



NOTA DE INVESTIGACIÓN / INVESTIGATION NOTES

GERMINACIÓN DE ESPECIES DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN UN GRADIENTE DE ALTITUD

GERMINATION OF SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB IN A GRADIENT OF ALTITUDE

Regina Pérez-Domínguez¹, Enrique Jurado¹, Marco A. González-Tagle¹, Joel Flores²,
Oscar A. Aguirre-Calderón¹ y Marisela Pando-Moreno¹

RESUMEN

El cambio climático se considera una amenaza para la biodiversidad, en especial, para aquellas especies que se localizan en ecosistemas frágiles. La presente investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de la altitud en la germinación y el crecimiento de 10 especies de diferentes poblaciones (localidades) que ocurren en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. La información generada permitirá pronosticar los efectos potenciales del cambio climático en la regeneración natural, así como sus posibles desplazamientos a mayores altitudes y definir cuáles son adecuadas para futuras plantaciones. Se escarificaron y sembraron las semillas en tres altitudes: 350, 550 y 1 600 m. La germinación y crecimiento de las plántulas se monitorearon por 30 días. Se observó que *Caesalpinia mexicana*, *Ehretia anacua* y *Parkinsonia aculeata* registraron el porcentaje de germinación mayor en las tres condiciones altitudinales. Las semillas de algunas procedencias de *Prosopis glandulosa*, *Caesalpinia mexicana*, *Ehretia anacua*, *Acacia berlandieri* y *Parkinsonia aculeata* presentaron mayor germinación. *Lepidium virginicum* y *Acacia berlandieri* registraron, en promedio, los valores más altos a 1 600 msnm. Los resultados sugieren que algunos taxa pueden germinar por encima de su intervalo de distribución actual y quizá tengan la capacidad de desplazarse hacia altitudes superiores por efecto del cambio climático.

Palabras clave: Altitud, cambio climático, desplazamiento, germinación, Matorral Espinoso Tamaulipeco, plántulas.

ABSTRACT

Climate change has been considered a threat to biodiversity, especially for those species that are located in fragile ecosystems. The aim of this study was to determine the effect of elevation in seed germination and seedling growth of ten species from different locations that occur in the Tamaulipan thornscrub. The information generated here will help predict potential effects of climate change in natural regeneration, as well as potential plant migration to higher elevations and adequate altitudes for future plantations. Seeds of all species and locations were stratified and sowed in three elevations: 350, 550 and 1 600 m asl. Germination and seedling growth were followed for 30 days. *Caesalpinia mexicana*, *Ehretia anacua* and *Parkinsonia aculeata* had the highest germination percentages in the three altitudes. The seeds of several provenances of *Prosopis glandulosa*, *Caesalpinia mexicana*, *Ehretia anacua*, *Acacia berlandieri* and *Parkinsonia aculeata* showed higher germination. *Lepidium virginicum* and *Acacia berlandieri* had the highest germination values at 1 600 masl. These results suggest that some species can germinate above their current distribution range, and might have the ability to migrate upslope as a consequence of climate change.

Key words: Altitude, climate change, migration, germination, Tamaulipan thornscrub, seedlings.

Fecha de recepción: / date of receipt: 4 de marzo de 2013. Fecha de aceptación / date of acceptance: 25 de abril 2013.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: reginaperez@gmail.com

² División de Ciencias Forestales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

El cambio climático se ha asociado, en los últimos años, con el incremento en las temperaturas y la modificación en la precipitación en sus diversas formas, debido a un aumento de los gases efecto invernadero (IPCC, 2007), y es considerado una amenaza para la biodiversidad (McCarty, 2001), especialmente, para las especies que son endémicas o que se desarrollan en ecosistemas frágiles (Milbau *et al.*, 2009; Callaghan *et al.*, 2004). Aunque es difícil predecir los escenarios futuros, si es posible deducir que el desplazamiento de las condiciones ambientales será en dirección de los polos o hacia las altitudes mayores (Jurado *et al.*, 2011; Loarie *et al.*, 2009; Parmesan, 2006).

La distribución de la flora y fauna está regulada, en gran medida, por la temperatura por lo que el cambio climático traerá consigo modificaciones a la composición y densidad de las especies en la biósfera (Walther, 2010). Como un resultado de esto, los ecosistemas serán afectados y será importante conocer sus efectos sobre los taxa vegetales, que son los productores primarios (Scholze *et al.*, 2006). Estudios recientes han demostrado que la composición florística ha disminuido en respuesta al cambio climático (Walker *et al.*, 2006); sin embargo, se conoce muy poco acerca de cómo y qué tan rápido la biodiversidad se ajustará (Pauli *et al.*, 1996). La sequías y los incrementos en temperatura provocarán cambios en la distribución de las especies o la extinción de las mismas (Neilson *et al.*, 2005). Algunas tendrán la capacidad para desplazarse a mayores altitudes (Pauli *et al.*, 2007; Walther *et al.*, 2005) o latitudes (Van der Putten *et al.*, 2010; Parmesan *et al.*, 1999), pero no solo se afectarán negativamente a las plantas, sino que en ciertos casos se presentarán adaptaciones a las nuevas condiciones ambientales; es decir, se volverán más resistentes (Peñuelas y Filella, 2001).

