, HR14, UR14 and HR7) had exceeded 50 % of germination (Figure 2A). However, in the emergence rate (ER), the number of seedlings emerged per day of R14 (13.93 seedlings/day) was statistically similar to the one of UR14 (12.67 seedlings/day), but superior to the rest of the treatments (Tukey, $\alpha = 0.05$); with the exception of R7 (9.95 seedlings/day) and R (7.05 seedlings/day), treatments from fruits stored for seven days (HR7 and UR7) and not-stored fruits (HR and UR) had emergence rates under 5 seedlings/day (Table 2), which was reflected in the percentage of emergence (Figure 2B). According to Matthew & Khajeh-Hosseini (2006) a slow germination produced heterogeneous seedlings, but high emergence rates correlated with bigger and more homogeneous seedlings (Demir *et al.*, 2008). Likewise, Bradford (2004) and Bewley *et al.* (2013) mentioned that unripe fruits (green) provided low quality seeds, but storing them for a period of time before the extraction of seeds can increase germination up to 73 % and seedlings emergence up to 88 %.

Root length and relative growth rate

In root length of seedlings, significant statistical differences were observed (ANOVA, $p \leq 0.05$) among treatments at 7 das, as well as at 14 das. At 7 das, roots of seedlings from R14 (3.8 cm) were the longest ones; in contrast, roots of seedlings from UR (0 cm) did not grow (Figure 3A). At 14 das, seedlings from R14 had the longest roots (6.3 cm), but values for seedlings from treatments HR14 (5.2 cm), UR14 (5.5 cm) and R7 (5.3 cm) were very close; nevertheless, roots of seedlings from UR were the shortest ones (0.49 cm) (Figure 3A). In the relative growth rate based on root length (RGR_{RL}), similar tendencies were observed. In the three treatments where fruits were stored for 14 days (R14, HR14 and UR14, 1.57, 1.56 and 1.63 mm cm⁻¹ day⁻¹, respectively) and in R7 (1.58 mm cm⁻¹ day⁻¹) and HR7 (1.53 mm cm⁻¹ day⁻¹), there were no significant statistical differences, but they were statistically superior to HR (1.24 mm cm⁻¹ day⁻¹), UR7 (1.33 mm cm⁻¹ day⁻¹) and UR (0 mm cm⁻¹ day⁻¹) treatments (Figure 3B).

In general, root length increased with the storage and with fruit ripeness, in this work the roots of seedlings growing from seeds collected from unripe and half-ripe fruits without storage were the ones presenting the lowest growth (Figure 4). In this regard, Cervantes *et*

los tratamientos (Tabla 2), esta tendencia se observó desde el séptimo día después de la siembra donde sólo estos tratamientos (R14, HR14, UR14 y HR7) habían superado el 50 % de la germinación (Figura 2A). Sin embargo, en la tasa de emergencia (ER) el número de plántulas emergidas por día de R14 (13.93 plántulas/día) fue estadísticamente similar a las de UR14 (12.67 plántulas/día), pero superior al resto de los tratamientos (Tukey, $\alpha = 0.05$); con excepción de R7 (9.95 plántulas/día) y R (7.05 plántulas/día) los tratamientos provenientes de frutos almacenados siete días (HR7 y UR7) y sin almacenar (HR y UR) tuvieron tasas de emergencia por debajo de 5 plántulas/día (Tabla 2), lo cual se reflejó en el porcentaje de emergencia (Figura 2B). De acuerdo con Matthews & Khajeh-Hosseini (2006) una germinación lenta produce plántulas heterogéneas, pero tasas altas de emergencia se correlacionan con plántulas más grandes y homogéneas (Demir *et al.*, 2008). Así mismo, Bradford (2004) y Bewley *et al.* (2013) mencionan que frutos inmaduros (verdes) proporcionan semillas de baja calidad, pero almacenarlos por un periodo de tiempo antes de la extracción de las semillas, puede incrementar la germinación hasta 73 % y la emergencia de plántulas hasta 88 %.

