

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CHILES SILVESTRES EN RESPUESTA A TRATAMIENTOS PRE-GERMINATIVOS

Seed germination of wild chili peppers in response to pre-germination treatments

¹Gregorio Prado-Urbina, ^{1*}Luz del Carmen Lagunes-Espinoza, ¹Eustolia García-López, ¹Consuelo del Carmen Bautista-Muñoz, ²Wilder Camacho-Chiu, ³Felipe Mirafuentes G, ⁴Víctor Heber Aguilar-Rincón

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n. CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco.

²Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria-Secretaría de Educación Pública, Villahermosa, Tabasco, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, CP. 86400, Huimanguillo, Tabasco, México.

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México-Texcoco, km. 36.5 56230, Montecillo, Edo. de México, México.

*lagunesc@colpos.mx

Artículo científico recibido: 07 de enero de 2014, **aceptado:** 03 de noviembre de 2014

RESUMEN. La baja germinación de semillas de chiles silvestres, asociada a la impermeabilidad de su testa es uno de los factores que limita su propagación. En el estado de Tabasco, los chiles silvestres son importantes en la cultura culinaria regional, por lo que el conocer los factores que influyen en su germinación y desarrollo permitirá su aprovechamiento sustentable. Se compararon siete tratamientos pre-germinativos y dos condiciones de luz para evaluar la velocidad y uniformidad de germinación de diferentes morfotipos silvestres de *Capsicum* sp. Se observó variación en la respuesta a los tratamientos pre-germinativos. El fotoperiodo de 14 h luz y 10 h oscuridad incrementó el porcentaje (PG), el índice (IG) y la velocidad (VG) de germinación en 61.1 %, 73.4 % y 43.5 %, respectivamente, en relación con la condición de oscuridad. La aplicación de HNO₃ al 25 % e hidrotermia (50 °C por 5 min) no incrementó la capacidad de germinación de las semillas. Rangos de PG de 6.0 a 67.5 % se obtuvieron con la aplicación de KNO₃ al 3 %. El PG más alto (> 92 %) se obtuvo al someter las semillas a tratamientos de AG solo y combinado con hidrotermia, independiente de la condición de luz.

Palabras clave: *Capsicum annum*, silvestre, germinación, AG, hidrotermia

ABSTRACT. The low germination of wild chili pepper seeds, together with the impermeability of their testas, is one of the factors that limit their propagation. In the State of Tabasco, wild chili peppers are an essential ingredient for the regional culinary culture. Therefore, knowing the factors that influence their germination and development will lead to their sustainable use. Seven pre-germination treatments and two light conditions were compared to evaluate the germination speed and uniformity of different wild morphotypes of *Capsicum* sp. Variations in pre-germination treatment response were observed. The 14:10 hr light:dark photoperiod increased the germination percentage (PG), rate (IG) and speed (VG) in 61.1 %, 73.4 % y 43.5 %, respectively, in comparison with a condition of darkness. The use of 25 % HNO₃ and hydrothermia (50 °C / 5 min) did not increase the germination capacity of seeds. PG ranges of 6.0 to 67.5 % were achieved by applying 3 % KNO₃. The highest PG (> 92 %) was seen when seeds underwent AG alone treatment combined with hydrothermia, regardless of the light conditions.

Key words: *Capsicum annum*, wild peppers, germination, GA, hydrothermia

INTRODUCCIÓN

La germinación de las plantas es un proceso complejo que comienza con la imbibición, en la

que los distintos tejidos que conforman la semilla absorben grandes cantidades de agua, seguida de una disminución e incremento del nivel de ácido abscísico y giberélico, respectivamente (Nonogaki

et al. 2010). Las semillas que presentan latencia no tienen la capacidad de germinar en un periodo específico de tiempo bajo cualquier combinación de factores ambientales favorables (Baskin y Baskin 2004). Esta influye en la sucesión generacional y es una característica adaptativa que optimiza la distribución de la germinación en el tiempo (Koorneef et al. 2002). Entre las principales causas de latencia se señalan: la impermeabilidad de la cubierta seminal al agua y a los gases, la inmadurez fisiológica del embrión, embriones rudimentarios o incompletamente desarrollados, la resistencia mecánica de la testa y la presencia de inhibidores en el pericarpio o en la semilla (Bewley 1997).

Se han desarrollado y combinado métodos físicos, mecánicos, químicos y biológicos para romper la latencia e inducir la germinación (O'Sullivan y Bouw 1984, Khan y Ungar 1998, Moreno 1996). En algunas solanáceas, como *Lycopersicon esculentum*, *Nicotiana tabacum*, *Capsicum* spp. y *Datura* spp., una de las limitantes parece ser la ruptura del endospermo, el cual debe debilitarse para que la germinación se complete (Buchner et al. 2002, Leubner-Metzger 2003).