La germinación de las semillas está muy relacionada con la temperatura (Shimono y Kudo, 2005; Baskin y Baskin, 1998), esta fase es la que se considera crítica para el establecimiento de plantas en ecosistemas con climas alterados. Hay taxa que germinan en un amplio intervalo de temperaturas, mientras que otros lo hacen solamente en uno muy reducido (Wang, 2010; Probert, 2000; Fenner, 1985). Poblaciones de un mismo taxon podrían requerir de diferentes temperaturas para germinar, en función de su procedencia: altas o bajas altitudes (Cavieres y Arroyo, 2000; Giménez-Benavides *et al.*, 2005).

El Matorral Espinoso Tamaulipeco es un tipo de vegetación abundante en el noreste de México, el cual tiene una alta diversidad florística (Challenger y Soberón, 2008) y tradicionalmente se ha usado como fuente de forraje y de aprovechamiento forestal (Reid *et al.*, 1990). Resulta de interés determinar el posible impacto del cambio climático en la distribución de sus especies, en particular de las vegetales, ya que son las responsables de mantener la función de los ecosistemas, además son muy susceptibles en las fases iniciales de su ciclo de vida (Kitajima y Fenner, 2000). García *et al.* (2007) sugieren que hay elementos de la flora en dicha asociación que tienen la capacidad de germinar y crecer por encima de su área de distribución actual. En el presente estudio se compara el

In recent years, climate change has been associated with the increment in temperature and changes in precipitation in its various forms, due to increased greenhouse gases (IPCC, 2007), and is considered a threat to biodiversity (McCarty, 2001), especially for species that are endemic or develop in fragile ecosystems (Milbau *et al.*, 2009, Callahan *et al.*, 2004). Although it is difficult to predict future scenarios, it is possible to deduce that the displacement of environmental conditions will be in the direction of the poles or to higher elevations (Jurado *et al.*, 2011; Loarie *et al.*, 2009; Parmesan, 2006).

The distribution of flora and fauna is regulated largely by temperature, so that climate change will lead to alterations in composition and density of species in the biosphere (Walther, 2010). As a result, ecosystems will be affected and it will be important to understand their effects on plant taxa, which are the primary producers (Scholze *et al.*, 2006). Recent studies have shown that species composition has decreased in response to climate change (Walker *et al.*, 2006), but little is known about how and how fast biodiversity will be modified (Pauli *et al.*, 1996). Drought and increases in temperature cause changes in the distribution of species or the extinction of them (Neilson *et al.*, 2005). Some have the ability to move to higher elevations (Pauli *et al.*, 2007; Walther *et al.*, 2005) and latitudes (Van der Putten *et al.*, 2010; Parmesan *et al.*, 1999), but not only plants will be adversely affected, but in certain cases they will develop adaptations to the new environment; that is, they will become more resistant (Peñuelas and Filella, 2001).

Seed germination is closely related to temperature (Shimono and Kudo, 2005; Baskin and Baskin, 1998), which is considered critical for the establishment of plants in ecosystems with altered climates. There are taxa that can germinate into a wide range of temperatures, while others do so only in a very small range (Wang, 2010; Probert, 2000; Fenner, 1985). Populations of the same taxon may require different temperatures to germinate, depending on their origin: high or low altitudes (Cavieres and Arroyo, 2000; Giménez-Benavides *et al.*, 2005).

The Thamaulipan thornscrub is an abundant vegetation type in northeastern Mexico, which has a high floristic diversity (Challenger and Soberón, 2008) and has been used traditionally as a source of forage and forestry (Reid *et al.*, 1990). It is of interest to determine the possible impact of climate change on the distribution of species, particularly of plants, as they are responsible for maintaining the ecosystem function, besides being very likely in the early stages of their life (Kitajima and Fenner, 2000). García *et al.* (2007) suggest that there are elements of the flora in the Thamaulipan thornscrub that have the ability to germinate and grow beyond its current range. This study compares the percentage and rate of germination of 10 species of different origins that occur in this type of vegetation along an altitudinal gradient.

The selection criteria were the economic and ecological importance, and so were elected: *Acacia berlandieri* Benth. (tree), *Caesalpinia*

Cuadro 1. Localización de las procedencias de las especies estudiadas.
Table 1. Location of the provenances of the studied species.