Longitud y tasa de crecimiento relativo de las radículas

En la longitud de raíces de plántulas, tanto a los siete como a los catorce días después de la siembra (das) se observaron diferencias estadísticas significativas (ANOVA, $p \leq 0.05$) entre tratamientos. A los 7 das las raíces de R14 (3.8 cm) fueron las más largas; en contraste, las raíces de UR (0 cm) no crecieron (Figura 3A). A los 14 das R14 tuvo las raíces más largas (6.3 cm), pero los valores de los tratamientos HR14 (5.2 cm), UR14 (5.5 cm) y R7 (5.3 cm) fueron muy cercanos; sin embargo, las raíces de UR fueron las más cortas (0.49 cm) (Figura 3A). En la tasa de crecimiento relativo con base en la longitud radicular (RGR_{RL}) se observaron tendencias muy similares. En los tres tratamientos donde se almacenaron los frutos durante 14 días (R14, HR14 y UR14, 1.57, 1.56 y 1.63 mm cm⁻¹ día⁻¹, respectivamente) y en R7 (1.58 mm cm⁻¹ día⁻¹) y HR7 (1.53 mm cm⁻¹ día⁻¹) no hubo diferencias estadísticas significativas, pero sí fueron estadísticamente superiores a los tratamientos HR (1.24 mm cm⁻¹ día⁻¹), UR7 (1.33 mm cm⁻¹ día⁻¹) y UR (0 mm cm⁻¹ día⁻¹) (Figura 3B).

En general, la longitud radicular de plántulas incrementó con el almacenamiento y con la maduración del fruto, en este trabajo las raíces de las plántulas provenientes de semillas colectadas de frutos verdes y pintos sin almacenar fueron las que menor crecimiento presentaron (Figura 4). Al respecto, Cervantes *et*

Table 2.

Germination rate (GR) and emergence rate (ER) of habanero pepper seeds (*Capsicum chinense* Jacq.) extracted from unripe (UR), half-ripe (HR) and ripe (R) fruits; not-stored (control) and stored during 7 and 14 postharvest days.

Tabla 2.

Tasa de germinación (GR) y emergencia (ER) de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) extraídas de frutos verdes (UR), pintos (HR) y maduros (R); sin almacenar y almacenados durante 7 y 14 días postcosecha.

Treatments	GR	ER
	(germinated/day)	(seedlings/day)
Unripe	0.98 ± 0.26 ^e	0.16 ± 0.11 ^f
Unripe 7 days	7.88 ± 0.75 ^c	3.38 ± 0.33 ^e
Unripe 14 days	17.59 ± 0.61 ^a	12.67 ± 0.57 ^{ab}
Half-ripe	4.00 ± 0.27 ^d	4.30 ± 0.73 ^e
Half-ripe 7 days	10.72 ± 0.67 ^{bc}	4.56 ± 0.25 ^{de}
Half-ripe 14 days	20.08 ± 0.88 ^a	7.19 ± 0.88 ^{cd}
Ripe	12.08 ± 1.13 ^b	7.05 ± 0.84 ^{cd}
Ripe 7 days	16.62 ± 0.36 ^a	9.95 ± 0.43 ^{bc}
Ripe 14 days	19.22 ± 0.55 ^a	13.93 ± 0.63 ^a

Data were presented as mean ± S.E.M. Different letters in the same column indicated significant differences among treatments (Tukey, $\alpha = 0.05$; LSD of GR = 0.051; LSD of ER = 0.057). $n = 100$.

Los datos son medias ± EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $\alpha = 0.05$; DMS en GR = 0.051; DMS en ER = 0.057). $n = 100$.

al. (1998) and Paponov *et al.* (2000) mentioned that the deficiency in the increase of root length left seedlings at a disadvantage to obtain resources to subsist.

According to the ISTA (2004), seed vigor is the total sum of the properties that determine the potential level of activity and development during germination and seedlings emergence. Seeds from ripe fruits *per se* obviously produced more vigorous seedlings, but storing half-ripe and unripe fruits for 14 days before extracting their seeds propitiated the production of vigorous seedlings. In this sense, the embryo of habanero pepper seeds was assumed to continue its ripeness process while remaining attached to the placenta of the fruit, no matter whether the fruit is in the plant or in post-harvest storage. In the seed industry, harvesting unripe and half-ripe fruits for seeds extraction instead of waiting until the fruit reaches its total ripeness in the plant is important because it prevents fruits to be exposed to biotic and abiotic damages in the field. Likewise, advancing fruits harvest (unripe and half-ripe

al. (1998) y Paponov *et al.* (2000) mencionan que la deficiencia en el incremento de la longitud radicular deja en desventaja a las plántulas para obtener recursos para subsistir.

