



Germinación de dos especies del género *Acacia* a temperaturas elevadas simulando cambio climático

Germination of two *Acacia* species at elevated temperatures simulating climate change

Héctor E. Cortés-Cabrera¹, Regina Pérez-Domínguez¹, Joel Flores², Marco González-Tagle¹, Gerardo Cuéllar-Rodríguez¹ y Enrique Jurado^{1*}

Abstract:

Temperature increase can affect germination in a positive or negative way. A temperature increment of 0.6 °C occurred during the last decades, and by 2099 an increment of 1.5 to 4.7 °C is expected. The aim in this study was to evaluate seed germination from certain provenances of *Acacia farnesiana* and *A. schaffneri* at different temperatures. The information generated thereby will make it possible to determine the ability of these two species to adapt to global warming. Fruits were collected from at least 10 mother plants per provenance per species; seeds were scarified and sown in soil in plastic trays, placed inside an incubator at actual soil temperature (Control (T0)), and subjected to 5 treatments with increased temperature: Control temperature +2 °C (T1), +5 °C (T2), +7 °C (T3), +10 °C (T4) and +15 °C (T5) for 15 days. *A. farnesiana* showed higher germination at T2 and T3, while *A. schaffneri* presented its higher germination at T2; there were not significant differences between the two species. *A. farnesiana* seeds had the fastest germination (t50) at T3, with significant differences between provenances (the fastest germination occurred at the School of Forest Sciences, UANL), and *A. schaffneri* seeds germinated fastest at T1, without significant differences between provenances. The results suggest that both species and their provenances can germinate if temperatures increase according to the current predictions.

Key words: *Acacia farnesiana* (Linn.) Willd., *Acacia schaffneri* (L.) Willd., global warming, germination rate, provenances, germination speed.

Resumen:

El incremento en las temperaturas puede afectar de forma positiva o negativa la germinación. Se estima que la temperatura se incrementó en las últimas décadas 0.6 °C y se espera que para el año 2099 aumente entre 1.5 y 4.7 °C. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la germinación de semillas de siete procedencias de *Acacia farnesiana* y tres de *A. schaffneri* a diferentes temperaturas. La información generada permitirá conocer la respuesta de ambas especies ante el incremento de las temperaturas. Se recolectaron frutos de al menos 10 plantas madre/por procedencia/taxón, se escarificaron las semillas, sembraron en charolas de plástico y se colocaron en una germinadora a temperatura de suelo real (Testigo (T0)), y cinco tratamientos con aumento de temperatura: testigo +2 °C (T1), +5 °C (T2), +7 °C (T3), +10 °C (T4) y +15 °C (T5), durante 15 días. *A. farnesiana* presentó un mayor porcentaje de germinación en el T2 y T3; mientras que *A. schaffneri* en el T2; no hubo diferencias significativas entre las procedencias de cada una de las especies. *A. farnesiana* germinó con mayor rapidez (t50) en el T3, con diferencias significativas entre procedencias (mayor velocidad FCF) y *A. schaffneri* en el T1, sin diferencias significativas entre sus procedencias. Los resultados sugieren que ambas taxa y sus procedencias tienen la capacidad de germinar si las temperaturas aumentan conforme a los pronósticos.

Palabras clave: *Acacia farnesiana* (Linn.) Willd., *Acacia schaffneri* (L.) Willd., calentamiento global, porcentajes de germinación, procedencias, velocidad de germinación.

Fecha de recepción/Reception date: 16 de marzo de 2018

Fecha de aceptación/Acceptance date: 25 de septiembre de 2018

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Correo-e: enrique_jurado@hotmail.com

²División de Ciencias Ambientales - IPICYT, México.

Introducción

El aumento de temperatura puede afectar los procesos de germinación de las semillas (Mann *et al.*, 1998; Hughes, 2000). Cabe mencionar que el beneficio es positivo en áreas templadas, mientras que en especies de zonas más cálidas el efecto no sería el mismo (Fenner y Thompson, 2005). La temperatura media superficial de la tierra se incrementó un promedio de 0.6 °C en el siglo XX y se pronostica que para el 2099 la temperatura sea entre 1.5 y 4.7 °C (Mann *et al.*, 1998; Solomon *et al.*, 2007; Field *et al.*, 2014). Algunos escenarios relacionados con el cambio climático plantean el desplazamiento de las temperaturas, del ecuador hacia los polos, y de menores a mayores altitudes (Jurado *et al.*, 2011; Loarie *et al.*, 2009; Solomon *et al.*, 2007); por tal motivo, se espera que exista un desplazamiento de las especies en igual sentido (Root *et al.*, 2003; Parmesan y Yohe, 2003, Peñuelas *et al.*, 2007).

La germinación de semillas en áreas fuera de los límites de distribución de cada taxón es el principal promotor del desplazamiento de los taxa vegetales (Holtmeier y Broll, 2005; Fenner y Thompson, 2005). Otros autores señalan la existencia de un desplazamiento de la vegetación hacia altitudes superiores (Danby y Hik, 2007; Pepin *et al.*, 2015). Los principales factores que influyen, directamente, en la germinación son la disponibilidad de agua, temperatura adecuada y la aireación del suelo (Baskin y Baskin, 2001; Benech-Arnold y Sánchez, 2004).