Número	Especie	Municipio/ Comunidad	Estado	Altitud (msnm)	Latitud N	Longitud O
1	<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Saltillo	Coahuila	1 735	25°23'26"	100°58'13"
2	<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Chihuahua	Chihuahua	1 735	25°23'26"	100°58'13"
1	<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	Ejido Rancho Viejo y la Palma	Nuevo León	710	24°44'57"	99°47'14"
1	<i>Celtis laevigata</i> Willd.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Celtis laevigata</i> Willd.	Monclova	Coahuila	650	26°52'27"	101°25'22"
1	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Carretera Linares- Iturbide	Nuevo León	450	24°47'15"	99°39'13"
3	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Ejido Los Ángeles	Nuevo León	560	24°57'37"	99°49'20"
1	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst.	Carretera Linares- Iturbide	Nuevo León	450	24°47'15"	99°39'13"
3	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst.	Ejido Los Ángeles	Nuevo León	560	24°57'37"	99°49'20"
1	<i>Ehretia anacua</i> I. M. Jhonst.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Ehretia anacua</i> I. M. Jhonst.	Ejido Los Ángeles	Nuevo León	560	24°57'37"	99°49'20"
1	<i>Lepidium virginicum</i> L.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Lepidium virginicum</i> L.	San Luis Potosí	San Luis Potosí	1 890	22°07'52"	100°59'37"
3	<i>Lepidium virginicum</i> L.	El Arriero	Nuevo León	1 872	24°51'07"	100°39'31"
1	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Ejido Los Ángeles	Nuevo León	560	24°57'37"	99°49'20"
3	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Monclova	Coahuila	650	26°52'27"	101°25'22"
4	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Torreón	Coahuila	1 215	25°31'27"	103°27'11"
1	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Galeana	Nuevo León	1 630	24°49'04"	100°04'20"
2	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido La Soledad	Nuevo León	1 581	24°00'18"	100°03'27"
3	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido Llanos de la Unión	Coahuila	1 987	25°23'52"	101°07'24"
4	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido Angostura	Coahuila	1 785	25°20'32"	101°02'42"
5	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Chihuahua	Chihuahua	1 470	28°38'38"	106°04'40"
1	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Linares	Nuevo León	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Ejido Los Ángeles	Nuevo León	560	24°57'37"	99°49'20"
3	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	San Luis Potosí	San Luis Potosí	1 890	22°07'52"	100°59'37"
4	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Ejido La Soledad	Nuevo León	1 581	24°00'18"	100°03'27"

porcentaje y la velocidad de germinación de semillas de 10 especies de diferentes procedencias que ocurren en este tipo de vegetación en un gradiente altitudinal.

Los criterios de selección fueron la importancia económica y ecológica, a partir de los cuales resultaron elegidas: *Acacia berlandieri* Benth. (arbórea), *Caesalpinia mexicana* Gray (arbórea), *Celtis laevigata* Willd. (arbórea), *Celtis pallida* Torr. (arbustiva),

mexicana Gray (tree), *Celtis laevigata* Willd. (tree), *Celtis pallida* Torr. (shrub), *Condalia hookeri* M. C. Jhonst. (shrub), *Ehretia anacua* I. M. Jhonst. (tree), *Lepidium virginicum* L. (naturalized exotic herb), *Parkinsonia aculeata* L. (tree), *Prosopis glandulosa* Torr. (tree) and *Prosopis laevigata* Willd. (tree). The seed collection was conducted during the spring-summer of 2011, in the states of Nuevo Leon, San Luis Potosí, Chihuahua and Coahuila (Table 1), at different altitudes. For each species/provenance germplasm

Condalia hookeri M.C. Jhonst. (arbustiva), *Ehretia anacua* L. M. Jhonst. (arbórea), *Lepidium virginicum* L. (herbácea exótica naturalizada), *Parkinsonia aculeata* L. (arbórea), *Prosopis glandulosa* Torr. (arbórea) y *Prosopis laevigata* Willd. (arbórea). La recolección de semillas se llevó a cabo durante la primavera-verano de 2011, en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí, Chihuahua y Coahuila (Cuadro 1), a diferentes altitudes. Para cada especie/procedencia se obtuvo su germoplasma de al menos 10 plantas madre, con el fin de incluir la variación genética local.

En septiembre de 2011, se seleccionaron semillas que estuvieran libres de daño y que presentaran buena calidad, para posteriormente escarificarlas con papel lija, de manera manual. Para el diseño experimental se utilizaron charolas de poliestireno de 160 cavidades, con una capacidad de 121 cm³, y sustrato base compuesto de tierra de campo (60%), vermiculita (30%) y perlita (10%). La siembra se realizó los días 13 y 14 de septiembre del 2011, para lo cual se colocaron dos simientes por cavidad y se hicieron 20 repeticiones por procedencia. Los contenedores se instalaron a tres diferentes altitudes (350, 550 y 1600 m) (Cuadro 2), dentro de jaulas de malla de alambre, con un tamaño de cuadrícula de 1 mm, para protegerlas de herbívoros. Se usó una malla sombra de 40% para simular días nublados en los que naturalmente ocurre la germinación y el establecimiento de plántulas. El monitoreo se llevó a cabo durante 30 días, en los que se aplicó riego diariamente, además de evaluar el porcentaje de germinación.

Cuadro 2. Información de los sitios donde se efectuó la investigación.
Table 2. Descriptive information of the sites of the research study.

