

Preacondicionamiento del agua en la germinación y emergencia de *Capsicum chinense* Jacq.

Alejandro Hernández-López^{1§}
Elda Guadalupe Beltrán-Peña²
Antonia Elenir Amancio Oliveira³
Oscar Nuñez Gaona¹
Alma Xochil Avila-Alejandre¹

¹Universidad del Papaloapan Tuxtepec. Circuito central 200, Parque Industrial, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. CP. 68300. (oscarng@unpa.edu.mx; axavila@unpa.edu.mx). ²Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. (eldabelt@umich.mx). ³Centro de Biociencias e Biotecnología-Universidade Estadual do Norte Fluminense. Av. Alberto Lamego 2000, Parque California, Campos dos Goytacazes, RJ Brazil. CEP. 28013-600. (elenir@uenf.br).

§Autor para correspondencia: alehz74@yahoo.com.mx.

Resumen

El objetivo de este trabajo, fue determinar el efecto del pre-acondicionamiento hídrico sobre el porcentaje de germinación y la emergencia de *Capsicum chinense*. Las semillas fueron cultivadas durante ciclo productivo diciembre 2015 a febrero 2016. Para el pre-acondicionamiento, las semillas se imbibieron con 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 ml de agua. El volumen de 7.5 ml, se usó como referencia. Los resultados de germinación indican que, los tres mejores volúmenes de imbibición fueron 2.5, 3.5 y 5 mL, con una correlación de Pearson de -0.905 ($p= 0.000$) entre el volumen de agua y el porcentaje de germinación acumulada, así como la disminución del tiempo de germinación 50. Posteriormente, las mismas semillas, se trasplantaron para evaluar la emergencia. Los mejores volúmenes de imbibición para la emergencia fueron, en ese orden, 3.5, 5 y 2.5 ml. En la emergencia el volumen con el mejor porcentaje de germinación (2.5 ml), ocupó el tercer lugar, lo que modificó el coeficiente de Pearson a -0.641 ($p= 0.01$). Los resultados sugieren que, un cierto grado de estrés, generado por la disminución en el aporte de agua, favorece la germinación y el establecimiento, lo que podría estar relacionado con la síntesis y acumulación de etileno dentro del sistema de germinación. Por otro lado, el aumento en el diámetro de la película de agua genera disminución en la disponibilidad de oxígeno. La contribución del presente trabajo fue evidenciar que la correcta hidratación de las semillas influencia etapas posteriores de la germinación, sin adicionar reguladores del crecimiento.

Palabras clave: *Capsicum chinense*, germinación, pre-acondicionamiento hídrico.

Recibido: agosto de 2018

Aceptado: octubre de 2018

Introducción

El cultivo de *Capsicum sp.* tiene relevancia cultural y económica en México; en los últimos años, ha comenzado a adquirir una importancia económica considerable en todo el mundo. A pesar de que México es considerado uno de los centros de origen y diversificación del chile, Montes *et al.* (2010); Pérez-Castañeda *et al.*, 2015) este cultivo se cultiva con éxito en China, Turquía, Indonesia, España y Estados Unidos de América; según la FAO (2014), estos países junto con México son los seis mayores productores de chile en todo el mundo. En 2013, China fue el primer país productor con 15 800 000 t, seguido de México con una producción de 2 294 400 t, lo que equivale al 56 y al 8% de la producción mundial, respectivamente, FAO (2014). También hay especies locales que tienen éxito comercial y su cultivo está protegido por denominación de origen. En particular, para *Capsicum chinense* Jacq (mejor conocido como chile habanero), el sector agrícola de la Península de Yucatán, México, obtuvo la denominación de origen en 2005 y en 2012, su producción anual alcanzó 2 615 t con un valor de \$28 487 070.00 pesos (SIAP, 2012; Moo-Muñoz *et al.*, 2016).

Desafortunadamente, los productores de *C. chinense* han reportado importantes problemas asociados con su cultivo, como las semillas de baja calidad, la pérdida de viabilidad debido al tiempo de almacenamiento y, como resultado, los altos costos de las semillas que se reflejan en un aumento en los costos de producción Garruña-Hernández (2014); Moo-Muñoz *et al.* (2016). Algunos autores atribuyen estos problemas a las características fisiológicas de *C. chinense* Garruña-Hernández (2014), mientras que otros los asocian con un manejo deficiente durante el cultivo o el secado y almacenamiento de las semillas (Moo-Muñoz *et al.*, 2016). Para superar estas desventajas, se han explorado diferentes estrategias: i) aseguramiento de la calidad fisiológica durante el desarrollo de la semilla mediante la optimización del proceso de secado; ii) uso de fitoreguladores para mejorar la producción de frutos viables y, por lo tanto, la viabilidad de las semillas Zárate-García *et al.* (2014); y iii) analizar el efecto del precondicionamiento del agua complementado con ácido giberélico (GA3) y ácido abscísico (ABA) para mejorar la germinación y disminuir la pérdida de viabilidad de la semilla (Moo-Muñoz *et al.*, 2016).