Anomalías en el clima como lluvias extraordinarias o fuera de temporada, sequías, entre otros pueden anular los procesos de dinámica de la vegetación, especialmente en la germinación de las semillas (Savage *et al.*, 1996). Se ha observado una relación entre el aumento de las temperaturas y el desplazamiento de las especies, lo cual podría causar grandes cambios en su distribución y abundancia (Root *et al.*, 2003; Parmesan y Yohe, 2003).

La riqueza de especies creció en zonas bajas de los Alpes, lo cual quizás responde al desplazamiento de taxa del tipo de vegetación adyacente inferior a las altitudes mayores (Grabherr *et al.*, 1994). Los cambios de temperatura que ocurren durante

el día reflejan mejor las condiciones naturales y son más favorables para la germinación que las temperaturas constantes (Silva y Aguiar, 2004).

Acacia farnesiana (L.) Willd y *A. schaffneri* (S. Watson) F. J. Herm. tienen importancia económica y ecológica, presentan resistencia a altas temperaturas y sequías; además de, que se utilizan ampliamente como combustible, alimento para el ganado, fuente de aceites esenciales y curtientes (García-Winder *et al.*, 2009). *A. farnesiana* tiene un intervalo de distribución amplio, se desarrolla en América, desde Argentina hasta el sur de los Estados Unidos de América, así como en África, Australia y algunas partes de Europa (Arévalo *et al.*, 2010); mientras que *A. schaffneri* tiene distribución menos amplia, ocurre del norte de Oaxaca hasta el sur de Texas y no presenta un comportamiento invasivo (Valiente-Banuet *et al.*, 2000). *A. farnesiana* es considerada una especie invasora (Arévalo *et al.*, 2010; Cavalcante y Cox, 2016).

La distribución de las especies depende, en gran medida, de la capacidad que tienen para germinar en determinado intervalo de temperaturas, distribución que es amplia o corta (Fenner y Thompson, 2005). Las condiciones climáticas de diferentes procedencias de las semillas pueden influir en los requerimientos de temperatura para la germinación en una misma especie (Mondoni *et al.*, 2008). Así, además de la importancia económica y ecológica de *A. farnesiana* y *A. schaffneri*, la distribución natural contrastante sugiere una capacidad adaptativa diferencial por lo que pueden ser útiles como modelos de estudio.

En algunas investigaciones de germinación, como la de *A. polyphylla* DC. se determinó que no hay efecto al aumentar las temperaturas, pero sí se observó una mayor velocidad de germinación (Neto *et al.*, 2003); mientras que, para *A. schaffneri* y otras del desierto Chihuahuense como *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C.Johnst., *Yucca decipiens* Trel. y algunas suculentas tuvieron el mayor porcentaje de germinación y una velocidad de germinación más alta (Pérez-Sánchez *et al.*, 2011). Cuando se presenta menor velocidad de germinación, se disminuye la oportunidad de establecimiento de las semillas ante un escenario de cambio climático, lo cual repercutirá a su vez en la distribución de la misma especie (Pérez-Sánchez *et al.*, 2011).

El conocimiento de las relaciones que existen entre el aumento de las temperaturas y sus consecuencias en la germinación de semillas, es de vital importancia para determinar los posibles desplazamientos de las especies (Smith *et al.*, 2009) y de esta manera, poder generar planes de regeneración o reforestación. En este estudio se evaluó la germinación de semillas de siete procedencias de *A. farnesiana* y tres de *A. schaffneri* a diferentes temperaturas; se espera obtener mayores porcentajes de germinación a mayores temperaturas y en procedencias de mayores elevaciones.

Materiales y Métodos

La recolecta de frutos maduros se realizó en 10 árboles Padre por especie y procedencia para evitar un sesgo por la variación genética. El trabajo se hizo durante el verano del 2011, en nueve localidades del país, con la finalidad de incluir la diversidad genética y conocer si existen diferencias entre las procedencias (Cuadro 1).



Cuadro 1. Altitud, temperatura y precipitación de las procedencias de las semillas de *Acacia farnesiana* (L.) Willd. y *Acacia schaffneri* (L.) Willd., así como del tipo de vegetación existente en el área de colecta (SMN, 2011; Inegi, 2016).