Localidad	Coordenadas	Temperatura Máxima*	Temperatura Mínima*	Altitud
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León.	24°47' N y 99° 32' W	32.8°	20.3°	360 msnm
Ejido Los Ángeles, Linares, Nuevo León	24°57' N y 99° 49' W	31.7°	19.9°	560 msnm
Campus Ecológico Universidad Autónoma de Nuevo León, Iturbide, Nuevo León.	24°42' N y 99° 51' W	22.3°	6.8°	1 611 msnm

* Las temperaturas corresponden al promedio del mes de septiembre. Conagua (2012).

* Temperatures correspond to the average of September. Conagua (2012).

Se hizo un Análisis de Varianza de dos vías de las medias del porcentaje de germinación entre procedencias, altitudes y sus interacciones. Los datos previamente se transformaron con el arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje. Cuando se observaron diferencias entre tratamientos ($p < 0.05$) se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey.

En el Cuadro 3 se muestran los porcentajes de germinación para las especies y sus procedencias en las tres condiciones altitudinales. Las semillas de *Prosopis laevigata* germinaron de manera similar en todas las altitudes ($F = 0.658$, $g.l.=2$, $P=0.524$) y en

was collected at least from 10 mother plants, in order to include local genetic variation.

In September 2011, good quality seeds free of damage were selected, to which scarification with sandpaper by hand was applied later. For the experimental design, polystyrene trays with 160 cavities of 121 cm³ were used, and substrate made with field soil (60%), vermiculite (30%) and perlite (10%). Sowing was done on September 13th and 14th, 2011, during which two seeds per hole were placed and 20 replications per provenance were made. Containers were installed at three different altitudes (350, 550 and 1 600 m) (Table 2) in wire mesh cages with a grid size of 1 mm, to protect them from herbivores. A 40% shade cloth was used to simulate cloudy days in which naturally occurs in the seed germination and seedling establishment. Monitoring was carried out for 30 days, in which irrigation was applied daily, in addition to assessing the germination percentage.

A two-way analysis of variance was performed of mean germination percentage among provenances, altitudes and their interactions. Data were previously transformed with the arcsine of the square root of percentage. If there were differences between treatments ($p < 0.05$), Tukey's mean comparison tests were applied.

Table 3 shows the germination percentages for species and their provenances in the three altitudinal conditions. *Prosopis laevigata* seeds

germinated in a similar way in all altitudes ($F = 0.658$, $df = 2$, $P = 0.524$) and the four sources ($F = 1.287$, $df = 3$, $P = 0.294$). The interaction was not significant ($F = 0.106$, $df = 6$, $P = 0.995$). *P. glandulosa* showed a similar behavior for variable altitude ($F = 2.456$, $df = 2$, $P = 0.097$), the origins of Ejido Union Plains, and Angostura, recorded a higher percentage of germination ($F = 2.82$, $df = 4$, $P = 0.035$) and the interaction was non-significant ($F = 1.407$, $df = 8$, $P = .21$).

The seeds of *Caesalpinia mexicana* from the Ejido Rancho Viejo and La Palma provenances had a higher germination

las cuatro procedencias ($F = 1.287$, $g.l.=3$, $P=0.294$). Las interacción no fue significativa ($F = 0.106$, $g.l.=6$, $P=0.995$). *P. glandulosa* presentó un comportamiento similar para la variable altitud ($F = 2.456$, $g.l.=2$, $P=0.097$); las procedencias de Ejido Llanos de la Unión y Angostura registraron un mayor porcentaje de germinación ($F = 2.82$, $g.l.=4$, $P=0.035$); y la interacción no fue significativa ($F = 1.407$, $g.l.=8$, $P=0.21$).

Las semillas de *Caesalpinia mexicana* de la procedencia del Ejido Rancho Viejo y la Palma tuvieron una germinación más alta ($F = 5.442$, $g.l.=1$, $P = 0.031$); y todas registraron valores superiores en los sitios con 350 y 550 msnm ($F = 14.351$, $g.l.=1$, $P < 0.001$). La interacción no fue significativa ($F = 0.681$, $g.l.=2$, $P=0.518$).

Condalia hookeri ($F = 0.876$, $g.l.=2$, $P=0.428$) y *Celtis pallida* ($F = 0.49$, $g.l.=2$, $P=0.655$), tuvieron germinaciones similares en las cuatro procedencias; con respecto a la variable altitud, *C. hookeri* mostró cifras superiores a 350 m y 550 m ($F = 26.967$, $P < 0.001$). En el caso de *C. pallida*, los valores fueron diferentes entre las altitudes ($F = 19.714$, $g.l.=2$, $P < 0.001$), con el menor porcentaje a 1 600 m. En ambas especies la interacción no fue significativa: *C. hookeri* ($F = 0.876$, $g.l.=4$, $P=0.360$) y para *C. pallida* ($F = 1.385$, $g.l.=4$, $P=0.265$).