La investigación ha demostrado que la calidad de la semilla está determinada genéticamente (procesos fisiológicos de acondicionamiento), aunque hay otros factores involucrados, como la nutrición y la salud de la planta madre y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, dado que la disminución de la viabilidad y la pérdida de la capacidad de germinación aún no están claramente explicadas, es interesante investigar si este comportamiento puede revertirse con tratamientos antes de la siembra que reduzcan el tiempo requerido para la radicación de la protuberancia (germinación) y la emergencia de las plántulas. y que juntos se denominan precondicionamiento (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011). Existen varios métodos de precondicionamiento que pueden clasificarse en a) osmóticos; b) matricial; c) estrés hídrico (Heydeker *et al.*, 1973; Taylor, 1981; Iqbaar y Ashraf, 2005; Artola *et al.*, 2010; Hacisalihoglu y Ross, 2010; Mavi *et al.*, 2010; Sánchez y Muñoz, 2010; Moo-Muñoz *et al.*, 2016). En el precondicionamiento por estrés hídrico, la disponibilidad de agua para la germinación se regula limitando la cantidad y/o el tiempo de hidratación (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011).

Estos estudios se centraron en una etapa fenológica específica y no brindan detalles sobre el efecto de los tratamientos evaluados en las etapas de desarrollo posteriores, sino solo en la germinación, emergencia y establecimiento (brote de la primera hoja verdadera), lo que significa que no se ha

investigado. Si el efecto de los tratamientos de precondicionamiento en el desarrollo de la planta es duradero. Dado que una imbibición adecuada permite la reactivación de procesos metabólicos como la activación de enzimas, mecanismos para la reparación de membrana, ADN y proteínas, elongación celular y la aparición de la radícula, se ha informado ampliamente que la disponibilidad de agua es esencial para la germinación de semillas Dubreocq *et al.* (2000); Maldonado *et al.* (2003), por lo tanto, las plantas deben sincronizar sus ciclos de crecimiento con un suministro de agua adecuado (Foley y Fenhimoe, 1998; Maldonado *et al.*, 2003). No hay información sobre los requisitos de agua para *Capsicum chinense*; El objetivo de esta investigación fue determinar si el precondicionamiento del agua de *Capsicum chinense* Jacq var. Jaguar es suficiente para mejorar los porcentajes de germinación y emergencia.

Materiales y métodos

Material biológico

Las semillas maduras de *Capsicum chinense*, var. Jaguar se obtuvieron del campo experimental de INIFAP Las Huastecas, Tampico, Tamaulipas, México. Las semillas se sembraron en el ciclo productivo de diciembre de 2015 a febrero de 2016. Las semillas fueron tratadas con PIRIMFOS y THIRAM 42% por el proveedor y luego envasadas al vacío en una bolsa oscura. En el laboratorio, las semillas se dividieron en subconjuntos de 300 mg de semillas, se empaquetaron en bolsas de polietileno transparente de 7 x 5 cm y se almacenaron a aproximadamente 25 °C.

Experimento de precondicionamiento y evaluación de germinación

Primero, realizamos la prueba de germinación utilizando papel de enrollar, según los criterios de ISTA (2016, capítulo 5, subsección 5.6.2.1.1, ‘Between paper’) y notamos que los porcentajes máximos de germinación eran muy bajos. Además, al realizar las evaluaciones morfométricas, las raíces solían lesionarse y, finalmente, era difícil controlar la cantidad de agua suministrada. Luego, optamos por realizar otro método ISTA, ‘Top of paper’ en placas de Petri, la secuencia se ilustra en la Figura 1.

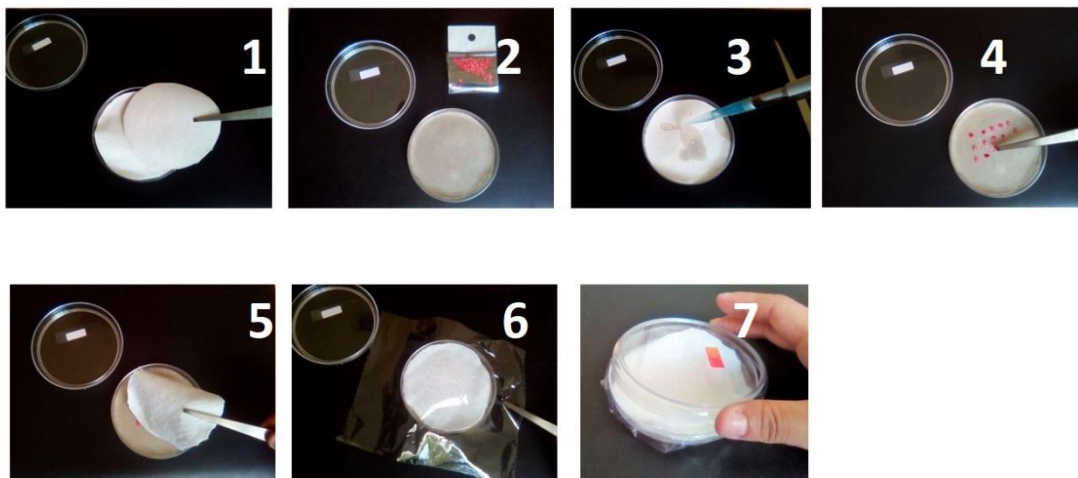


Figura 1. Precondicionamiento de la cápsula de Petri de *Capsicum chinense*. Los números se describen en el texto.