En las poblaciones de chiles silvestres los bajos porcentajes de germinación se asocian con la presencia de una testa dura, una cera epicuticular y un alto contenido de ácido absísico en semillas maduras (Leubner-Metzger 2003, Petruzzelli et al. 2003). Esto aunado a que ciertas condiciones ecológicas, como bajo contenido de humedad y temperatura elevada del suelo, son limitantes de la germinación (Tewksbury et al. 1999, Rodríguez del Bosque et al. 2005, Oyama et al. 2006). En estas poblaciones silvestres, los jugos gástricos y la fricción mecánica en la molleja del tracto digestivo de los pájaros que consumen los frutos actúan como escarificadores de la semilla, facilitando la germinación bajo condiciones ecológicas favorables (Tewksbury et al. 1999). Estudios sobre la aplicación de tratamientos inductores de germinación en poblaciones silvestres de *Capsicum* sp., han mostrado variación en el porcentaje y tasa de germinación dentro y entre poblaciones, no importando las condiciones climáticas del sitio de colecta (Hernández-Verdugo et al. 2001). El uso de

ácido giberélico, ácidos fuertes (H_2SO_4 , HNO_3) y tratamientos hidrotérmicos como inductores de germinación ha tenido resultados contrastantes (García et al. 2010, Hernández-Verdugo et al. 2010), lo que hace necesaria su evaluación en cada especie o morfotipo. Una germinación rápida y uniforme es clave para el estudio agronómico, el manejo sustentable, la conservación *in situ* o el mejoramiento genético de las poblaciones silvestres de *Capsicum* sp. del estado de Tabasco, en especial de *C. annuum* var. *grabriusculum* que forma parte de la cultura culinaria del estado (Centurión et al. 2004). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos pre-germinativos sobre la velocidad y uniformidad de germinación de diferentes morfotipos silvestres de *Capsicum* sp. del estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se recolectaron frutos de siete poblaciones silvestres de *Capsicum* sp. de octubre del 2006 a marzo del 2007. En el ámbito local se distinguen los morfotipos: pico paloma con frutos color crema (PPC, morfotipo 1), pico paloma con frutos color verde (PPV, morfotipo 2), pico paloma de frutos pequeños (PPCH, morfotipo 3), amashito con frutos color verde (AV, morfotipo 4), amashito con manchas púrpuras en los frutos (AMP, morfotipo 5), ojo de cangrejo (OC, morfotipo 6) y garbanzo (G, morfotipo 7). La recolecta de frutos se realizó en las rancherías Plátano y Cacao 1ª y 2ª Sección (La Isla), y Marín y González 1ª Sección del municipio de Centro, y en la ranchería Cucuyulapa del municipio de Cunduacán, Tabasco, México. Ambos municipios presentan una temperatura promedio anual de 26.5 °C y precipitación promedio de 2 000 mm (Eric III, 2006).

Los morfotipos colectados se caracterizaron con los descriptores de *Capsicum* del IPGRI, AVRDC y CATIE (1995), por lo que se determinó que los morfotipos 1, 2 y 3 pertenecen a la especie *C. frutescens*, mientras que los morfotipos 4 y 5 se clasificaron como *C. annuum* var. *grabriusculum*; en tanto que en los morfotipos 6 y 7 no se identificó

la especie. Los códigos asignados por el herbario CSAT a un ejemplar de cada morfotipo recolectado fueron CTC0701, CTC0702, CTC0703, CTC0706, CTC0707 y CTC0710, CTC0711 para cada uno de los siete morfotipos, respectivamente.

En 10 plantas de cada morfotipo se recolectaron frutos maduros, sanos y de tamaño uniforme, a los que se les extrajo la semilla de forma manual, descartando las semillas no viables, las delgadas o poco desarrolladas, manchadas y quebradas por flotación en agua, para luego lavarlas y secarlas a temperatura ambiente por 48 h, y determinar el peso de semilla del promedio de dos repeticiones de 1 000 semillas (Tesfaye 1992, ISTA 1999).

Tratamientos pre-germinativos

Los tratamientos evaluados bajo condición de luz y oscuridad (Tabla 1) fueron establecidos de febrero a junio de 2007. Para cada tratamiento y morfotipo se realizaron cuatro repeticiones de 50 semillas, las cuales fueron colocadas sobre papel filtro de poro mediano en cajas de Petri de plástico de nueve cm de diámetro, que se distribuyeron de forma aleatoria en una cámara de crecimiento (Thermo Scientific BK 6160). La temperatura de la cámara de germinación se mantuvo a 25 °C y se incluyeron dos condiciones de luz: 14 h luz (67 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con 10 h de oscuridad y oscuridad completa.

Variables evaluadas

Se realizó el registro diario de la germinación, considerando como semillas germinadas aquellas que tenían una radícula de alrededor de 2 mm de longitud y cotiledones completos. Para mantener la humedad del papel filtro, durante todo el periodo de germinación (30 d) se adicionó agua destilada estéril cada vez que se requería.

Se evaluó la capacidad de germinación de cada morfotipo, calculando: a) el porcentaje de germinación (PG) como la relación entre el número de semillas germinadas y el número de semillas sembradas, de acuerdo a: $PG = \left(\frac{NSG}{NTS}\right)$, donde NSG es el número de semillas germinadas y NTS el número total de semillas sembradas; b) el índice de germinación (IG), que define el tiempo de ger-

minación en relación con la capacidad germinativa: $IG = \Sigma(niti)/NTS$, donde ni es el número de semillas germinadas en el día i y ti es el número de días después de la siembra, y c) la velocidad de germinación (VG), medida como el número de semillas germinadas en relación con el tiempo de germinación: $VG = \Sigma(ni)/t$, donde t es el tiempo de germinación en días desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el programa SAS (SAS 2010). Antes del análisis para obtener una distribución normal aproximada, el porcentaje de germinación se transformó por medio de la función arcoseno de la raíz cuadrada ($\sqrt{\bar{X}}/(100)$). Los datos de IG y VG y los transformados de PG por especie se analizaron por medio de un análisis de varianza en arreglo factorial 2x7 con cuatro repeticiones, siendo los factores las dos condiciones de luz y los siete tratamientos pre-germinativos. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de medias de Tukey a partir de datos no transformados por morfotipo y tratamientos pre-germinativos.