Las semillas de *Ehretia anacua* no mostraron diferencia en el porcentaje de germinación entre altitudes ($F = 3.04$, $g.l.=2$, $P=0.073$), pero sí para la variable procedencias ($F = 19.523$, $g.l.=1$, $P < 0.001$), donde las del ejido Los Angeles obtuvieron el mayor porcentaje de germinación. La interacción fue significativa ($F = 10.47$, $g.l.=2$, $P < 0.001$).

Lepidium virginicum germinó más a 1 600m ($F = 13.886$, $g.l.=2$, $P < 0.001$); para la procedencia de San Luis Potosí se registró la germinación superior ($F = 9.933$, $g.l.=2$, $P < 0.001$). La interacción fue significativa ($F = 4.403$, $g.l.=4$, $P = 0.007$), en cuanto a que las semillas de San Luis Potosí y Linares tuvieron un comportamiento diferente en todas las altitudes.

Las semillas de *Acacia berlandieri* presentaron porcentajes de germinación similares entre las altitudes ($F = 1.096$, $g.l.=2$, $P=0.355$), pero no entre las dos procedencias ($F = 73.192$, $P < 0.001$), las semillas de Chihuahua germinaron más ($P=0.031$). La interacción no fue significativa ($F = 2.635$, $g.l.=2$, $P=0.099$).

En *Parkinsonia aculeata* se determinó un porcentaje de germinación igual entre altitudes ($F = 1.595$, $g.l.=2$, $P=0.021$), y en cuatro procedencias ($F = 1.745$, $g.l.=3$, $P=0.175$); la interacción no fue significativa ($F = 0.747$, $g.l.=6$, $P=0.616$).

La germinación de las semillas de *Celtis laevigata* fue menor a 1 600msnm ($F = 19.714$, $g.l.=2$, $P < 0.001$); las procedentes de Mondova registraron un porcentaje de germinación superior ($F = 5.022$, $g.l.=1$, $P = 0.0378$). La interacción fue significativa ($F = 8.336$, $g.l.=2$, $P = 0.002$) debido a que el comportamiento de las dos procedencias fue diferente en las altitudes.



($F = 5.442$, $df = 1$, $P = 0.031$), and all of them recorded higher values at the sites located at 350 and 550 masl ($F = 14.351$, $df = 1$, $P < 0.001$). The interaction was non- significant ($F = 0.681$, $df = 2$, $P = 0.518$).

Condalia hookeri ($F = 0.876$, $df = 2$, $P = 0.428$) and *Celtis pallida* ($F = 0.49$, $df = 2$, $P = 0.655$), had similar germinations in the four provenances; in regard to the altitude variable, *C. hookeri* showed figures above 350 m and 50 m ($F = 26.967$, $P < 0.001$). In the case of *C. pallida*, the numbers were different between altitudes ($F = 19.714$, $df = 2$, $P < 0.001$), with the lowest percentage in 1 600 m. In both species, the interaction was non- significant: *C. hookeri* ($F = 0.876$, $df = 4$, $P = 0.360$) and *C. pallida* ($F = 1.385$, $G. L = 4$, $P = 0.265$).

Ehretia anacua seeds showed no difference in germination percentage between altitudes ($F = 3.04$, $df = 2$, $P = 0.073$), but it did among provenances ($F = 19.523$, $df = 1$, $P < 0.001$), where those from the Los Angeles ejido had the highest percentage of germination. Interaction was significant ($F = 10.47$, $df = 2$, $P < 0.001$).

Lepidium virginicum germinated more at 1 600 m asl ($F = 13.886$, $df = 2$, $P < 0.001$); for the provenance of San Luis Potosí a higher germination was recorded ($F = 9.933$, $df = 2$, $P < 0.001$). The interaction was significant ($F = 4.403$, $df = 4$, $P = 0.007$), as the seeds of San Luis Potosí and Linares had a different behavior at all altitudes.

Acacia berlandieri seeds showed similar germination percentages between altitudes ($F = 1.096$, $df = 2$, $P = 0.355$), but not between the two provenances ($F = 73.192$, $P < 0.001$); the seeds of Chihuahua germinated more ($P = 0.031$). The interaction was non- significant ($F = 2.635$, $df = 2$, $P = 0.099$).

In *Parkinsonia aculeata* equal germination percentage was determined between altitudes ($F = 1.595$, $df = 2$, $P = 0.021$), and in the four provenances ($F = 1.745$, $df = 3$, $P = 0.175$); interaction was non- significant ($F = 0.747$, $df = 6$, $P = 0.616$).

The germination of *Celtis laevigata* seeds was under 1 600 masl ($F = 19.714$, $df = 2$, $P < 0.001$); those from Mondova registered higher germination percentage ($F = 5.022$, $df = 1$, $P = 0.0378$). Interaction was significant ($F = 8.336$, $df = 2$, $P = 0.002$) due to the behavior of the two provenances was different according to altitudes.

Most of the studied species germinated in the three altitudinal conditions (350, 550 and 1 600 m), with a wide range of germination percentage among provenances and altitudes, which may be the cause of interspecific differences among populations and dormancy for *Lepidium virginicum* (Baskin and Baskin, 1998), because in it, a lower germination was observed in the three planting sites.