El preacondicionamiento y la germinación se realizaron en placas de Petri de 8.5 cm de diámetro (ISTA, 2016 cap. 5 subsección 5.6.2.1.1), con las siguientes modificaciones: dos círculos de grado alimenticio de papel (estraza) se colocaron dentro (1) y se humedecieron con los diferentes volúmenes de agua: 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 ml (3), se distribuyeron 20 semillas de manera equidistante en este círculo de papel (4). Más tarde, una capa de franela blanca, previamente lavada tres veces con agua destilada y seca, se colocó sobre las semillas (5). El volumen de agua de 7.5 ml se utilizó como control. Este volumen de agua se ajustó al diámetro empleado de la placa de Petri (8.5 cm de diámetro), considerando que Garruña-Hernández (2014) empleó el volumen de 8 ml en la placa de Petri de 9 cm de diámetro. Finalmente, las placas se sellaron con una capa de película de poli (cloruro de vinilo) de calidad alimentaria (Egapack®) (6) y se incubaron en una cámara de germinación durante 4 días a 29 ± 0.5 °C, con control de fotoperíodo a 12 h de luz/12 h de oscuridad (7). Desde el día 4 después del inicio de la imbibición (DAIS), el sello se abrió rápida y cuidadosamente, para verificar la germinación diaria.

Se evaluaron cuatro variables en los experimentos de preacondicionamiento: 1) porcentaje de germinación acumulativa; 2) porcentaje acumulativo de emergencia; 3) longitud de la radícula; y 4) período de latencia de la semilla (días transcurridos hasta la primera semilla germinada).

La germinación acumulada se registró diariamente hasta el día 9 después del inicio de la imbibición (9 DAIS) porque en el experimento piloto, cuando el porcentaje de germinación en 7.5 ml fue similar al reportado por Garruña-Hernández (2014), el tratamiento rápido se completó en la emergencia dentro de placa de Petri. El criterio de germinación fue que la raíz saliente alcanzó 1 mm de largo. Las semillas germinadas a 9 DAIS se trasplantaron a macetas de poliestireno con 5 g de Miracle-Gro (The Scotts Lawn Company, Ohio, EE. UU.), 0.21 N -0.11 P -0.16 K. Las semillas se colocaron a una profundidad de 2.5 cm y las macetas se incubaron en una cámara de crecimiento en las condiciones descritas anteriormente, se riega diariamente con 3 ml de agua destilada y se observa durante los siguientes 10, 13, 14 y 15 DAIS, para registrar la aparición de los cotiledones del sustrato. Se realizaron tres réplicas independientes con tres repeticiones cada una para cada volumen evaluado (n= 9). Los valores cuantitativos se calcularon de la siguiente manera:

Capacidad total de germinación o porcentaje total acumulado de germinación (CTG%).

$$CTG \% = \frac{nFPR}{n} (100)$$

Donde: nFPR= radícula saliente final a los 9 días después del inicio de la imbibición (DAIS); n= número de semillas utilizadas por repetición.

Tiempo inferido para alcanzar 50% de germinación (GT50) y 90% de germinación (GT90). Se calculó mediante la prueba PROBIT utilizando el valor de germinación acumulativa.

Porcentaje total de emergencia o porcentaje acumulativo de emergencia (CE%).

$$CE \% = \frac{nTSEC}{n} (100)$$

Donde: nTSEC= número de plántulas totales con cotiledones emergidos a 15 DAIS; n= número de semillas utilizadas por repetición.

Momento en que ha emergido 90% de las plántulas (ET90). Se calculó mediante la prueba PROBIT utilizando los valores de emergencia acumulados.

Longitud acumulada de la radícula (CRL).

$$CRL = \frac{\sum RL}{n}$$

Donde: $\sum RL$ = suma de la longitud de la radícula en el tiempo determinado; n= número de semillas con al menos 1 mm de longitud de radícula saliente.

Los valores de semillas germinadas por placa de Petri se convirtieron a porcentaje considerando 20 semillas como 100%. Los valores del porcentaje de germinación acumulativa se graficaron y analizaron para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los datos se analizaron de una manera Anova seguido de la prueba de Tukey. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson en 9 DAIS, $p \leq 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software Minitab® (Minitab Inc. 2007), versión 15 para Windows, State College, Pennsylvania, EE. UU. Los gráficos se hicieron utilizando Office Excel 2016 (ver. 1611).

Resultados y discusión

El conjunto de semillas utilizado para el estudio se evaluó de acuerdo con los criterios ISTA; todas las repeticiones alcanzaron más del 70% de germinación; por lo tanto, se consideraron adecuados para los ensayos de Garruña-Hernández *et al.* (2014). En el presente trabajo, estudiamos el efecto del preacondicionamiento del agua en la germinación y emergencia de las semillas; el porcentaje de germinación se cuantificó en placas de Petri, mientras que el porcentaje de emergencia se determinó después de que las semillas germinadas se trasplantaron en macetas con sustrato (Figura 2).

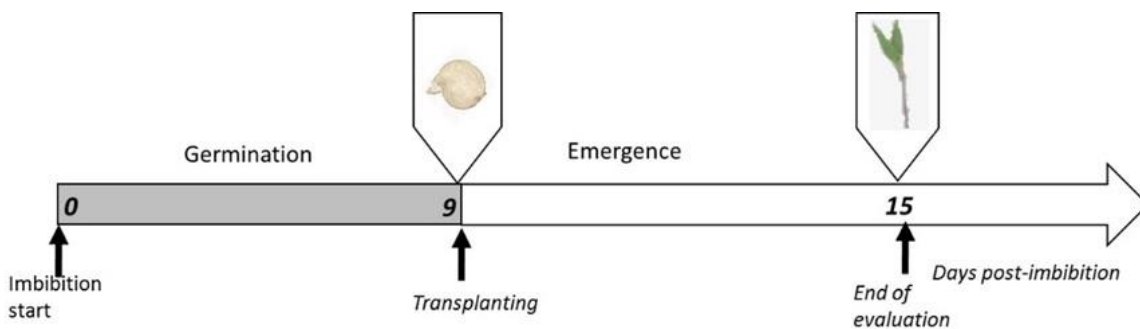


Figura 2. Estrategia experimental. Línea de tiempo que indica los días después del inicio de la imbibición (DAIS). La germinación se evaluó diariamente hasta el trasplante a 9 DAIS y la emergencia hasta 15 DAIS.