RESULTADOS

El peso promedio de 1 000 semillas varió de 3.1 a 4.2 g en los morfotipos, presentando los mayores pesos los morfotipos 7 y 5 con 4.2 g y 3.8 g, respectivamente. Mientras que el morfotipo 6 fue el que presentó el valor más bajo con 3.1 g (Figura 1).

El análisis de varianza mostró el efecto de la condición de luz, los tratamientos pre-germinativos y la interacción entre ambos para el porcentaje, el índice y la velocidad de germinación de los siete morfotipos (Tabla 2). La condición luz, fotoperiodo de 14 h luz y 10 h oscuridad, afectó de manera positiva y significativa la germinación de las semillas (Tabla 3). Los porcentajes promedios de germinación por morfotipo fueron superiores en la condición de luz/oscuridad, excepto para el morfotipo 7, que presentó diferencias en germinación entre las condiciones de luz evaluadas. En ausencia de luz,

Tabla 1. Tratamientos pre-germinativos aplicados a las semillas de los morfotipos silvestres de *Capsicum* sp. estudiadas.

Table 1. Pre-germination treatments applied to the wild *Capsicum* sp. seed morphotypes studied.

Condición de luz	Tratamiento
a) Luz/oscuridad (14 h luz/10 h oscuridad)	1 Sin tratamiento, sólo adición de agua destilada estéril.
b) Completa oscuridad	2 Inmersión en agua caliente (50 °C) durante cinco minutos.
	3 Inmersión en KNO ₃ al 3 %, durante seis días a temperatura ambiente.
	4 Inmersión en KNO ₃ al 2 %, durante cuatro días a temperatura ambiente.
	5 Inmersión en HNO ₃ al 25 % durante 10 minutos.
	6 Inmersión en agua caliente (50 °C) durante cinco minutos, seguida de una inmersión en ácido giberélico (AG ₃ , Bayer) en solución de 5 000 mg L ⁻¹ durante 24 h a temperatura ambiente.
	7 Inmersión en ácido giberélico (AG ₃ , Bayer) solución de 5 000 mg L ⁻¹ durante 24 h a temperatura ambiente.

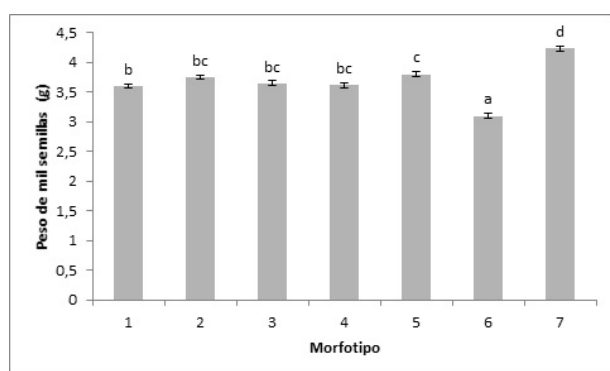


Figura 1. Peso de mil semillas (g) de siete morfotipos de *Capsicum* (media \pm desviación estándar) (Morfotipos con la misma letra no son significativamente diferentes, $p \leq 0.05$). Morfotipo: 1 Pico paloma color crema, 2 pico paloma color verde, 3 pico paloma chico color verde, 4 amashito verde, 5 amashito con manchas púrpuras, 6 ojo de cangrejo 7 garbanzo.

Figure 1. Weight of 1,000 seeds (8g) of seven *Capsicum* morphotypes (mean \pm standard deviation) (Morphotypes with the same letter are not significantly different, $p \leq 0.05$). Morphotype: 1 cream pico paloma, 2 green pico paloma, 3 green small pico paloma, 4 green amashito, 5 amashito with purple spots, 6 ojo de cangrejo and 7 garbanzo.

la germinación en los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5 fue nula o muy baja, mientras que los tratamientos 6 y 7 tuvieron PG superiores a 80 % (Tabla 3), y alto IG y VG (Tabla 4 y 5). El morfotipo amashito de frutos con manchas púrpuras (AMP), en presencia de luz, presentó el más bajo IG en todos los tratamientos pre-germinativos evaluados (Tabla 4), mientras que el morfotipo garbanzo (G) requirió más días para germinar que el morfotipo AMP, además de tener alta VG en todos los tratamientos pre-germinativos con presencia de luz (Tabla 5).