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, propicia la producción de plántulas vigorosas. En este sentido, se asume 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 a que el fruto alcance su madurez total en la planta es importante porque evita la exposición de frutos a daños bióticos o abióticos en campo. De igual manera, adelantar la cosecha de los frutos (verdes

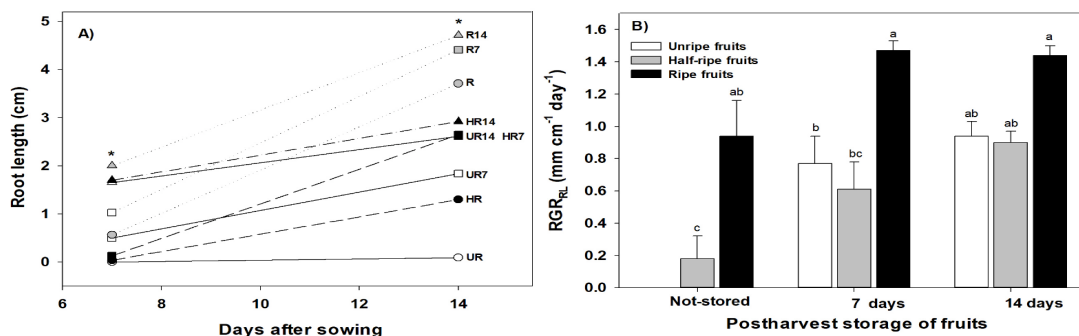


Figure 3. A) Root length (RL) and B) Relative growth rate of RL (RGR_{RL}) of seedlings growing from habanero pepper seeds (*Capsicum chinense* Jacq.) extracted from unripe (UR), half-ripe (HR) and ripe (R) fruits; not-stored (control) and stored during 7 (UR7, HR7 and R7) and 14 (UR14, HR14 and R14) post-harvest days. Data were presented as mean $\pm$ S.E.M., * = significant statistical differences (ANOVA, $p \leq 0.05$). Different letters indicated significant differences among treatments (Tukey, $\alpha = 0.05$; LSD of RL at 7 days = 0.418; LSD of RL at 14 days = 0.856; LSD of RGR_{RL} = 0.366), $n = 50$.

Figura 3. A) Longitud de raíz (RL) y B) Tasa de crecimiento relativo de la RL (RGR_{RL}) de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) provenientes de semillas extraídas de frutos verdes (UR), pintos (HR) y maduros (R); sin almacenar (not-stored) y almacenados durante 7 (UR7, HR7 y R7) y 14 (UR14, HR14 y R14) días post cosecha. Los datos son medias $\pm$ EE. * = diferencias estadísticas significativas (ANOVA, $p \leq 0.05$). Literales diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $\alpha = 0.05$, DMS en RL a los 7 días = 0.418; DMS en RL a los 14 días = 0.856; DMS RGR_{RL} = 0.366), $n = 50$.

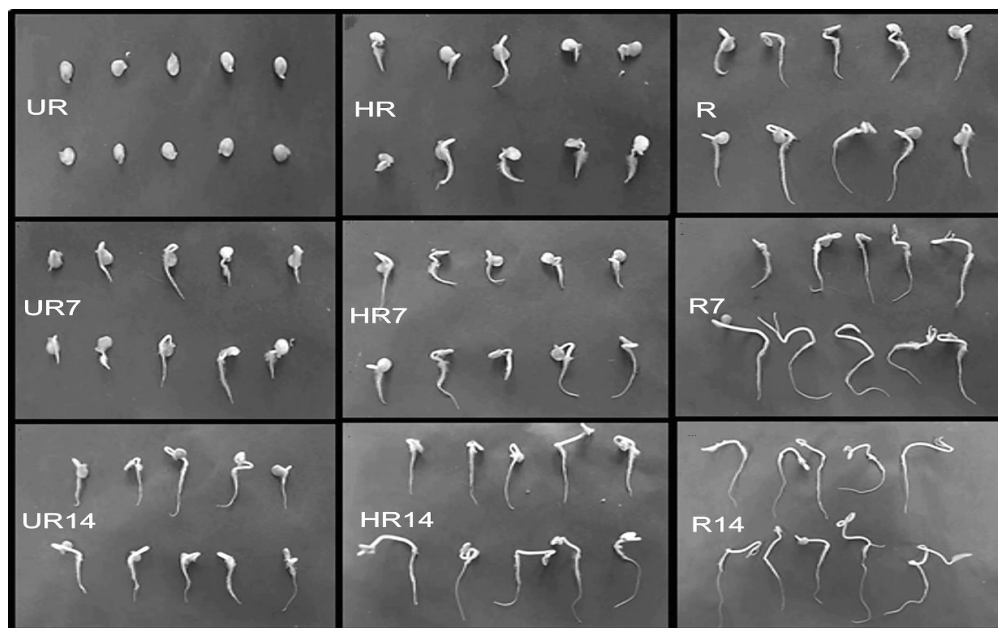


Figure 4. Habanero pepper seeds at seven days after sowing, extracted from unripe (UR), half-ripe (HR) and ripe (R) fruits; not-stored (control) and stored during 7 (UR7, HR7 and R7) and 14 (UR14, HR14 and R14) post-harvest days.