Species with higher germination correspond to those whose current altitudinal range distribution coincides with the gradient here studied: *P. laevigata* (Tapia et al., 1999), *P. glandulosa* (Ladyman, 2003), *E. anacua* (Tropicos, 2013), *C. pallida* (Pérez and Carranza, 1999), *L. virginicum* (Vibrans, 2009) and *A. berlandieri*

Cuadro 3. Porcentajes de germinación de semillas de diferentes procedencias en tres elevaciones.
Table 3. Germination percentages of seeds of different provenances at three altitudes.

Información especies		Altitudes					Procedencia	
Especie	Procedencia	% G 350 m	 550 m	 600 m	%G 1 600 m			
<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	1	55±9.6	a	60±8.2	a	50±12.9	a	a
	2	55±12.6	a	60±8.2	a	45±9.6	a	a
	3	35±9.6	a	45±17.1	a	35±5.0	a	a
	4	50±17.3	a	50±5.8	a	40±11.6	a	a
Altitudes		a		a		a		
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr	1	30±5.8	a	35±9.6	a	45±15.0	a	a
	2	45±9.6	a	60±8.2	a	40±8.2	a	a
	3	75±5.0	a	70±12.9	a	60±14.1	a	b
	4	80±8.2	a	50±20.8	ab	25±9.6	b	b
	5	65±9.6	a	75±15.0	a	45±5.0	a	a
Altitudes		a		a		a		
<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	1	85±9.6	a	90±5.6	a	65±5.0	a	a
	2	100±0	b	100±0	b	70±10.0	a	b
Altitudes		a		a		b		
<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst.	1	45±12.6	a	60±23.1	a	0±0	b	a
	2	50±10.0	a	30±12.9	a	0±0	b	a
	3	45±9.6	a	45±9.6	a	0±0	b	a
Altitudes		a		a		b		
<i>Ehretia anacua</i> M. C. Jhonst.	1	80±8.2	ab	75±9.6	b	15±9.6	c	a
	2	90±10.0	a	80±8.2	a	100±0	a	b
Altitudes		a		a		a		
<i>Celtis pallida</i> Torr.	1	20±14.1	a	50±17.3	a	20±14.1	a	a
	2	30±12.9	a	45±12.6	a	0±0	b	a
	3	35±9.6	a	30±5.8	a	0±0	b	a
Altitudes		a		a		b		
<i>Lepidium virginicum</i> L.	1	0±0	a	0±0	a	30±10.0	ab	a
	2	0±0	a	20±14.1	a	60±16.3	b	b
	3	0±0	a	0±0	a	0±0	a	a
Altitudes		a		a		b		
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	1	10±10.0	a	25±9.6	a	0±0	a	a
	2	73±21.4	b	90±5.8	b	100±0	b	b
Altitudes		a		a		a		
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	1	75±12.6	a	90±5.8	a	80±11.6	a	a
	2	100±0	a	90±5.8	a	90±5.8	a	a
	3	100±0	a	90±5.8	a	90±5.8	a	a
	4	95±5.0	a	80±11.6	a	85±5.0	a	a
Altitudes		a		a		a		
<i>Celtis laevigata</i> Willd.	1	25±5.0	a	75±9.6	b	10±5.8	a	a
	2	50±5.8	b	25±9.6	a	0±0	a	b
Altitudes		a		a		b		


Se muestran las diferencias significativas ($p < 0.05$) con diferentes letras minúsculas entre altitudes, procedencias e interacciones (|) entre altitudes y procedencia. %G= Porcentaje de germinación. Significant differences ($p < 0.05$) are shown with different lowercase letters in altitudes, provenances and interactions (|) between altitudes and provenances. %G = germination percent.

La mayoría de las especies estudiadas germinaron en las tres condiciones altitudinales (350, 550 y 1 600 m), con un amplio intervalo de porcentaje de germinación entre procedencias y altitudes, el cual puede ser el causante de las diferencias interespecificas entre las poblaciones y de dormancia para el *Lepidium virginicum* (Baskin y Baskin, 1998), ya que en esta se observó la menor germinación en los tres sitios de siembra.

Los taxa con mayor germinación correspondieron con aquellas cuyo intervalo altitudinal de distribución actual coincide con el gradiente estudiado: *P. laevigata* (Tapia *et al.*, 1999), *P. glandulosa* (Ladyman, 2003), *E. anacua* (Tropicos, 2013), *C. pallida* (Pérez y Carranza, 1999), *L. virginicum* (Vibrans, 2009) y *A. berlandieri* (Rico, 2007). En cambio, *Parkinsonia aculeata* y *Caesalpinia mexicana* se desarrollan entre 0 y 1 300 y de 150 a 990 msnm, respectivamente (Estrada y Marroquín, 1991), por lo que se espera tendrían la capacidad de desplazarse hacia localidades más altas (Walther *et al.*, 2005; Pauli *et al.*, 2007), con base en los valores altos de germinación que se estimaron en el sitio ubicado a 1 600 msnm.