Entre los tratamientos pre-germinativos apli-

cados para inducir la germinación se observaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) (Tabla 2), dependiendo de la respuesta del morfotipo al tratamiento pre-germinativo y a la condición de luz. En el tratamiento 1, el porcentaje de germinación entre morfotipos fue de 1.0 a 14.5 %, destacando los morfotipos 1 y 5 con PG de 8.0 y 14.5 %, respectivamente (Tabla 3); mientras que el resto se ubicó entre 1.0 y 2.5 %. La aplicación de agua caliente a 50 °C mejoró el PG, pero mantuvo el mismo patrón de respuesta que el tratamiento 1 (testigo). El tratamiento de KNO₃ al 3 %, durante 6 d a temperatura ambiente registró porcentajes de germinación que variaron de 6 a 67.5 % entre morfotipos. En este tratamiento, el morfotipo 3 registró el mayor PG (67.5 %), mientras que el morfotipo 7 (G) el más bajo PG (6 %). Los morfotipos 1, 2, 5 y 6 se ubicaron dentro del rango de 46.5 % a 56.0 %, seguidos del morfotipo 4 con 28.5 % de PG. En el tratamiento de KNO₃ al 2 % con tiempo de remojo de 4 d, los porcentajes de germinación fueron similares al del tratamiento 3 (5.5 % a 57.5 %). Destaca el morfotipo 5 con un porcentaje de germinación de 57.5 %, seguido del morfotipo 6 (OC) con 52 %, y los morfotipos 2 y 1 con 47.5 % y 47 %, respectivamente. Por último, los morfotipos 3, 4 y 7 con 19.5 %, 18.0 % y 5.5 %, respectivamente.

Los tratamientos de hidrotermia y ácido giberélico (6 y 7) afectaron de manera positiva la germinación de los morfotipos, con germinaciones superiores a 92 % (Tabla 3). En el tratamiento 7, la germinación fue superior del 93 %; el morfotipo

Tabla 2. Análisis de varianza (ANDEVA) del efecto de la condición de luz, del tratamiento pre-germinativo y su interacción (CL x TP) en la capacidad germinativa de semillas de chiles silvestres de Tabasco, México.

Table 2. Variance analysis (ANOVA) of the effect of light conditions, pre-germination treatment and their interaction (CL x TP) in the germination capacity of wild chili pepper seeds of Tabasco, México.

Fuente de variación	Cuadrados medios		
	PG	IG	VG
Morfotipo 1			
Condición de luz (CL)	10.49***	64.29***	2.79***
Tratamiento pre-germinativo (TP)	1.38***	82.05***	17.45***
CL x TP	1.16***	27.08***	0.18***
Error	0.03	0.96	0.01
Morfotipo 2			
Condición de luz (CL)	10.35***	51.15***	1.98***
Tratamiento pre-germinativo (TP)	1.19***	89.93***	18.96***
CL x TP	0.61**	31.04***	0.29***
Error	0.19	0.22	0.01
Morfotipo 3			
Condición de luz (CL)	12.80***	2.48*	3.73***
Tratamiento pre-germinativo (TP)	1.23***	109.12***	18.62***
CL x TP	0.94***	14.58***	0.61***
Error	0.08	0.43	0.04
Morfotipo 4			
Condición de luz (CL)	9.66***	7.14***	1.02***
Tratamiento pre-germinativo (TP)	1.94***	111.67***	15.00***
CL x TP	0.89***	0.79*	0.11***
Error	0.14	0.18	0.01
Morfotipo 5			
Condición de luz (CL)	4.48***	82.77***	2.92***
Tratamiento pre-germinativo (TP)	0.97***	103.51***	11.59***
CL x TP	1.16***	13.61***	0.55***
Error	0.22	0.44	0.01
Morfotipo 6			
Condición de luz (CL)	6.90***	65.79***	0.98***
Tratamiento pre-germinativo (TP)	2.00***	141.70***	11.67***
CL x TP	0.61*	9.18***	0.66***
Error	0.20	0.30	0.01
Morfotipo 7			
Condición de luz (CL)	0.64***	0.56**	0.01NS
Tratamiento pre-germinativo (TP)	0.20*	122.12***	20.89***
CL x TP	0.19*	0.17**	0.04***
Error	0.07	0.03	0.0031

PG = porcentaje de germinación, IG = índice de germinación, VG = velocidad de germinación, *** p < 0.0001, ** p < 0.01, * p < 0.05, NS = no significativo.

Tabla 3. Porcentaje de germinación (PG) de siete morfotipos de *Capsicum* sp. en respuesta a los tratamientos pre-germinativos.

Table 3. Germination percentage (PG) of seven *Capsicum* sp. morphotypes in response to pre-germination treatments.