Figura 4. Semillas de chile habanero a los siete días después de la siembra, extraídas de frutos verdes (UR), pintos (HR) y maduros (R); sin almacenar y almacenados durante 7 (UR7, HR7 y R7) y 14 (UR14, HR14 y R14) días postcosecha.

fruits) can increase the number of cuts in the cycle of a crop, because carbon assimilates (photosynthates) that fruits demand for their ripeness are canalized to the formation of new floral primordia (Marcelis *et al.*, 2004; Garruña-Hernández *et al.*, 2012).

Conclusion

Harvesting both unripe and half-ripe fruits and storing them for 14 days increased seeds physiological attributes and seedlings quality, which allowed to obtain similar values to those of the seeds obtained from ripe fruits. Fruits post-harvest storage before seeds extraction increased percentages and rates of germination and emergence, decreased electrical conductivity of the solution where seeds were soaked and increased roots growth of seedlings from the first week after sowing. Considering data generated in this research work, seeds producers were recommended to harvest unripe habanero pepper fruits (unripe and half-ripe) and to store them for 14 days, so that they finalize their ripeness before extracting the seeds; thus obtaining quality seeds and avoiding competition among fruits in the plant.

Acknowledgments

Thanks to CONACYT for the scholarship number 703739 to realize postgraduate studies, to INIFAP Mocochá experimental field and to the Instituto Tecnológico de Conkal for the facilities to carry out this research.

References

- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, W. M. H. and Nonogaki, H. (2013). Seeds physiology of development, germination and dormancy. Third Edition. Springer. New York, U.S.A. 392 p. <https://doi.org/10.1017/S0960258513000287>
- Bradford, K. J. (2004). Seed production and quality. 1st edition. Department of Vegetable Crops. University of California. Davis, California, U.S.A. 134 p.
- Carrillo, E. P., Mejía, J. A., Carballo, A., García, G., Aguilar, V. and 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* 35: 257-266. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812263002>
- Cervantes, V., Arriaga, V., Meave, J. and Carabias, J. (1998). Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico. *Forest Ecology and Management* 110: 329-341. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00298-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00298-9)
- Copeland, L. O. & McDonald, M. B. (2001). Principles of seed science and technology. 4th Ed. Burgess publishing company. pp 122-169. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4>

y pintos) puede incrementar el número de cortes en el ciclo de un cultivo, debido a que los asimilados de carbono (fotosintatos) que demandan los frutos para su maduración se canalizan a la formación de nuevos primordios florales (Marcelis *et al.*, 2004; Garruña-Hernández *et al.*, 2012).

Conclusión

Cosechar frutos tanto verdes como pintos y almacenarlos por 14 días incrementa los atributos fisiológicos de las semillas y la calidad de las plántulas, lo que permite obtener valores similares a los de las semillas obtenidas de frutos maduros. El almacenamiento postcosecha de los frutos antes de la extracción de las semillas incrementó el porcentaje y las tasas de germinación y emergencia, disminuyó la conductividad eléctrica de la solución donde se embebieron las semillas y aumentó el crecimiento en las raíces de las plántulas desde la primera semana después de la siembra. Con los conocimientos generados en este estudio se recomienda a los productores de semillas, cosechar frutos de chile habanero inmaduros (verdes y pintos) y almacenarlos durante 14 días, para que terminen de madurar antes de extraer las semillas; con esto se obtienen semillas de calidad y se evita la competencia entre frutos en la planta.

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por la beca número 703739 para la realización de estudios de posgrado, al INIFAP campo experimental Mocochá y al Instituto Tecnológico de Conkal por las facilidades para realizar esta investigación.