Las procedencias de *Acacia berlandieri*, *Lepidium virginicum* y *Ehretia anacua* mostraron diferencias en el porcentaje de germinación, lo cual coincide con estudios previos para otras especies (Cavieres y Arroyo, 2000). En la mayoría de las plantas la capacidad de germinación puede variar entre poblaciones e individuos (Bischoff *et al.*, 2006), en respuesta al origen genético, y a cambios fenotípicos causados por las condiciones ambientales locales de cada procedencia.

Las especies con mayor porcentaje de germinación en las tres altitudes (350, 550 y 1 600 m) fueron *Caesalpinia mexicana*, *Ehretia anacua*, *Acacia berlandieri* y *Parkinsonia aculeata*; de ellas, únicamente *E. anacua* y *A. berlandieri* están dentro de su intervalo de distribución natural, caso opuesto para *C. mexicana* y *P. aculeata* que produjeron estos resultados aun en sitios por arriba de su área de distribución.

Los sitios de estudio cuentan con las condiciones adecuadas para la germinación de las especies probadas, excepto para *L. virginicum*, que no germinó a 350 msnm. Los resultados de la presente investigación sugieren que algunas especies pueden germinar por encima de su intervalo de distribución actual y quizás tengan la capacidad de desplazarse hacia mayores altitudes por efecto del cambio climático. 

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el PAICYT (UANL). Se agradece a J. A. López por su apoyo en el trabajo de campo.

REFERENCIAS

Baskin, C. C. and J. M. Baskin. 1998. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. San Diego, CA USA. 666 p.

(Rico, 2007)). Instead, *Parkinsonia aculeata* and *Caesalpinia mexicana* develop between 0 and 1 300 and 150-990 m, respectively (Estrada and Marroquín, 1991), so that it would be expected the ability to move to higher locations (Walther *et al.*, 2005; Pauli *et al.*, 2007), based on the high germination values that were estimated at the site at 1 600 m.

The provenances of *Acacia berlandieri*, *Lepidium virginicum* and *Ehretia anacua* showed differences in the germination percentage, which agrees with the previous studies for other species (Cavieres and Arroyo, 2000). In most plants, the germination capacity may vary between populations and individuals (Bischoff *et al.*, 2006), in response to their genetic origin and to phenotypical changes caused by the local environmental conditions of each provenance.

The species with the highest germination percentage in the three altitudes (350, 550 and 1 600 m) were *Caesalpinia mexicana*, *Ehretia anacua*, *Acacia berlandieri* and *Parkinsonia aculeata*; only *E. anacua* and *A. berlandieri* are in their natural distribution range, which in contrast to *C. mexicana* and *P. aculeata* had these results even in places above their range.

The study sites have suitable conditions for germination of the studied species, except for *L. virginicum* which did not germinate at 350 masl. The results of this research suggest that some species can germinate above their current distribution range and may have the ability to move to higher altitudes as a result of climate change.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by PAICYT (UANL). The author express their gratitude to J. A. López for his help in field work.