Tratamiento	Morfotipo						
	PPC 1	PPV 2	PPCH 3	AV 4	AMP 5	OC 6	G 7
	14 h luz/10 h oscuridad						
1	8.0±1.6 ^c	1.5±1.0 ^d	2.5±1.9 ^{cd}	1.0±1.1 ^f	14.5±7.1 ^d	1.0±1.5 ^d	1.0±1.1 ^b
2	8.0±3.6 ^c	6.0±3.5 ^d	5.5±1.9 ^{cd}	11.0±2.5 ^e	26.0±7.1 ^c	1.5±1.9 ^d	3.5±1.9 ^b
3	52.5±12.2 ^b	54.5±4.4 ^b	67.5±6.8 ^b	28.5±6.1 ^d	56.0±5.6 ^b	46.5±12.5 ^c	6.0±2.8 ^b
4	47.0±5.7 ^b	47.5±1.0 ^c	19.5±2.4 ^c	18.0±8.4 ^c	57.5±8.5 ^b	52.0±8.1 ^c	5.5±1.9 ^b
5	9.0±4.1 ^c	4.5±4.1 ^{de}	12.0±2.8 ^{cd}	2.5±1.0 ^f	1.5±1.9 ^e	4.0±1.6 ^d	0.0±0.0 ^b
6	99.5±1.0 ^a	98.5±3.0 ^a	99.0±1.1 ^a	98.0±2.8 ^a	92.0±2.3 ^a	92.5±4.1 ^{ab}	95.5±1.0 ^a
7	96.5±1.9 ^a	98.0±1.6 ^a	99.0±1.1 ^a	93.0±1.1 ^b	93.5±2.5 ^a	98.5±1.9 ^a	95.5±2.5 ^a
Media	45.7±0.8	44.3±0.4	43.5±1.3	36.0±0.6	48.7±0.8	42.2±0.8	29.6±0.5
	Oscuridad completa						
1	0.0±0.0 ^c	0.0±0.0 ^e	0.0±0.0 ^d	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^e	0.0±0.0 ^d	0.0±0.0 ^b
2	0.0±0.0 ^c	0.5±1.0 ^{de}	0.0±0.0 ^d	0.0±0.0 ^f	0.0±0.0 ^e	0.0±0.0 ^d	4.5±9.0 ^b
3	3.0±3.4 ^c	0.5±1.0 ^{de}	0.0±0.0 ^d	1.5±3.0 ^f	1.5±3.0 ^e	0.5±1.0 ^d	0.5±1.0 ^b
4	0.0±0.0 ^c	0.0±0.0 ^e	1.5±1.9 ^d	0.5±1.0 ^f	3.0±2.5 ^e	1.5±1.9 ^d	0.0±0.0 ^b
5	0.0±0.0 ^c	0.0±0.0 ^e	0.0±0.0 ^d	0.0±0.0 ^f	1.5±1.9 ^e	0.0±0.0 ^d	0.0±0.0 ^b
6	89.5±3.4 ^a	95.5±1.0 ^a	99.5±1.0 ^a	80.0±1.6 ^c	87.0±4.7 ^a	85.0±1.1 ^b	96.0±1.6 ^a
7	98.0±1.6 ^a	95.0±2.5 ^a	96.0±4.3 ^a	89.5±1.9 ^b	94.0±4.3 ^a	91.0±2.0 ^{ab}	97.5±1.0 ^a
Media	27.2±0.8	27.3±0.4	28.1±1.3	24.5±0.6	26.7±0.8	25.4±0.8	28.3±0.6

Medias con la misma letra en la columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). 1 Sin tratamiento, solo agua destilada estéril (Testigo); 2 Agua caliente (50 °C) 5 min; 3 KNO₃ al 3 % 6 d; 4 KNO₃ al 2 %, 4 d; 5 HNO₃ al 25 % 10 min; 6 Agua caliente (50 °C) 5 min+ácido giberélico a 5 000 mg L⁻¹ 24 h; 7 Ácido giberélico a 5 000 mg L⁻¹ 24 h. Morfotipo: 1 PPC Pico paloma frutos color crema, 2 PPV pico paloma frutos color verde, 3 PPCH pico paloma frutos pequeños, 4 AV amashito frutos color verde, 5 AMP amashito frutos con manchas púrpuras, 6 OC ojo de cangrejo, 7 G garbanzo.

amashito presentó el más bajo PG. Mientras que el tratamiento de ácido giberélico (7) mejoró el IG de todos los morfotipos con respecto al tratamiento 6 con excepción del morfotipo PPCH (Tabla 4).

DISCUSIÓN

En el estado de Tabasco, los chiles silvestres son muy utilizados en la gastronomía regional, principalmente el chile amashito (*C. annuum* var. *glabriusculum*) (Centurión et al. 2004), el cual se obtiene de la recolecta de poblaciones naturales o de traspatios (Castañón-Nájera et al. 2008). Para la multiplicación de estos chiles, el peso promedio de 1 000 semillas es una característica a considerar por la relación positiva entre el peso de semillas y el vigor de la plántula. Entre los morfotipos evaluados, los rangos de variación en peso de 1 000 semillas fueron

bajos, en comparación con los pesos de 1.0 a 6.9 g reportados para semillas de poblaciones *C. annuum* var. *glabriusculum* del norte de México (Hernández-Verdugo et al. 2012).

La germinación de las semillas es un proceso relevante para el establecimiento y sobrevivencia, de los chiles silvestres en condiciones naturales, ya que sólo germinan si se someten a un tratamiento especial de ruptura de testa. Al respecto, Hernández-Verdugo et al. (1998 y 2001) indican que la variación en la capacidad de germinación de las poblaciones de chiles silvestres se puede deber a la variación en la impermeabilidad de la testa. Por lo que la baja germinación mostrada por los morfotipos en estudio cuando no se aplicó ningún tratamiento pre-germinativo puede atribuirse a la impermeabilidad de la testa, lo cual puede tener implicaciones en la regeneración natural de las poblaciones de chiles

Tabla 4. Índice de germinación (IG) de siete morfotipos silvestres de *Capsicum* sp. en respuesta a los tratamientos pre-germinativos

Table 4. Germination rate (IG) of seven *Capsicum* sp. morphotypes in response to pre-germination treatments.