La germinación se cuantificó hasta las 9 DAIS, ya que en un ensayo piloto se observó que en este momento, las semillas de dos tratamientos alcanzaron al menos 70% de la germinación. Los resultados del porcentaje de germinación acumulativa con respecto al tiempo se muestran en la Figura 3a, donde se puede observar que 2.5 y 3.5 ml de agua de imbibición aumentaron significativamente ($p \leq 0.05$) el porcentaje de germinación acumulada en comparación con 7.5 ml (volumen de referencia). Esta diferencia aparece desde el cuarto día después del inicio de la imbibición y, excepto en este momento, no hubo diferencias significativas entre 2.5 y 3.5 ml ($p > 0.05$). La Figura 3b muestra los resultados del porcentaje de germinación acumulativa en respuesta al acondicionamiento con agua con 5 y 10 ml en comparación con 7.5 ml (volumen de referencia). El porcentaje de germinación acumulativa aumentó solo en el tratamiento de imbibición de agua de 5 ml desde 7 DAIS ($p \leq 0.05$).

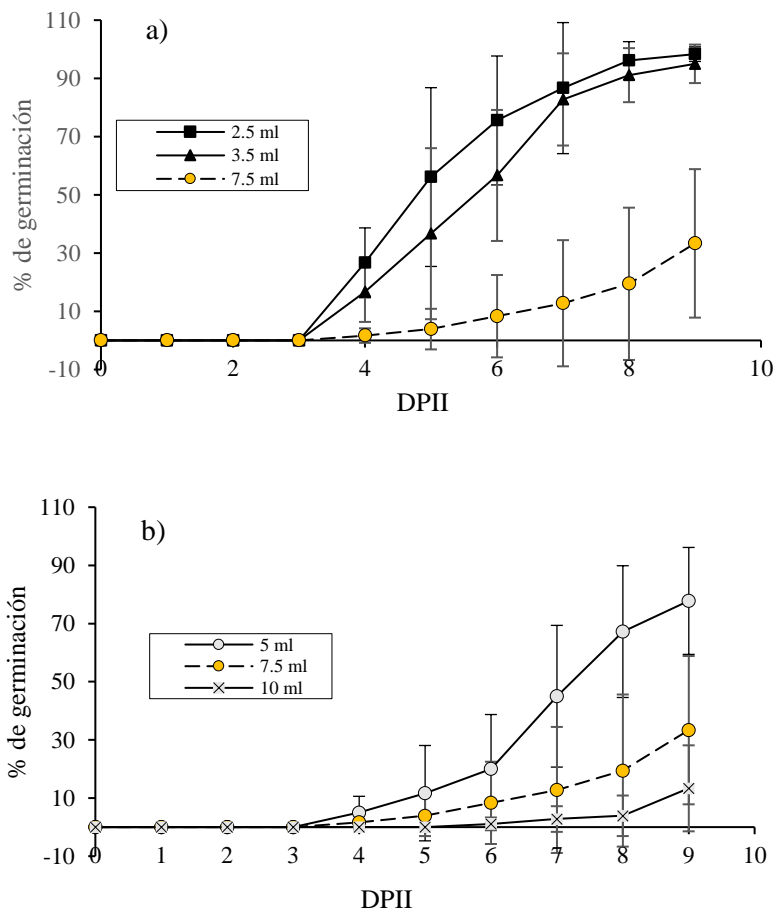


Figura 3. Efecto de diferentes volúmenes de imbibición de agua sobre la germinación de *C. chinense*. a) las semillas se embebieron con 2.5 y 3.5 ml en comparación con el volumen de referencia (7.5 ml); y b) las semillas se embebieron con 5 y 10 ml en comparación con el volumen de referencia (7.5 ml). La germinación se evaluó diariamente después del inicio de la imbibición.

La capacidad de germinación o el porcentaje máximo acumulado de germinación a 9 DAIS mostró una relación inversamente proporcional a la cantidad de agua utilizada para la imbibición de semillas. El coeficiente de correlación de Pearson fue -0.905, $p = 0.000$. No hubo diferencias significativas en el porcentaje máximo de germinación acumulativa a 9 DAIS entre los tratamientos

2.5, 3.5 y 5 ml de agua ($p > 0.05$), aunque mostraron diferentes promedios que pueden ser debidos a la alta variabilidad biológica inherente a las semillas de *Capsicum chinense* (SIPRUFO, 2009; Zárate-García y Sánchez-Azcorra, 2014; Garruña-Hernández *et al.*, 2014; Moo-Muñoz *et al.*, 2016). Además, hubo una disminución significativa en el porcentaje máximo de germinación acumulativa en 10 ml con respecto a 7.5 ml (el volumen de referencia) a 9 DAIS ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1). En la Figura 2, se puede observar que a medida que aumenta el volumen de imbibición, también aumenta la variabilidad, lo que no permite demostrar estadísticamente las diferencias observadas entre todos los resultados.