Especie	Procedencias	Estado	Elevación msnm	Coordenadas	Temperatura septiembre (°C)	Precipitación septiembre (mm)	Tipo de Vegetación
<i>Acacia farnesiana</i>	Facultad de Ciencias Forestales	Nuevo León	350	24°57'33" N 99°32'30" O	Promedio: 22.8 Máx: Sep 32.8 Mín: Sep 20.6	174.6	Matorral Espinoso Tamaulipeco
	Carretera Linares/Iturbide	Nuevo León	450	24°46'51" N 99°40'03" O	Promedio: 21.3 Máx: 30.4 Mín: 18.1	260.8	Matorral Submontano
	Ej. Los Ángeles	Nuevo León	550	24°47'33" N 99°49'20" O	Promedio: 22.1 Máx: 31.7 Mín: 20.2	211.6	Matorral Submontano
	Ej. Agua de la Mula	Coahuila	1 250	25°29'33" N 101°23'49" O	Promedio: 27.0 Máx: 28.7 Mín: 15.1	59.2	Matorral Desértico Rosetófilo
	Ej. Puebla	Coahuila	1 430	25°25'52" N 101°17'53" O	Promedio: 27.0 Máx: 28.7 Mín: 15.1	59.2	Matorral Desértico Rosetófilo y Matorral Desértico Micrófilo
	Ej. 5 de Mayo	Coahuila	1 700	25°23'18" N 101°15'54" O	Promedio: 27.0 Máx: 28.7 Mín: 15.1	59.2	Matorral Desértico Rosetófilo
	Chiapa de Corso	Chiapas	1 880	16°47'15" N 92°51'07" O	Promedio: 16.7 Máx: 25.4 Mín: 12.0	86.9	Selva Baja Caducifolia
<i>Acacia schaffneri</i>	Nazas	Durango	1 735	25°03'33.9" N 104°13'16" O	Promedio: 17.8 Máx: 29.6 Mín: 10.6	80.8	Matorral Submontano y Matorral Desértico Rosetófilo
	Capital	San Luis Potosí	1 800	22°08'46" N 100°52'42" O	Promedio: 22.0 Máx: 29.8 Mín: 17.9	99.2	Matorral Desértico Micrófilo
	Facultad de Ciencias Forestales	Nuevo León	350	24°57'33" N 99°32'30" O	Promedio: 22.8 Máx: Sep 32.8 Mín: Sep 20.6	174.6	Matorral Espinoso Tamaulipeco

Ej. = Ejido



Las semillas se seleccionaron de vainas maduras, sanas y sin daños o perforaciones. Posteriormente, las semillas se escarificaron de forma manual, con una lija para remover parte de su tegumento (Flores y Jurado, 1998; Rodrigues *et al.*, 2016) ya que presentan latencia física (Martínez-Pérez *et al.*, 2006). La germinación se realizó en una germinadora *Lumistell* con charolas de polietileno de 288 cavidades, de 10.29 mL cada una. El sustrato fue suelo de monte del Matorral Espinoso Tamaulipeco (60 %), *peat moss* (30 %) y vermiculita (10 %). En las charolas se sembraron 2 semillas por cavidad y se realizaron seis bloques con 4 repeticiones cada uno por especie/procedencia, con un total de 48 semillas por especie/procedencia.

Las temperaturas que ocurren durante el día se obtuvieron a partir de las temperaturas del suelo presentes en el mes de septiembre (mes con mayor precipitación) de la estación meteorológica más cercana al área de trabajo, con datos por hora (WCC, 2011). Se usaron las temperaturas del suelo por hora/por día de las 8:00 a 17:00 horas para tener la temperatura promedio, considerada como el tratamiento testigo (T0).

El incremento de las temperaturas se simuló con cinco tratamientos (T1 a T5): mediante la suma de 2, 5, 7, 10 y 15 °C a las temperaturas del testigo. Los cambios se hicieron manualmente durante el ensayo (15 días). Las variables de respuesta fueron: I) el porcentaje de germinación y II) la velocidad de germinación o t_{50} , que es el tiempo en el cual germinó 50 % del total de las semillas (Coolbear *et al.*, 1984).

Se analizaron con el programa estadístico *R-Project 2.11.0* (R-project, 2010) de acceso libre, se realizaron pruebas de *Kolmogorov-Smirnov* para la normalidad de los datos (datos no normales se transformaron con raíz de arcoseno) y pruebas de *Fligner* para la homogeneidad de varianzas. A los datos que no presentaron normalidad se les aplicó una prueba de *Kruskal Wallis*. El diseño utilizado fue un análisis de varianza anidado, los factores fueron procedencia y temperatura, con germinación como variable de respuesta. Además, se realizaron pruebas de *Tukey* para determinar diferencias entre las procedencias de las semillas, los tratamientos y la interacción entre estos últimos y la procedencia de semillas.

Resultados y Discusión

Porcentajes de germinación

Para *A. farnesiana* la germinación fue mayor en los tratamientos T2 y T3 (temperatura del tratamiento testigo+2 y +7 °C), con 93 a 100 %; mientras que, los tratamientos T4 y T5 (temperatura del tratamiento testigo +10 y +15 °C) tuvieron valores menores (g.l. =5, PChisq= < 0.001). Los porcentajes de germinación fueron similares entre las procedencias (g.l.= 6, PChisq=0.49), (Cuadro 2), 72 y 99 %.

La comparación de cada una de las procedencias entre los diferentes tratamientos fue $P < 0.05$ (*Kruskal-Wallis*) para todas, con porcentajes de germinación más altos para el tratamiento T2 (temperatura del tratamiento testigo+5 °C); los tratamientos T4 y T5 presentaron las cifras menores, excepto de la procedencia Chiapa de Corzo, para el tratamiento T4.

Cuadro 2. Comparación de los porcentajes de germinación de los diferentes tratamientos para cada una de las procedencias de *Acacia farnesiana* (Linn.) Willd.