Tratamiento	Morfotipo						
	PPC	PPV	PPCH	AV	AMP	OC	G
14 h luz/10 h oscuridad							
1	6.9±4.0	8.8±0.9	8.6±1.6	8.5±2.1	1.2±0.7	1.9±0.0	2.0±0.4
2	0.7±0.6	3.1±2.5	8.7±1.0	8.3±1.6	0.9±0.7	1.7±0.4	2.2±0.2
3	3.1±3.0	6.9±2.1	3.2±0.8	2.3±1.0	2.5±1.2	1.4±0.3	2.4±0.0
4	0.4±0.6	9.1±3.6	1.3±0.5	1.9±0.7	0.3±0.1	2.6±0.5	2.7±0.1
5	6.9±4.4	9.2±2.6	4.4±0.6	4.8±0.0	1.0±1.6	3.6±0.3	2.7±0.2
6	0.2±0.2	0.4±0.7	4.1±0.5	4.6±0.3	1.7±0.8	4.8±0.0	3.6±0.3
7	0.2±0.2	1.7±1.7	1.5±0.6	1.4±1.2	0.0±0.0	2.7±0.0	2.3±0.1
Oscuridad completa							
1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
2	0.0±0.0	0.1±0.1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
3	1.4±1.8	0.1±0.2	0.0±0.0	0.2±0.3	0.2±0.4	0.2±0.4	0.1±0.3
4	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.2	0.1±0.2	3.2±3.4	0.6±0.7	0.0±0.0
5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.5±0.7	0.0±0.0	0.0±0.0
6	2.5±0.2	2.7±0.0	2.5±0.2	2.7±0.0	2.7±0.1	2.7±0.0	2.8±0.1
7	2.8±0.7	2.4±0.3	3.7±0.4	2.7±0.1	3.7±0.1	3.7±0.4	1.9±0.2

1 Sin tratamiento, solo agua destilada estéril (Testigo); 2 Agua caliente (50 °C) 5 min; 3 KNO₃ al 3 % 6 d; 4 KNO₃ al 2 %, 4 d; 5 HNO₃ al 25 % 10 min; 6 Agua caliente (50 °C) 5 min+ácido giberélico a 5 000 mg L⁻¹ 24 h; 7 Ácido giberélico a 5 000 mg L⁻¹ 24 h. Morfotipo: PPC Pico paloma frutos color crema, PPV pico paloma frutos color verde, PPCH pico paloma frutos pequeños, AV amashito frutos color verde, AMP amashito frutos con manchas púrpuras, OC ojo de cangrejo, G garbanzo.

silvestres.

El fotoperiodo ensayado mostró un incremento en el índice, velocidad y porcentaje de germinación en los morfotipos con respecto a la condición de oscuridad. La respuesta a la luz parece indicar que las semillas de los chiles silvestres evaluados se comportan como semillas fotoblásticas positivas (Camargo-Ricalde y Grether 1998, Sawada *et al.* 2008) con latencia fisiológica no profunda (Finch-Savage y Leubner-Metzger 2006), por lo que el ácido giberélico puede romper este tipo de latencia (Baskin y Baskin 2004).

El efecto positivo observado en el PG en la condición de oscuridad, con ácido giberélico (tratamientos 6 y 7), mostró la capacidad de este ácido de sustituir las necesidades de luz e inducir la germinación (Probert *et al.* 1985, Khan y Ungar 1998). Diferentes estudios en otras especies han mostrado que la aplicación de ácido giberélico promueve la germinación al actuar sobre el balance

hormonal que desencadena el proceso de germinación (Camargo-Ricalde y Grether 1998, García *et al.* 2010).

En poblaciones de chiles silvestres, la germinación está fuertemente condicionada por la absorción de agua y oxígeno a través de la testa, lo que activa el rompimiento de la latencia (Leubner-Metzger 2003). Variaciones en la dureza de la testa e impermeabilidad de la capa cerosa de las semillas de las poblaciones en estudio pueden influir en las diferencias observadas en los tratamientos pre-germinativos bajo las condiciones evaluadas. Al respecto Tesfaye (1992) señala estas características como las principales limitantes de la germinación en los chiles silvestres, ya que al reblandecerse la testa, penetra humedad y oxígeno, lo que inicia el proceso de germinación con la activación de enzimas tipo hidrolasas que debilitan la paredes celulares del sitio de emergencia de la radícula (Nonogaki *et al.* 2010). La variación observada en la respuesta

Tabla 5. Velocidad de germinación (VG, semillas día⁻¹) de siete morfotipos silvestres de *Capsicum* sp. en respuesta a los tratamientos pre-germinativos.

Table 5. Germination speed (VG, seeds at d⁻¹) of seven *Capsicum* sp. morphotypes in response to pre-germination treatments.