Cuadro 1. Capacidad de germinación a los 9 DAIS y período de latencia que muestra la desviación estándar, así como comparaciones de prueba de Tukey en pares.

Volumen de preacondicionamiento	N	Capacidad de germinación o porcentaje de germinación final*	Período de latencia*	Inferido GT50 (DAIS)**
2.5	9	98.3 ±2.5 ^A	3.2 ±0.4 ^A	5.19 ±1.4 ^A
3.5	9	95 ±6.6 ^A	3.7 ±2.5 ^A	5.78 ±1.6 ^A
5	9	78 ±18.3 ^A	5 ±1.2 ^A	7.35 ±1.8 ^{AB}
7.5	9	33.3 ±25.5 ^B	7 ±2.3 ^B	9.78 ±2.3 ^{BC}
10	9	13.3 ±14.8 ^B	8.7 ±1.9 ^B	11.19 ±2.1 ^C

* = las medias con letras diferentes son significativamente diferentes, $p \leq 0.05$; ** = datos inferidos por el método Probit utilizando Minitab.

Las radículas de las plántulas se midieron durante la imbibición mostrando resultados similares al patrón de germinación; el estrés por agua limitada favoreció el aumento en la longitud de la radícula (Figura 4), con un coeficiente de correlación de Pearson a 9 DAIS de -085, $p = 0.001$. Sin embargo, el tratamiento con 2.5 ml, hay una disminución en los valores de longitud en 9 DAIS, lo que puede indicar que una disminución excesiva del agua afecta el crecimiento. Estos resultados podrían explicarse, ya que las raíces son el órgano clave para la adaptación a la sequía Maldonado *et al.* (2003); Foolad, (2007); Florido y Fundora (2014) y por lo tanto, el crecimiento y arquitectura responden a las necesidades de los órganos aéreos. Heydecker *et al.* (1973); Petruzelli *et al.* (2003). En otras especies vegetales, se ha determinado que un aumento temprano en la longitud de la raíz es un indicador de resistencia al estrés (Florido y Fundora, 1998; Farooq *et al.*, 2008).

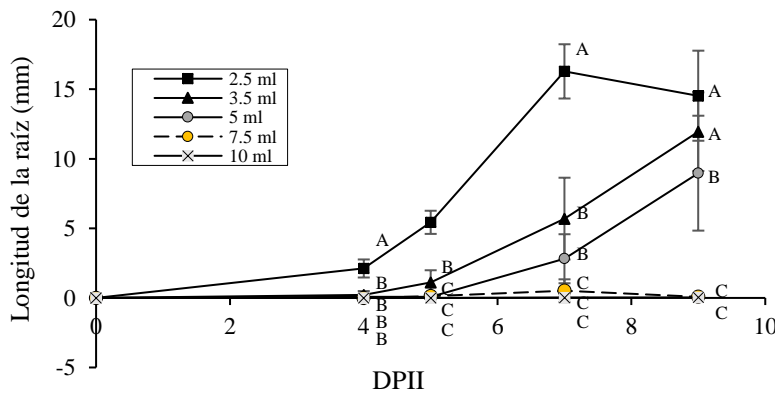


Figura 4. Efecto de diferentes volúmenes de imbibición de agua en la longitud de la radícula de *C. chinense*. Las semillas se embebieron con 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 ml de agua destilada y la longitud de la radícula se midió a 4, 5, 7 y 9 DAIS. El volumen de referencia fue de 7.5 ml.

Para determinar el efecto del volumen de agua en la tasa de germinación, el GT50 se calculó utilizando el método Probit que permite hacer inferencias, asumiendo una distribución normal de los datos. Este enfoque se adoptó por dos razones: a) el aumento del volumen de imbibición produce una mayor variabilidad en los datos; y b) el porcentaje de germinación de 7.5 y 10 ml no alcanzó 50% de germinación en el tiempo evaluado. Los resultados obtenidos permitieron calcular el tiempo necesario para alcanzar 50% de germinación para cada tratamiento de imbibición (Cuadro 1). El volumen de referencia (7.5 ml) tuvo un GT50 de 9.78 días; los volúmenes de 2.5 y 3.5 ml disminuyeron significativamente este tiempo (5.19 y 5.78 días, respectivamente, $p \leq 0.05$), aunque no hubo diferencias significativas entre ellos, mientras que 5 ml no mostraron diferencias significativas en comparación con 7.5 ml. Por el contrario, 10 ml aumentaron significativamente el GT50 (11.19 días). Estos resultados muestran que el estrés por agua limitada, aumenta la tasa de germinación.

Además, el período de latencia en semillas embebidas en volúmenes bajos se reduce significativamente en comparación con el volumen de referencia y 10 ml. El efecto observado es similar a los resultados obtenidos en otros modelos, donde el preacondicionamiento de las semillas incrementó la tasa de germinación y el porcentaje final (Mc Donald, 2000; Foolad, 2007; Labate *et al.*, 2007; Morandi-Dezfulli *et al.*, 2008).