Procedencias	<i>Kruskal Wallis</i>						
	Tratamientos						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Total
FCF	95.8 ± 2.88 ^{ab}	100 ± 0 ^a	100 ± 0 ^a	95.8 ± 2.88 ^{ab}	66.6 ± 5.51 ^c	75.0 ± 4.63 ^{bc}	88.8 ± 4.41 ^a
Los Ángeles	95.8 ± 2.88 ^{ab}	75.0 ± 5.64 ^{ab}	100 ± 0 ^a	91.6 ± 4.0 ^{abc}	75.0 ± 4.6 ^{ab}	70.8 ± 3.9 ^c	84.7 ± 4.49 ^a
Carretera-Linares	91.6 ± 3.1 ^{ab}	54.1 ± 6.6 ^c	100 ± 0 ^a	100 ± 0 ^a	50.0 ± 3.6 ^c	79.1 ± 2.88 ^{bc}	79.1 ± 5.19 ^a
Ej. Agua	79.1 ± 4.99 ^{ab}	100 ± 0 ^a	100 ± 0 ^a	100 ± 0 ^a	62.5 ± 5.33 ^{bc}	50.0 ± 3.69 ^c	81.9 ± 5.0 ^a
Ej 5 de Mayo	79.1 ± 4.99 ^{ab}	66.6 ± 4.85 ^{bc}	100 ± 0 ^a	95.8 ± 2.88 ^a	54.1 ± 3.9 ^c	66.6 ± 4.85 ^{bc}	77.0 ± 4.84 ^a
Ej. Puebla	79.1 ± 3.99 ^b	91.6 ± 3.1 ^{ab}	100 ± 0 ^a	87.5 ± 3.9 ^{ab}	70.8 ± 3.5 ^{bc}	50.0 ± 4.6 ^c	79.8 ± 4.56 ^a
Chiapa de C.	75.0 ± 3.09 ^c	95.8 ± 2.8 ^{ab}	100 ± 0 ^a	83.3 ± 3.6 ^{abc}	83.3 ± 4.8 ^{abc}	70.8 ± 5.3 ^{bc}	84.7 ± 4.28 ^a
Total	85.1±4.06 ^c	83.3±5.14 ^{bc}	100 ± 0 ^a	93.4±3.37 ^b	66.0 ± 4.78 ^c	66.0 ± 4.47 ^c	

FCF = Facultad de Ciencias Forestales. La media del porcentaje de germinación es acompañada del error estándar.

Letras diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos y procedencias.

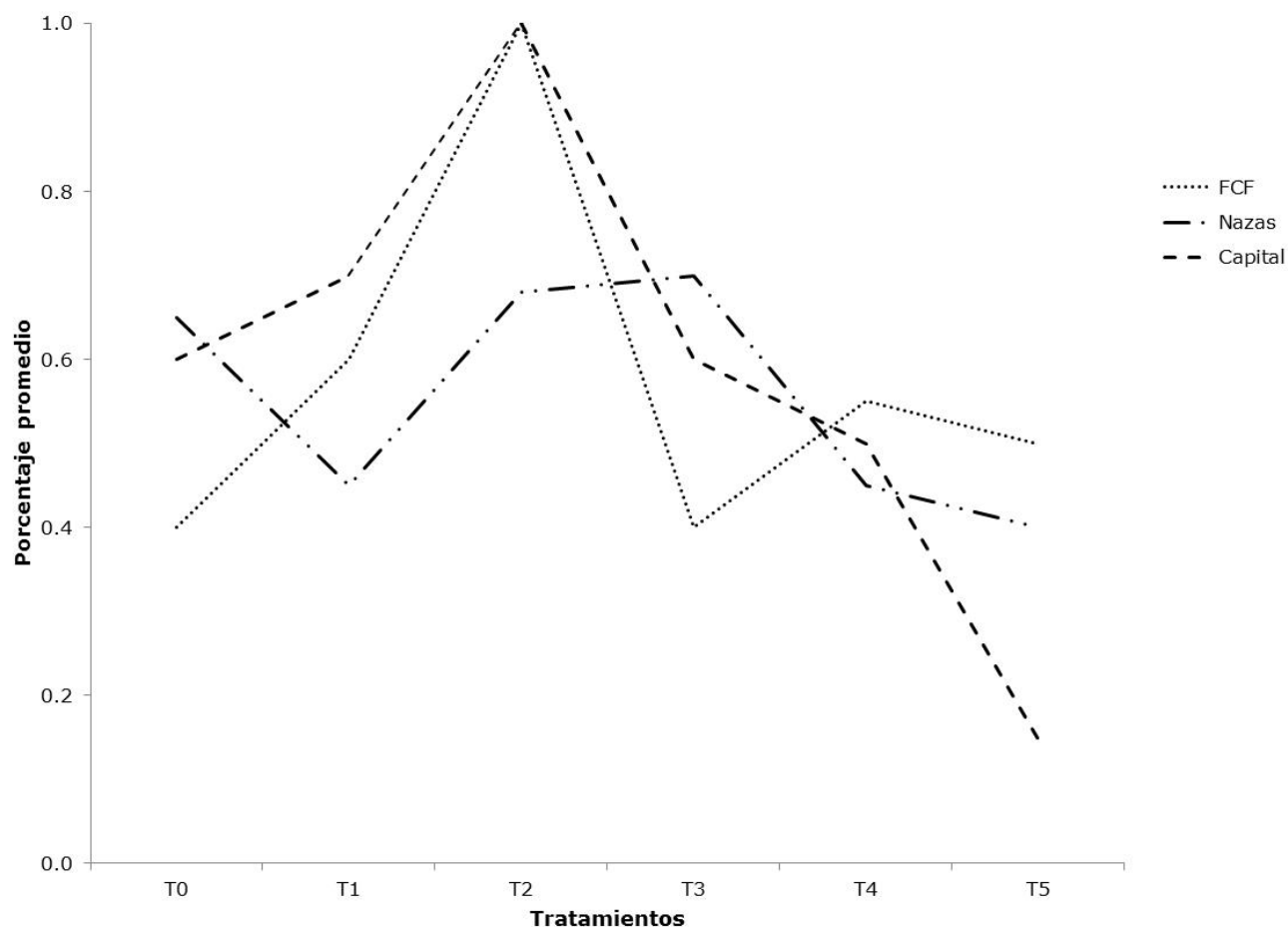
El tratamiento con porcentaje de germinación superior para *A. schaffneri* fue T2 (temperatura tratamiento testigo +5 °C), con media de 89 %, y el de menor correspondió a T5, con 38 % (F= 18.43, g.l.= 5, p= <0.001) (Cuadro 3). La germinación de semillas fue similar en la comparación de las procedencias, con promedios de 61 a 57 % (F= 1.15, g.l.= 2, p= 0.323). Las interacciones entre procedencias y tratamientos fueron significativas, con resultados diferentes para la procedencia de Nazas, respecto a las otras dos en la mayoría de tratamientos (Figura 1). También se obtuvieron diferencias para la procedencia FCF, con un mayor porcentaje de germinación en el tratamiento T4 (F= 0.09, g.l.= 10, p= <0.001).