Tratamiento	Morfotipo						
	PPC	PPV	PPCH	AV	AMP	OC	G
14 h luz/10 h oscuridad							
1	0.3±0.1	0.3±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0	0.0±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0
2	0.0±0.0	0.0±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0	0.0±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0
3	0.0±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.3±0.0
4	0.0±0.0	0.3±0.1	0.0±0.0	0.1±0.0	0.0±0.0	0.3±0.0	0.4±0.0
5	0.2±0.1	0.3±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	0.0±0.1	0.4±0.0	0.3±0.0
6	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0
7	0.0±0.0	0.1±0.1	0.1±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0
Oscuridad completa							
1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
2	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
3	0.1±0.1	0.0±0.0	0.2±0.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
4	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.0±0.0	0.0±0.0
5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
6	0.3±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0
7	0.3±0.0	0.3±0.0	0.4±0.0	0.4±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0

1 Sin tratamiento, solo agua destilada estéril (Testigo); 2 Agua caliente (50 °C) 5 min; 3 KNO₃ al 3 % 6 d; 4 KNO₃ al 2 %, 4 d; 5 HNO₃ al 25 % 10 min; 6 Agua caliente (50 °C) 5 min+ácido giberélico a 5 000 mg L⁻¹ 24 h; 7 Ácido giberélico a 5 000 mg L⁻¹ 24 h. Morfotipo: PPC Pico paloma frutos color crema, PPV pico paloma frutos color verde, PPCH pico paloma frutos pequeños, AV amashito frutos color verde, AMP amashito frutos con manchas púrpuras, OC ojo de cangrejo, G garbanzo.

a los tratamientos pre-germinativos también puede atribuirse a diferencias en la concentración y actividad de estas enzimas en las semillas de los morfotipos evaluados, lo que tendría que determinarse en estudios posteriores.

El tratamiento de hidrotermia incrementó el PG de los morfotipos en estudio hasta en 25 % (morfotipo 5), lo que indica que, aunque se logró debilitar la testa, no fue suficiente para que la protrusión de la radícula ocurriera. El tratamiento con HNO₃ al 25 % no logró incrementar la germinación, ya que el PG no superó al 12 %, lo cual difiere con Sundstrom y Edwards (1989) quienes reportan que la aplicación de este ácido incrementa, hasta en un 93 %, la germinación del chile Tabasco (*Capsicum frutescens* L.). También se ha reportado que el KNO₃ estimula la germinación en semillas de *C. annuum* L., sobre todo en altos potenciales osmóticos (Smith y Cobb 1991), lo que conlleva al incremento del contenido de humedad y actividad metabólica

de la semilla; además de que es un químico de bajo costo en comparación con el ácido giberélico. Sin embargo, en los morfotipos evaluados, el máximo valor de PG obtenido con la aplicación de KNO₃ fue de 67.5 %. Se sabe que el contenido de AG disminuye en la semilla durante su proceso de maduración (Nonogaki *et al.* 2010), pero la imbibición de agua permite la reanudación del metabolismo interno de la semilla incrementando los niveles de éste ácido (Nonogaki *et al.* 2010). Es probable que el tratamiento de hidrotermia haya debilitado las paredes celulares de la testa y la aplicación exógena de una alta concentración de AG haya incrementado la concentración del mismo en el endospermo, promoviendo el crecimiento del embrión (Kuzera *et al.* 2005) y con ello, el rompimiento de los tejidos que rodean la radícula, lo que favoreció la germinación de la semilla.

En los morfotipos en estudio se lograron porcentajes superiores a 90 % con la aplicación de AG,

los cuales son altos en relación con los obtenidos en otras poblaciones de chiles silvestres con la aplicación de AG (44 % y 83 %) (García *et al.* 2010). Al respecto Khan y Ungar (1998) indican que la efectividad del AG varía de acuerdo con su composición y concentración. Es interesante observar que con la aplicación de AG (tratamiento 7) se lograron altos porcentajes y velocidad de germinación, aunque fue más uniforme entre los morfotipos cuando se sometieron al tratamiento con hidrotermia y AG (6) (Tabla 3).

Los morfotipos de chiles silvestres evaluados mostraron alta variación en la respuesta a los tratamientos pre-germinativos, excepto en la condición de oscuridad en la que el tratamiento de AG incrementó el porcentaje de germinación en todos los morfotipos, e incluso la velocidad de germinación en los tratamientos 6 y 7. La aplicación exógena del AG en presencia de luz incrementó los porcentajes de germinación en los morfotipos de chiles silvestres evaluados. Debido a las diferencias en PG de los diferentes morfotipos de chiles silvestres evaluados, es probable que ciertas características de las semillas, de manera particular la dureza de la testa, hayan afectado su comportamiento y capacidad de respuesta a los tratamientos de germinación.

Las características endógenas del metabolismo de las semillas y el efecto de fac-

tores ambientales como la temperatura, humedad y nutrición que influyen en el metabolismo hormonal durante el proceso de germinación (Nonogaki *et al.* 2010), deberían ser estudiadas en semillas de *C. annuum* var. *grabriusculum* para una mejor comprensión del proceso germinativo que permita su manejo agronómico.