End of the English version



- Bischoff, A., B. Vonlathern, T. Steigner and H. Müller-Scharer. 2006. Seed provenance matters- Effects on germination of four plants species used for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology* 7:347-359.
- Callaghan, T. V., L. O. Björn, Y. Chernov, T. Chapin, T. R. Christensen, B. Huntley, R. A. Ims, M. Johansson, D. Jolly, S. Jonasson, N. Matveyeva, N. Panikov, W. Oechel, G. Shaver, J. Elster, H. Henttonen, K. Laine, K. Taulavuori, E. Taulavuori and C. Zockler. 2004. Biodiversity, distributions and adaptations of arctic species in the context of environmental change. *A Journal of the Human Environment* 33(7):404-417.
- Cavieres, L. A. and M. T. K. Arroyo. 2000. Seed germination response to cold stratification period and thermal regime in *Phacelia secunda* (Hydrophyllaceae): altitudinal variation in the mediterranean Andes of central Chile. *Plant Ecology* 149: 1-8.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2012. Estadística descriptiva de las estaciones meteorológicas 19007, 19035 y 19193. <http://www.conagua.gob.mx> (18 de enero de 2013).
- Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, un capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio. México, D. F. México. pp. 87-108.
- Estrada, E. y J. Marroquín. 1991. Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Rep. Cient. No. 10 (especial). Linares NL. México. 258 p.
- Fenner, M. 1985. Seed Ecology. Ed. Chapman and Hall. London, UK. 149 pp.
- Fenner, M. 2000. Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. Caby Publishing. Wallingford, UK. 413 p.
- García P., J. F., O. Aguirre C., E. Estrada C., J. Flores R., J. Jiménez P. y E. Jurado Y. 2007. Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación. *Madera y Bosques* 3(1):99-117.
- Giménez-Benavides, L., A. Escudero and F. Pérez-García. 2005. Seed germination of high mountain Mediterranean species: altitudinal, interpopulation and interannual variability. *Ecological Research* 20(4): 433-444.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I. Working Group I (IPCC-WGI). 2007. Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. New York, NY. USA. 23 p.
- Jurado, E., J. García, J. Flores, E. Estrada and H. Gonzalez. 2011. Abundance of seedlings in response to elevation and nurse species in Northeastern Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 56(2):154-161.
- Kitajima, K. and M. Fenner. 2000. Ecology of seedling regeneration. In: Fenner, M. (ed). Seeds, The Ecology of Regeneration in Plant Communities, 2nd Edition. CABI Publishing. Wallingford, UK. pp. 331-359.
- Ladyman, J. 2003. *Prosopis glandulosa* (Honey mesquite). In: Francis, J. K. (ed). Wildland Shrubs of the United States and its Territories: Thamnisc Descriptions. General Technical Report ITF-WB-1, U.S.D.A. Forest Service, International Institute of Tropical Forestry and Shrub Sciences Laboratory. <http://www.fs.fed.us/global/itf/wildlandshrubs.htm> (26 de marzo de 2013).
- 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* 462:24-31.
- McCarty, J. P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*. 15(2): 320-331.
- Milbau, A., B. J. Graae, A. Shevtsova and I. Nijs. 2009. Effects of a warmer climate on seed germination in the subarctic. *Annals of Botany*. 104(2): 287-296.
- Neilson, R. P., L. F. Pitelka, A. M. Solomon, R. Nathan, G. F. Midgley, J. M. Fragoso, H. Lischke and K. Thompson. 2005. Forecasting regional to global plant migration in response to climate change. *BioScience*. 55 (9):749-759.
- Pauli, H., M. Gottfried and G. Grabherr. 1996. Effects of climate change on mountain ecosystems: upward shifting of mountain plants. *World Res. Rev.* 8:382-390.
- Pauli, H., M. Gottfried and G. Grabherr. 2007. High summits of the Alps in a changing climate. "Fingerprints" of climate change. Kluwer, NY. USA. pp. 139-149.
- Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J. K. Hill, C. D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kaila, J. Kullberg, T. Tammaru, W. J. Tennent, J. A. Thomas and M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579-583.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637-669.
- Peñuelas, J. and I. Filella. 2001. Responses to a warming world. *Science*, 294: 793-794.
- Pérez, C. y E. Carranza. 1999. "Familia Ulmaceae", Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, fascículo 75. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Mich. México. 30 p.
- Probert, R. J. 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: Fenner, M. (ed). Seeds. The Ecology of Regeneration in Plant Communities, 2nd Edition. CABI Publishing. Wallingford, UK. pp. 261-292.
- Reid, N., J. Marroquín and P. Beyer-Munzel. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuel wood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 36: 61-79.
- Rico, L. 2007. *Acacia*. Familia Leguminosae, Subfamilia Mimosoideae. Flora del Bajío de Regiones Adyacentes. Vol. 150. pp. 8-50, 50-68, 85-89.
- Shimono, Y. and G. Kudo. 2005. Comparisons of germination traits of alpine plants between fell field and snowed habitats. *Ecological Research* 20:189-197.
- Scholze, M., W. Knorr, N. W. Arnell and C. Prentice. 2006. A climate change risk analysis for world ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (35):116-13120.
- Tapia P., F., P. Mercado R. y A. Monroy A. 1999. Cambios en la longitud cromosómica total en tres poblaciones de *Prosopis laevigata* (Fabaceae). Implicaciones genecológicas y evolutivas. *Anales del Instituto de Biología Universidad Autónoma de México. Serie Botánica* 70 (1): 13-28.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 2013. *Ehretia anacua* (Terán & Berland) IM Johnst. <http://www.tropicos.org/Name/4001978>. (13 de abril de 2013).
- Van der Putten, W. H., M. Marcel and M. Visser. 2010. Predicting species distribution and abundance responses to interactions across trophic levels climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 365(1549):2025-2034.
- Vibrans, H. 2009. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/lepidium-virginicum/fichas/ficha.htm>. (13 de abril de 2013).
- Walker, M. D., C. H. Wahren, R. D. Hollister, G. H. Henry, L. E. Ahlquist, J. M. Alatalo, S. Bret-Harteh, M. P. Caleff, T. V. Callaghani, A. B. Carrolla, H. E. Epstein, I. S. Jónsdóttir, J. A. Klein, B. Magnússon, U. Molau, S. F. Oberbauer, S. P. Rewa, C. H. Robinson, G. R. Shaver, K. N. Suding, C. C. Thompson, A. Tolvanen, Q. Totland, P. L. Turner, C. E. Tweedie, P. J. Webber and P. A. Wookey. 2006. Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(5): 1342-1346.
- Walther, G. R., L. Hughes, P. Vitousek and N. C. Stenseth. 2005. Consensus on climate change. *Trends Ecol. Evol.* 20:648-649.
- Walther, G. R. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 365: 2019-2024.
- Wang, J. H., C. C. Baskin, W. Chen and G. Z. Du. 2010. Variation in seed germination between populations of five sub-alpine woody species from eastern Qinghai-Tibet Plateau following dry storage at low temperatures. *Ecological Research*. 25(1):195-203.