Cuadro 3. Comparación de los porcentajes de germinación de los diferentes tratamientos para cada una de las procedencias de *Acacia schaffneri* (L.) Willd.

Procedencias	ANOVA						
	Tratamientos						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Totales
FCF	33.3 ± 6.8 ^{cd}	70.8 ± 7.9 ^{bc}	100 ± 0.0 ^a	33.3 ± 6.8 ^{cd}	58.3 ± 8.3 ^{bcd}	50. ± 6.8 ^{bcd}	57.6 ± 5.4 ^a
Capital	58.3 ± 14.4 ^{bc}	79.1 ± 10.4 ^{ab}	100 ± 0.0 ^a	66.6 ± 6.8 ^{bcd}	50 ± 13.6 ^{bcd}	20.8 ± 7.9 ^d	62.4 ± 6.2 ^a
Nazas	75.0 ± 4.8 ^{bc}	45.8 ± 10.4 ^{bcd}	75.0 ± 4.8 ^{abc}	79.1 ± 4.1 ^{abc}	45.8 ± 12.5 ^{bcd}	33.3 ± 11. ^{cd}	59.0 ± 4.9 ^a
Totales	55.5 ± 7.2 ^{bc}	65.2 ± 6.6 ^b	91.6 ± 3.8 ^a	59.7 ± 6.6 ^{bc}	51.3 ± 6.3 ^{bc}	34.7 ± 5.9 ^c	

FCF = Facultad de Ciencias Forestales. La media del porcentaje de germinación es acompañada del error estándar.

Letras diferentes indican diferencias (p<0.05) entre tratamientos y procedencias.



En el eje de las X se muestran el testigo T0 y los cinco tratamientos; en el eje de las Y, el porcentaje de germinación de las semillas.

Figura 1. Gráficas de interacción del porcentaje de germinación entre tratamientos y procedencias para *Acacia schaffneri* (L.) Willd.

Los resultados para ambas especies son similares a los documentados para *Erythrina verna* Vell. y *Albizia lebeck* (L.) Benth. (Demuner *et al.*, 2008; Dutra *et al.*, 2008), en los cuales el aumento de la temperatura provoca un incremento en los porcentajes de germinación, como sucedió en los tratamientos T2 y T3 de este estudio. Mientras que con temperaturas extremas dichos porcentajes disminuyen, lo cual coincide con lo citado por Silva y Aguiar (2004) para *Cnidoscopus phyllacanthus* Pohl. En otros estudios no se indica diferencia en los porcentajes de germinación al aumentar las temperaturas, para *Colubrina*

glandulosa Perkins, *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville y *Acacia polyphylla* DC. (Albuquerque *et al.*, 1998; Neto *et al.*, 2003; Martins *et al.*, 2008). Pérez-Sánchez *et al.* (2011) señalan que las semillas de *A. schaffneri* sometidas a temperaturas altas registraron valores de porcentajes superiores de germinación, incluso que los tratamientos control, pero su germinación fue más lenta, lo cual es contrario a lo que se documenta en este trabajo, en el que la velocidad de germinación fue mayor al aumentar la temperatura. A pesar de las condiciones ambientales tan variadas de las procedencias consideradas, no se obtuvieron diferencias entre ellas.

Velocidad de germinación (t_{50})

Las semillas de *A. farnesiana* en los tratamientos T3 y T1 germinaron más pronto; mientras que, en los tratamientos T4 y T5 presentaron una velocidad más lenta; en el tratamiento T3 se registró la mayor velocidad ($F= 366.91$, g.l.= 5, $p= < 0.001$).