En trabajos anteriores, se menciona que las condiciones de estrés relacionadas con la disponibilidad de agua favorecen la germinación de *Capsicum chinense* (Garruña-Hernández *et al.*, 2014), debido a características genéticas que permiten a las semillas adaptarse a limitaciones de agua (Maldonado *et al.*, 2003). En otros modelos, como algunas variedades de *Zea mays* y *Helianthus annuus* L., una limitación controlada de agua favorece la tasa de germinación tanto con osmóticos como con preacondicionamiento del agua (Dubreug *et al.*, 2000; Mc Donald, 2000; Ramón y Mendoza, 2002; Rojo, 2005; Zhang *et al.*, 2007; Farooq *et al.*, 2008; Guan *et al.*, 2009; FAOSTAT, 2014).

En general, la tendencia de los parámetros evaluados muestra que aumentar la imbibición del agua aumenta el tiempo de germinación, el período de latencia y el GT50 (Tabla 1). Además, otros factores en el sistema deben ser considerados; por ejemplo, oxígeno, que es esencial para el metabolismo aerobio de las semillas (Prisco *et al.*, 1992; Koorneef *et al.*, 2002; Ramón y Mendoza, 2002) y que podría estar menos disponible al aumentar el volumen de agua, formando una película más gruesa que disminuye difusión de este gas. Además, es importante tener en cuenta algunos elementos de la cubierta de la semilla que cuando se remojan en agua dificultan la entrada de oxígeno al embrión (Rojo, 2005; Doria, 2010).

Otra variable importante a considerar es que el sistema utilizado en el presente trabajo está sellado con una película de cloruro de polivinilo, y esto también debe tomarse en cuenta para la acumulación de gases Mavi *et al* (2010) que son productos del metabolismo de las semillas, como el etileno gassemiano que está estrechamente relacionada con la germinación cuando es inhibida por ABA (Beaudoin *et al.*, 2000). En este sentido, se ha informado que el etileno promueve la germinación de las semillas al antagonizar con ABA (Beaudoin *et al.*, 2000; Limkies *et al.*, 2009; Ghassemian *et al.*, 2014). Además, el etileno induce la expresión de genes que codifican enzimas relacionadas con la protuberancia de la radícula, como la β -1,3-glucanasa (Petruzzelli *et al.*, 2003).

Por otro lado, con respecto al promedio del porcentaje de emergencia acumulativa (Figura 5), se puede observar que los valores más altos corresponden a los volúmenes más bajos (3.5, 5 y 2.5 ml, respectivamente) en comparación con el volumen de referencia (7.5 ml), mientras que Los valores

más bajos corresponden a 10 ml. También se observó que cuando el volumen de imbibición aumentaba, la dispersión de los datos también aumentaba a medida que se producía la germinación. Debido a este aumento en la dispersión, solo se encontraron diferencias significativas en 13 DAIS. El coeficiente de correlación de Pearson fue de -0.641, $p= 0.01$ para la distribución de los valores del porcentaje de emergencia frente a los volúmenes de imbibición. Se puede observar que los tratamientos con 3.5 y 5 ml se distribuyen por encima de la línea de regresión, mientras que los datos de 2.5 ml del tratamiento se distribuyen por debajo de la línea de regresión. Los datos del volumen de referencia (7.5 ml) y el tratamiento de 10 ml tuvieron una gran dispersión.

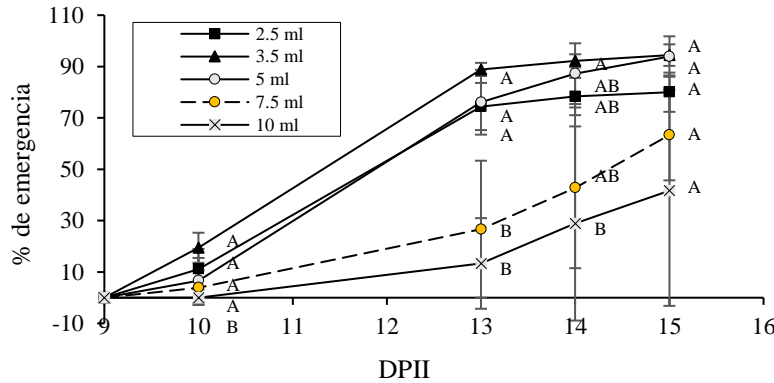


Figura 5. Efecto del volumen de imbibición sobre la emergencia de *C. chinense*. Las semillas embebidas con 2.5, 3.5, 5 y 10 ml de agua y el volumen de referencia (7.5 ml) se trasplantaron al suelo y la emergencia de la planta se evaluó 1, 4, 5 y 6 días después del trasplante.

Es importante notar que a pesar de que 2.5 ml fue el mejor tratamiento para la germinación, al analizar la emergencia, este tratamiento ocupó el tercer lugar. Este comportamiento puede sugerir que, aunque el estrés hídrico limitado favorece la germinación, cuando es excesivo, tiene un efecto negativo en la emergencia (Heydecker *et al.*, 1973; Sánchez *et al.*, 2001; Rojo, 2005; Stepunh y Raney, 2005; Moradi-Dezfulli *et al.*, 2008; Doria *et al.*, 2010; Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011; Florido and Fundora, 2014).