CONCLUSIONES

Los morfotipos de chiles silvestres mostraron amplia variación en respuesta a los tratamientos pre-germinativos aplicados, excepto bajo la condición de oscuridad. La aplicación de AG y agua caliente en presencia de luz incrementó los porcentajes de germinación de todos los morfotipos. Estos resultados pueden ser de utilidad para la conservación *in situ* de estos chiles silvestres o para su desarrollo agronómico.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de sus estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

- Baskin JM, Baskin CC (2004) A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14: 1-6.
- Bewley DJ (1997) Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9: 1055-1066.
- Buchner P, Rochat C, Wuilleme S, Boutin JP (2002) Characterization of a tissue-specific and developmentally regulated β -1,3-glucanase gene in pea. *Plant Molecular Biology* 49: 171-186.
- Camargo-Ricalde SL, Grether R (1998) Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (Leguminosae) en México. *Revista de Biología Tropical* 46: 543-554.
- Castañón-Nájera G, Latournerie-Moreno L, Mendoza-Elos M, Vargas-López A, Cárdenas-Morales H (2008) Colección y caracterización de Chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Phyton Revista Internacional de Botánica Experimental* 77: 189-202.
- Centurión HD, Espinoza MJ, Cázares CJG (2004) Inventario de recursos fitogenéticos agroalimentarios de Tabasco. Fundación Produce Tabasco A.C., ISPROTAB, UJAT, SIGOLFO. 143 p.
- Eric III (2006). Banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Instituto de Tecnología del Agua (IMTA). <http://www.imta.gob.mx>. Fecha de consulta 13 de octubre de 2014.

- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G (2006) Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171: 501-523.
- García FA, Montes HS, Rangel LJA, García ME, Mendoza EM (2010) Repuesta fisiológica de la semilla de chile piquín [*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 203-216.
- Hernández-Verdugo S, Guevara-González RG, Rivera-Bustamante RF, Vázquez-Yanes C, Oyama K (1998) Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) como recursos genéticos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 171-181.
- Hernández-Verdugo S, López-España RG, Porras F, Parra-Terrazas S, Villarreal-Romero M, Osuna-Enciso T (2010) Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chiles silvestres. *Agrociencia* 44: 667-677.
- Hernández-Verdugo S, Porras F, Pacheco-Olvera A, López-España RG, Villarreal-Romero M, Parra-Terraza S, et al. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica* 33: 175-191.
- Hernández-Verdugo S, Oyama K, Vázquez-Yanes C (2001) Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in México. *Plant Ecology* 155: 245-257.
- International Seed Testing Association- ISTA (1999) International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology* 27, Supplement, 333 p.
- IPGR, AVRDC, CATIE (1995) Descriptores para *Capsicum* (*Capsicum* spp.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro Asiático para el desarrollo y la investigación relativos a los vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 51 p.
- Khan MA, Ungar IA (1998) Seed germination and dormancy of *Polygonum aviculare* L. as influenced by salinity, temperature and gibberellic acid. *Seed Science and Technology* 26: 101-117.
- Koornneef M, Bentsink L, Hilhorst H (2002) Seed dormancy and germination. *Current opinion in Plant Biology* 5: 33-36.
- Kuzera B, Cohn MA, Leubner-Metzger G (2005) Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research* 15: 281-307.
- Leubner-Metzger G (2003) Functions and regulation of β -1,3-glucanases during seed germination, dormancy release and after-ripening. *Seed Science Research* 13: 17-34.
- Moreno ME (1996) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 393 p.
- Nonogaki H, Bassel GW, Bewley JD (2010) Germination-Still a mystery. *Plant Science* 179: 574-581.
- O'Sullivan J, Bouw WJ (1984) Pepper seed treatment for low-temperature germination. *Canadian Journal of Plant Science* 64: 387-393.
- Oyama K, Hernández-Verdugo S, Sánchez C, González-Rodríguez A, Sánchez-Peña P, Garzón-Tiznado JA, et al. (2006) Genetic structure of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from northwestern Mexico analyzed by RAPDs. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 553-562.
- Petruzzelli L, Müller K, Hermann K, Leubner-Metzger G (2003) Distinct expression patterns of β -1,3-glucanases and chitinases during the germination of Solanaceous seeds. *Seed Science Research* 13: 139-153.

- Probert RJ, Smith RD, Birch P (1985) Germination responses to light and alternating temperatures in European populations of *Dactylis glomerata* L. I. Variability in relation to origin. *New Phytologist* 99: 305-316.
- Rodríguez del Bosque LA, Sánchez-de la Cruz R, Silva-Serna MM (2005) Effect of sunlight regimes on growth and yield of piquin pepper. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 357-359.
- SAS Institute (2010) SAS System for Windows, Release 9.3, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Sawada Y, Katsumata T, Kitamura J, Kawalde HC, Nakajima M, Asami T, et al. (2008) Germination of photoblastic lettuce seeds is regulated via the control of endogenous physiologically active gibberellins content, rather than of gibberellins responsiveness. *Journal of Experimental Botany* 59: 3383-3393.
- Smith PT, Cobb BG (1991) Accelerated germination of pepper seeds by priming with salt solutions and water. *HortScience* 26: 417-419.
- Sundstrom FJ, Edwards RL (1989) Pepper seed respiration, germination and seedling development following seed priming. *Hortscience* 24: 343-345.
- Tesfaye M (1992) The effect of soaking, temperature and other pretreatment on the germination of onset seed. *Seed Science and Technology* 20: 533-538.
- Tewksbury JJ, Nabham GP, Norman D, Suzán H, Tuxil J, Donovan J (1999) In situ conservation of wild chiles and their biotic associated. *Conservation Biology* 13: 98-107.