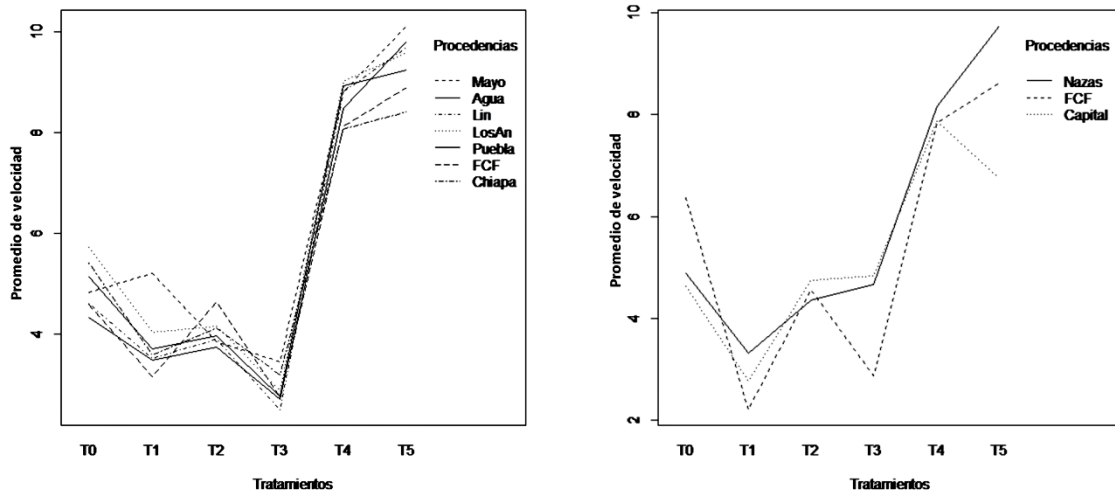
Entre las procedencias, la que más tardó en germinar fue Ejido 5 de Mayo, y FCF fue la que lo hizo en menor tiempo ($F= 2.84$, g.l.= 6, $p= 0.01$) (Cuadro 4). Las interacciones entre procedencias y tratamientos no fueron significativas ($F= 1.4$, g.l.= 30, $p= 0.1$), lo cual indica que las procedencias tuvieron un comportamiento similar ante los diferentes tratamientos (Figura 2).



Cuadro 4. Velocidad de germinación para *Acacia farnesiana* (Linn.) Willd.

Procedencias	ANOVA						
	Tratamientos °C						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Total
FCF	4.5 ± 0.22 ^{bcd}	3.1 ± 0.19 ^{bcd}	4.6 ± 0.23 ^{bcd}	2.7 ± 0.25 ^{bcd}	8.1 ± 0.38 ^a	8.8 ± 0.3 ^a	5.3±0.49 ^b
Ej. Los Ángeles	5.7 ± 0.34 ^b	4.0 ± 0.67 ^{bcd}	4.1 ± 0.14 ^{bcd}	2.8 ± 0.12 ^{bcd}	9.0 ± 0.18 ^a	9.5 ± 0.25 ^a	5.8±0.54 ^{ab}
Carretera Linares	4.6 ± 0.21 ^{bcd}	3.5 ± 0.3 ^{bcd}	3.8 ± 0.24 ^{bcd}	2.5 ± 0.03 ^{bcd}	8.8± 0.27 ^a	9.6 ± 0.47 ^a	5.5±0.57 ^{ab}
Ej. Agua	4.3 ± 0.11 ^{bcd}	3.4 ± 0.26 ^{cd}	3.7 ± 0.09 ^{bcd}	2.7 ± 0.03 ^{cd}	8.4 ± 0.38 ^a	9.8 ± 0.81 ^a	5.4±0.58 ^{ab}
Ej. 5 de Mayo	4.8 ± 0.2 ^{bcd}	5.2 ± 0.52 ^{bc}	3.8 ± 0.09 ^{bcd}	3.4 ± 0.37 ^{bcd}	8.8 ± 0.44 ^a	10.1 ± 1.0 ^a	6.0±0.55 ^a
Ej. Puebla	5.1 ± 0.42 ^{bc}	3.7 ± 0.27 ^{bcd}	3.9 ± 0.21 ^{bcd}	2.7 ± 0.09 ^{bcd}	8.9 ± 0.15 ^a	9.2 ± 0.47 ^a	5.6±0.54 ^{ab}
Chiapa de C.	5.4 ± 0.52 ^{bc}	3.5 ± 0.51 ^{bcd}	4.1 ± 0.16 ^{bcd}	3.1 ± 0.43 ^{bcd}	8.0 ± 0.38 ^a	8.4 ± 0.43 ^a	5.4±0.46 ^{ab}
Total	4.9±0.13 ^c	3.8±0.18 ^d	4.0±0.08 ^d	2.8±0.1 ^e	8.6±0.13 ^b	9.3±0.22 ^a	

FCF = Facultad de Ciencias Forestales. Media y error estándar para las comparaciones de tratamientos y procedencias. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos y procedencias.



En el eje de las X se muestran el testigo T0 y los cinco tratamientos, en el eje de las Y se muestran los días que tardaron en germinar las semillas. Los nombres de las procedencias de *A. farnesiana* fueron abreviados.

Figura 2. Gráficas de interacción de la velocidad de germinación entre tratamientos y procedencias, *A. farnesiana* (Izquierda) y *A. schaffneri* (Derecha).