Finalmente, GT90 y ET90 se calcularon mediante el método Probit utilizando el software Minitab. Se trazó un gráfico de barras apiladas con estos valores, para comparar la suma de los tiempos estimados totales en los que se alcanzaría el 90% de emergencia después de trasplantar semillas con 90% de germinación (Figura 6). El tiempo total para las semillas embebidas con el volumen de referencia (7.5 ml) fue de 22.6 días, mientras que para 3,5 ml fue de 13 días, lo que corresponde a aproximadamente la mitad del tiempo (0.59 veces). La suma de GT90 y ET90 de las semillas embebidas con 2.5, 5 y 10 ml fueron 15, 16 y 24 días, respectivamente, y corresponden a 0.68, 0.72 y 1.09 veces la suma de las semillas tratadas con el volumen de referencia. Los resultados muestran que los tratamientos con 3.5 y 5 ml, en ese orden, favorecen la emergencia y aunque 2.5 ml fue el mejor tratamiento para estimular la germinación, ocupó el tercer lugar para la emergencia. Por lo tanto, se puede concluir que una mayor tasa de germinación no necesariamente produce una mejora en el porcentaje de emergencia.

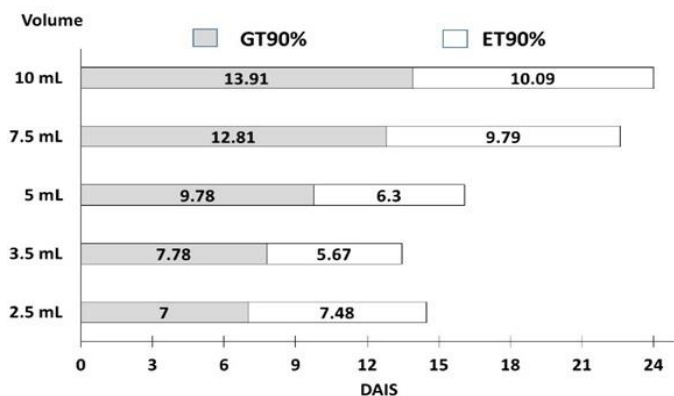


Figura 6. Gráfico de barras apiladas de las estimaciones de GT90 y ET90 calculadas por el método Probit utilizando el software Minitab.

Conclusiones

El preacondicionamiento del agua en las semillas de *C. chinense* fue suficiente para estimular la germinación y disminuir el GT50 y el tiempo de latencia de forma inversamente proporcional, es decir, el mayor porcentaje de germinación y la tasa se obtuvieron con los volúmenes de imbibición de agua más bajos. Sin embargo, cuando se trasplantaron semillas de *C. chinense*, para analizar la emergencia, no hubo una mayor correlación inversa entre el volumen de imbibición y el porcentaje de emergencia, lo que sugiere que una mayor tasa de germinación inducida por bajos volúmenes de agua de imbibición (2.5 ml), no necesariamente resulta en una mejora en la emergencia.

La contribución de este trabajo fue evidenciar que la correcta hidratación de la semilla tiene efecto en etapas posteriores a la germinación, incluso, sin agregar reguladores de crecimiento o inductores. Además, se observó que el preacondicionamiento del agua disminuye el comportamiento errático (grandes desviaciones estándar) de los parámetros analizados durante la germinación.

Se sugiere en estudios futuros el desarrollo de plántulas de *C. chinense*, el preacondicionamiento del agua se debe considerar como la primera opción para optimizar las tecnologías de producción, y GT90 y ET90 se utilizan para predecir tiempos óptimos de germinación y emergencia. Para poder asesorar adecuadamente a los productores, es necesario analizar más etapas fenológicas.

Literatura citada

- Artola, A.; Carrillo, C. G. and De los Santos, G. 2010. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Sci. Technol.* 31(2):455-463.
- Beaudoin, N.; Serizet, C.; Gosti, F. and Giraudat, J. 2000. Interactions between abscisic acid and ethylene signaling cascades. *Plant Cell.* 12(7):1103-1116.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales.* 31(1):74-85.
- Dubreucq, B.; Berger, N.; Vincent, E.; Boisson, M.; Caboche, M. and Lepiniec, I. 2000. The *Arabidopsis Atepr1* extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *J. Plant.* 23(5):643-652.
- FAOSTAT. 2014. [Http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity).