- Demir, I., Ermis, S., Mavi, K. and Matthews, S. (2008). Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules. *Seed Science and Technology* 36: 21-30. <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.1.02>
- Dias, D. C. F. S., Ribeiro, F. P., Dias, L. A. S., Silva, D. J. H. and Vidigal, D. S. (2006). Tomato seed quality in relation to fruit maturation and postharvest storage. *Seed Science and Technology* 34: 691-699. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.3.15>
- DOF, (Declaratoria general de protección de la denominación de origen "Chile habanero de la Península de Yucatán"). (2010). México D.F. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5145315&fecha=04/06/2010
- Doijode, S. D. (2001). Seed storage of horticultural crops. Haworth Press. New York, USA. 339 p. <https://doi.org/10.1201/9781439800072>
- Dos-Santos, H. O., Franchi, S. M., Wallace, R., Oliveira, R. M., Von-Pinho, E. V., Franco, S. D. and Moreira, M. L. (2016). Physiological quality of habanero pepper (*Capsicum chinense*) seeds based on development and drying process. *African Journal of Agriculture*, 11: 1102-1109. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10462>
- Garruña-Hernández, R., Canto, A., Mijangos-Cortés, J. O., Islas, I., Pinzón, L. and Orellana, R. (2012). Changes in flowering and fruiting of Habanero pepper in response to higher temperature and CO₂. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10: 802-808. https://www.researchgate.net/profile/Rene_Garruna/publication/267865766_Changes_in_flowering_and_fruiting_of_Habanero_pepper_in_response_to_higher_temperature_and_CO2/links/545cf0040cf27487b44d458d/Changes-in-flowering-and-fruiving-of-Habanero-pepper-in-response-to-higher-temperature-and-CO2.pdf
- Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Ayala-Garay, O., Santamaría, J. and 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-319520140004000006&script=sci_arttext&tlng=en
- Hunt, R., Causton, D. R., Shipley, B. and Askew, A. P. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of botany*, 90(4), 485-488. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf214>
- ISTA, (International Seed Testing Association). (2004). International Rules for Seed Testing. Rules 2004. ISTA Editions. Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- Kermode, A. R. (1995). Regulatory mechanisms in the transition from seed development to germination: interactions between the embryo and the seed environment. In: J. Kigel, G. Galili, (eds). *Seed Development and Germination*. Marcel Dekker, Inc. New York. pp: 273-332. ISBN 0-8247-9229-7
- 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. *Journal of Experimental Botany* 406: 2261-2268. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh245>
- Matthews, S. & Khajeh-Hosseini, M. (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. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.2.09>
- Ohto, M. A., Stone, S. L. and Harada, J. J. (2007). Genetic control of seed development and seed mass. In: K J Bradford, H Nonogaki (eds). *Seed Development, Dormancy and Germination*. Blackwell Publishing. Iowa, USA. pp:1-49. <https://doi.org/10.1002/9780470988848.ch1>
- Paponov, I. A., Posepanov, O. G., Lebedinskai, S. and Koshkin, E. I. (2000). Growth and biomass allocation with varying nitrogen availability of near-isogenic pea lines with differing foliage structure. *Annals of Botany* 85: 563-569. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1115>
- Powell, A. (1986). Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. *Journal of Seed Technology*, 10(2), 81-100. <http://www.jstor.org/stable/23432796>
- Randle, W. M. & Honma, S. (1981). Dormancy in peppers. *Scientia Horticulturae* 14: 19-25. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(81\)90074-1](https://doi.org/10.1016/0304-4238(81)90074-1)
- SNICS, (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). (2014). Reglas para la calificación de semilla de chile (*Capsicum* spp.). México. 13 p.
- Trigiano, R. N., Follum, R. A. and Beyl, C. A. (2008). Sexual reproduction in angiosperms. In: C A Beyl, R N Trigiano (eds.). *Plant Propagation Concepts and Laboratory Exercises*. CRC Press Taylor & Francis Group. US.A. pp: 379-389.

- Tun, D. J. C. (2001). Chile habanero: Características y tecnología de producción. SAGARPA Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Mochá, Yucatán, México. 74 p.
- Vidigal, D., Dias, D., Naveira, D. S. P. C., Rocha, F. B. and Bhering, M. C. (2006). Qualidade fisiológica de sementes de tomate em função da idade e do armazenamento pós-colheita dos frutos. *Revista Brasileira de Sementes*. 28(3), 87-93. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222006000300013>
- Vidigal, D., Dias, D., Von-Pinho, E. R. V. and Dias, L. A. S. (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. <https://doi.org/10.15258/sst.2009.37.1.21>
- Zavala, M. J., Hernández Pinto, D., Vázquez, M., Hernández Pinto, J., López, A. and 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.). In: XVIII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali Baja California México pp 1028-1035.
- Zavala, M. J., López, A., Santamaría, F. and Baeza, J. J. (2013). Calidad de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) mediante el acondicionamiento postcosecha de frutos. In: 10ª Convención mundial del chile. Durango, Durango. pp: 282-287.