Los tratamientos en donde se obtuvo la velocidad más baja de germinación para las semillas de *A. schaffneri* y *A. farnesiana* fueron T4 y T5 con medias de 7.9 y 8.3 días, respectivamente. En el tratamiento T1 se registró la mayor velocidad, con media de 2.7 días ($F= 32.5$, g.l.= 5, $p= <0.001$). No hubo diferencia significativa entre las tres procedencias, con promedios entre 5.8 y 5.2 días ($F= 1.24$, g.l.= 2, $p= 0.29$) (Cuadro 5). Las interacciones entre procedencias y tratamientos no evidenciaron diferencias significativas ($F= 1.83$, g.l.= 10, $p= 0.07$), ya que los resultados de las procedencias fueron similares para los tratamientos, con líneas paralelas para las procedencias (Figura 2).

Cuadro 5. Velocidad de germinación para *Acacia schaffneri* (L.) Willd.

Procedencias	ANOVA						
	Tratamientos °C						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Total
FCF	6.37 ± 0.62 ^{ab}	2.2 ± 0.29 ^d	4.56 ± 0.03 ^b	2.87 ± 0.12 ^d	7.83 ± 0.49 ^{ab}	8.62 ± 0.37 ^a	5.41±0.51 ^a
Capital	4.62 ± 0.07 ^b	2.76 ± 0.1 ^b	4.75 ± 0.16 ^c	4.83 ± 0.26 ^b	7.87 ± 0.12 ^{abc}	6.75 ± 2.8 ^{ab}	5.26±0.48 ^a
Nazas	4.89 ± 0.14 ^c	3.31 ± 0.31 ^b	4.35 ± 0.01 ^b	4.66 ± 0.68 ^b	8.16 ± 0.34 ^{abc}	9.75 ± 1.1 ^a	5.85±0.52 ^a
Total	5.2±0.3 ^b	2.7±0.19 ^c	4.5±0.07 ^b	4.1±0.34 ^{bc}	7.9±0.19 ^a	8.3±0.85 ^a	

FCF = Facultad de Ciencias Forestales. Media y error estándar para las comparaciones de tratamientos y procedencias. Letras diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos y procedencias.

Un retraso en la germinación de tres días puede disminuir la oportunidad de establecimiento de las plántulas en un escenario de cambio climático (Pérez-Sánchez *et al.*, 2011), debido a que la rápida evaporación del agua del suelo, a consecuencia de las altas temperaturas, impediría el establecimiento de las plántulas. Uno de los factores que influye de manera directa en la germinación de las semillas es la disponibilidad de agua en el suelo, tanto para la germinación como para la sobrevivencia de las plántulas (Baskin y Baskin, 2001; Benech-Arnold y Sánchez, 2004). En las dos especies estudiadas, en los tratamientos T4 y T5, las velocidades de germinación fueron considerablemente, menores que el resto de los tratamientos, germinaron 5-6 días después. Para las procedencias de *A. schaffneri* no se obtuvieron diferencias en las velocidades de germinación. *A. farnesiana* registró una menor velocidad para FCF, en comparación con Ejido 5 de Mayo, en el resto de las procedencias no hubo diferencias.

La mayor velocidad de germinación fue diferente para ambas especies, ya que para *A. farnesiana* correspondió al T3 con 2.8 días, y en *A. schaffneri* en el tratamiento T1 de 2.7; asimismo para *A. schaffneri* no coincidió el tratamiento con mayor porcentaje de germinación con el de más velocidad.

Conclusiones

La diferencia en la capacidad de germinación entre las diferentes poblaciones de la misma especie se interpreta como una posible adaptación a las características del ambiente (factores climáticos) del cual provienen. En el presente estudio las semillas de *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri* germinaron en los cinco tratamientos. Con estos resultados se puede predecir que ambas especies no presentarán dificultades para germinar en caso de que la temperatura se incrementara de acuerdo a los escenarios pronosticados.

Agradecimientos

El estudio tuvo apoyos parciales del PAICYT (UANL) y del Conacyt (CB-2015-01 255453).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Héctor Enrique Cortés Cabrera, Regina Pérez Domínguez y Enrique Jurado: colecta en campo y laboratorio, análisis estadísticos y redacción del manuscrito; Joel Flores, Marco González-Tagle y Gerardo Cuéllar-Rodríguez: diseño experimental y redacción del escrito.



Referencias

- Albuquerque, M. D. F., J. D. Rodríguez, T. L. Minohara, D. Tebaldi e D. M Silva L. 1998. Influência da temperatura e do substrato na germinação de sementes de saguaraji (*Colubrina glandulosa* Perk.-Rhamnaceae). *Revista Brasileira de Sementes* 20(2):346-349.
- Arévalo J., R., L. Afonso, A. Naranjo and M. Salas. 2010. Invasion of the Gran Canaria ravines ecosystems (Canary Islands) by the exotic species *Acacia farnesiana*. *Plant Ecology* 206:185-193.
- Baskin, C. C. and J. M. Baskin. 2001. *Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. San Diego, CA USA. 667 p.
- Benech-Arnold, R. L. and R. A. Sánchez. 2004. *Handbook of seed physiology: Applications to agriculture*. Ed. Food Products, Haworth Reference Press. New York, N Y USA. 480 p.
- Cavalcante, A. M. and R. D. Cox. 2016. *Acacia farnesiana* (L.) Willd. a potentially invasive alien species? *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 42(3):209-215.
- Coolbear, P., A. Francis and D. Grierson. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *Journal of Experimental Botany* 35(11): 1609-1617.
- Danby, R. K. and D. S. Hik. 2007. Variability, contingency and rapid change in recent subarctic alpine tree line dynamics. *Journal of Ecology* 95(2):352-363.
- Demuner, V. G., C. Adami, J. Mauri, S. Dalcolmo e S. A. Hebling. 2008. Influência da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Erythrina verna* (Leguminosae, Papilionoideae). *Museu de Biologia Professor Mello Leitão* 24: 101-110.
- Dutra, A. S., S. M. Filho e F. O. Diniz, 2008. Dormência, substrato e temperatura para germinação de sementes de albizia (*Albizia lebbbeck* (L.). *Revista Ciência Agronômica* 38(3):291-296.