- Farooq, M.; Aziz, T.; Basra, A.; Cheema, M. A. and Rehman, H. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *J. Agron. Crop. Sci.* 194(2):161-168.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Ahmad, N. and Asad, S. P. 2010. Comparative efficacy of surface drying and re-drying seed priming in rice: changes in emergence, seedling growth and associated metabolic events. *Paddy Water Environ.* 8(1):15-22.
- Florido, M. and Fundora, L. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Cultivos Tropicales.* 35(3):70-88.
- Foley, M. E. and Fennimore, S. A. 1998. Genetic basis for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 8(2):173-182.
- Foolad, M. 2007. Tolerance to abiotic stresses. *In: Razdan, M. K. y Matoo, A. K. (Eds.). Genetic improvement of solanaceous crops: tomato.* Science Publishers Enfield. 2:521-590.
- Garruña, H. R.; LaTournerie, M. L.; Ayala, G. O.; Santamaría, J. y Pinzón, L. L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense jacq*). *Agrociencia.* 48(4):413-423.
- Ghassemian, M.; Nambara, E.; Cutler, S.; Kawaide, H.; Kamiya, Y. and McCourt, P. 2000. Regulation of abscisic acid signaling by the ethylene response pathway in *Arabidopsis*. *Plant Cell.* 12(7):1117-1126.
- Guan, Y. J.; Hu, J.; Wang, X. J. and Shao, Ch. J. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 10(6):427-433.
- Hacisalihoglu, G. and Ross, Z. 2010. The influence of priming on germination and soil emergence of non-aged and aged annual ryegrass seeds. *Seed Sci. Technol.* 38(6):214-217.
- Heydecker, W.; Higgins, J. and Gulliver, R. L. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature.* 246(2):42-46.
- Iqbar, M. and Ashraf, M. 2005. Changes in growth, photosynthetic capacity and ionic relations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) due to pre-sowing seed treatment with polyamines. *Plant Growth Regul.* 46(1):19-30.
- ISTA. 2017. International rules for seed testing. International rules for seed testing. <http://www.seedtest.org/en/ista-rules-for-2017--content---1--1448.html>.
- Koornneef, M.; Bentsink, L. and Hilhorst, H. 2002. Seed dormancy and germination. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5(1):3-36.
- Labate, J.; Grandillo, S.; Fulton, T.; Munos, S.; Caicedo, A.; Peralta, I.; Ji, Y.; Chetelat, R.; Scott, J.; Gonzalo, M. 2007. Tomato *In: genome mapping and molecular breeding in plants genome mapping.* Springer International Publishing AG. NY. USA. *Mol Breed.* 5:1-125.
- Linkies, A.; Muller, K.; Morris, K.; Tureckova, V.; Wenk, M.; Cadman, C. S. C.; Corbineau, F.; Strnad, M.; Lynn, J. R.; Finch-Savage, W. E. and Leubner-Metzger, G. 2009. Ethylene interacts with abscisic acid to regulate endosperm rupture during germination: a comparative approach using *Lepidium sativum* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell.* 21(12):3803-3822.
- Maldonado, C.; Pujado, E. and Squeo, F. A. 2003. Phenotypic response of *Lycopersicum chilense* to water deficit. *Rev. Chil. His. Nat.* 76(2):129-137.
- Mavi, K., Light, M. E.; Demir, I.; Staden, V. and Yasar, F. 2010. Positive effect of smoke-derived butenolide priming on melon seedling emergence and growth. *J. Crop Hort.* 38(2):147-155.
- McDonald, M. B. 2000. Seed priming *In: seed technology and its biological basis.* Black, M. and Bewley, D. (Eds). Academic Press, London. 286-32 pp. www.seedbiology.de/seedtechnology.asp.

- Montes, S.; López, P.; Hernández, S. y Ramírez, M. Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México. INIFAP-bajío. www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Capsicum/1er-Informe/Primer%20Informe%20Capsicum.pdf.
- Moo, M. A. J.; Ayala, G. O. J.; Latournerie, M. L.; Tzec, M. Y. A. and Pinzón, L. L. L. 2016. Effect of maturity and drying of *Capsicum chinense* jacq. seeds. *Agroprod.* 9(1):63-67.
- Moradi, D. P.; Sharif, Z. F.; Janmohammadi, M. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines. *ARN. J. Agric. Biol. Sci.* 3(3):22-25.
- Nicasio, A. S.; Sánchez, C. M. E.; Orozco, S. A. y Gamboa, de B. A. 2011. Efecto del preacondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y el crecimiento de plántulas de maíz, (*Zea mays*) raza Chalqueño. *Agrociencia.* 45(2):195-205.
- Pérez-Castañeda, L. M.; Castañón, N. G.; Ramírez, M. M. y Mayek, P. N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* sp. *Ecos. Rec. Agrop.* 2(4):117-128.
- Petruzzelli, L.; Muller, K.; Hermann, K. and Leubner, M. G. 2003. Distinct expression patterns of β -1,3-glucanases and chitinases during the germination of *Solanaceous* seeds. *Seed Sci. Res.* 13(2):139-153.
- Prisco, J. T.; Haddad, C. R. and Bastos, J. L. P. 1992. Hydration-dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. *Rev. Brasil. Bot.* 15(1):31-36.
- Ramón, M. y Mendoza, C. 2002. Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. *Rev. Fac. Agron.* 19(4):264-272. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0378-78182002000400002>.
- Rojo, C. 2005. Acondicionamiento osmótico de simientes de girasol (*Helianthus annuus* L.) para el avance de la germinación en siembras precoces para zonas áridas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. España.
- Sánchez, A. J.; Orta, R. y Muñoz, B. 2001. Tratamientos pre germinativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agr. Cost.* 25(1):67-92.
- SIAP. 2012. Chile habanero de la península de Yucatán <http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com-content&view=article&id=338:chilehabanero-de-la-peninsula-deyucatan&catid=91:infogramas&itemid=570>.
- SIFUPRO. 2009. Paquete tecnológico de chile habanero. Sistema de Información de Fundaciones Produce. Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, AC.
- Stepuhn, H. and Raney, J. 2005. Emergence, height, and yield of canola and barley grown in saline root zones. *Canadian J. Plant Sci.* 85(4):815-827.
- Taylor, G. B. 1981. Effect of constant temperature treatments followed by fluctuating temperatures on the softening of hard seeds of *T. subterraneum* L. *Aust. J. Plant Phys.* 8(6):547-558.
- Zárate, G. A. y Sánchez, A. P. S. 2014. Efecto de reguladores de crecimiento y desarrollo sobre la producción de semillas en chile habanero. *In: informe final de residencia profesional. Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. México.*
- Zhang, C. F.; Hu, J.; Lou, J.; Zhang, Y. and Hu, W. M. 2007. Sand priming in relation to physiological changes. Seed germination and seedling growth of waxy maize under high salt stress. *Seed Sci. Technol.* 35(3):733-738.