- Fenner, M. and K. Thompson. 2005. *The Ecology of Seeds*. Ed. Cambridge University. Cambridge, UK. 250 p.
- Field, C. B., V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandrea y T. Bilir. 2014. Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. 1820 p.
- Flores, J. and E. Jurado. 1998. Germination and early growth traits of 14 plants species native to northern Mexico. *Southwestern Naturalist* 43:40-46.
- García-Winder, L. R., S. Goñi-Sedeño, P. A. Olguín-Lara, G. Díaz-Salgado and C. M. Arriaga-Jordán. 2009. Huizache (*Acacia farnesiana*) whole pods (flesh and seeds) as an alternative feed for sheep in México. *Tropical Animal Health and Production* 41:1615-1621.
- Grabherr, G., M. Gotffried and H. Paull. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369(6480):448.
- Holtmeier, F. K. and G. Broll. 2005. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography* 14:395-410.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15(2):56-61.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2016. Mapa digital de México. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/viewer.html> (4 de junio de 2013).
- Jurado, E., J. F. García, J. Flores, E. Estrada and H. González. 2011. Abundance of seedlings in response to elevation and nurse species in Northeastern Mexico. *Southwestern Naturalist* 56(2):154-161.
- Loarie, S. R., P. B. Duffy, H. Hamilton, G. P. Asner, C. B. Field and D. D. Ackerly. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462 (7276):1052-1055.

- Mann, M. E., R. S. Bradley and M. K. Hughes. 1998. Global-Scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392 (6678):779-787.
- Martínez-Pérez, G., A. Orozco-Segovia y C. Martorell. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 9:9-20.
- Martins, C. C., C. G. Machado and J. Nakagawa. 2008. Temperature and substrate for germination test of *Stryphnodendron adstringens* (Mart) Coville (Leguminosae). *Revista Árvore* 32(4):633-639.
- Mondoni, A., R. Probert, G. Rossi, F. Hay and C. Bonomi. 2008. Habitat-correlated seed germination behaviour in populations of wood anemone (*Anemone nemorosa* L.) from northern Italy. *Seed Science Research* 18(4): 213-222.
- Neto, J. C. A., I. B. Aguiar e V. M. Ferreira. 2003. Efeito da temperatura e da luz na germinação de sementes de *Acacia polyphylla* DC. *Revista Brasileira de Botanica* 26(2):249-256.
- Pepin, N., R. S. Bradley, H. F. Diaz, M. Baraër, E. B. Caceres, N. Forsythe and J. R. Miller. 2015. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change* 5(5):424.
- Peñuelas, J., R. Ogaya, M. Boada and A. S. Jump. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography* 30(6): 830-838.
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918):37-42.
- Pérez-Sánchez R. M., E. Jurado, L. Chapa-Vargas y J. Flores. 2011. Seed germination of Southern Chihuahuan Desert plants in response to elevated temperatures. *Journal of Arid Environment* 75 (10):978-980.

- R-Project. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. R Development Core Team. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. (2 de junio de 2011).
- Rodrigues M., P. A. F., E.U. Alves, A. P. dos Anjos Neto, R.L.S. de Medeiros, D.D.C F. Junior, J. M. Mondego and A.K.D. Bezerra. 2016. Temperature and pre-germinative treatments for overcoming *Acacia farnesiana* (L.) Willd. (Fabaceae) seeds dormancy. *African Journal of Agricultural Research* 11(37):3548-3553.
- Root, T. L., J. T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig and J. A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421 (6918):57-60.
- Savage, M., P. M. Brown and J. Feddema. 1996. The role of climate in a pine forest regeneration pulse in the southwestern United States. *Ecoscience* 3 (3):310-318.
- Silva, L. M. M. e I. B. Aguiar. 2004. Efeito dos substratos e temperaturas na germinação de sementes de *Cnidoscylus phyllacanthus* Pax & K. Hoffm. (Faveleira). *Revista Brasileira de Sementes* 26(1):9-14.
- Smith, K. W., M. J. Germino, D. M. Johnson and K. Reinhardt. 2009. The altitude of alpine treeline: a bellwether of climatic change effects. *Botanical Review* 75(2):163-190.
- Servicio meteorológico Nacional (SMN). 2011. Información Climatológica por Estado Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.bob.mx/climatologia/normales/estacion/catalogos.html> (3 de junio de 2011).
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller. 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK., New York, NY USA. 996 p.

Valiente-Banuet, A., A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores-Hernández, J. L. Villaseñor, M. Coro y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Botanical Sciences* 67:25-74.

National Water and Climate Center (WCC). 2011. Soil and Air temperature (1996). Natural Resources Conservation Service.

<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/nwcc/site?sitenum=2016&state=tx>

(2 de junio de 2011).