

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**EFFECTO DE LA ELEVACIÓN E INCREMENTO DE TEMPERATURA EN
LA GERMINACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DEL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO**

Por:

M.C. REGINA PÉREZ DOMÍNGUEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de
**DOCTORADO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES**

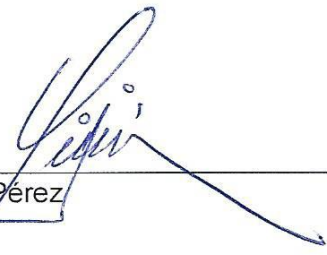
MARZO 2017

**EFFECTO DE LA ELEVACIÓN E INCREMENTO DE TEMPERATURA
EN LA GERMINACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DEL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO**


Aprobación de Tesis



Dr. Enrique Jurado Ybarra
Presidente



Dr. Javier Jiménez Pérez
Secretario



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Vocal



Dr. Marco Aurelio González Tagle
Vocal



Dr. Joel David Flores Rivas
Vocal

Marzo, 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el aporte brindado para la realización de mis estudios de doctorado.

Al Dr. Enrique Jurado, por la confianza brindada, por sus enseñanzas, su paciencia, sus consejos y por sembrar en mí el gusto por la ciencia. Por su asesoría en éste trabajo de investigación. Pero lo más importante por ser un gran amigo.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez por la confianza que ha puesto en mí, por su apoyo incondicional en todo momento, por su constante motivación a seguir adelante y por todos sus consejos, pero lo más valioso por su invaluable amistad.

Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón, por su amistad, sinceridad y disposición, por sus palabras de motivación y aliento en todo momento, pero sobre todo por su confianza y gran amistad.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle, por su gran amistad, su valiosa asesoría en la realización de este trabajo de investigación, por su constante motivación y su incondicional disponibilidad.

Al Dr. Joel David Flores Rivas por su amistad y sus valiosas observaciones y sugerencias otorgadas para la realización de éste trabajo.

Al Dr. Horacio Villalón Mendoza, por su apoyo, por brindarme la oportunidad de trabajar en su laboratorio muchas gracias.

Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza por su amistad y su apoyo incondicional en todo momento, por sus acertados consejos y observaciones que fueron importantes para mi formación profesional y personal.

A la Dra. Marisela Pando Moreno por su hermosa amistad, por su apoyo incondicional y por todos sus acertados consejos.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, Director de la Facultad de Ciencias Forestales, por todo apoyo personal y profesional, por sus grandes consejos, por permitirme trabajar en su equipo trabajo y por su valiosa amistad.

A toda la planta de Profesores de la Facultad de Ciencias Forestales, por su valiosa amistad, por su motivación y por todas las facilidades brindadas para la terminación de esta investigación.

A mis grandes amigos y compañeros de este camino, Esmeralda. Gis, Jaime, Víctor, Mario e Israel, por su apoyo incondicional en todo momento, por su amistad que es algo que siempre existirá, gracias por todos los momentos que hemos convivido, por todas nuestras aventuras. Porque su amistad es para toda la vida.

A mis compañeros de laboratorio, Enrique, Alma, Juan Ángel, Jorge, Deisy, Alejandro, gracias por sus ánimos, por su compañía, por toda su ayuda incondicional, pero sobre todo gracias por su amistad.

A todo el personal de la Facultad de Ciencias Forestales por su gran amistad, apoyo personal, por su ayuda desinteresada, muchas gracias.

INDICE

Índice de Cuadros y figuras	ii
Resumen General	1
General Summary	2
Capítulo I. Introducción general	3
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	4
Capítulo II. Antecedentes	5
Cambio climático	5
Cambios ecológicos de las especies vegetales al cambio climático	6
Zonas áridas y semiáridas de México	8
Especies vegetales estudiadas	9
Capítulo III. Efecto del gradiente de elevación en la germinación de especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco	14
Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
Materiales y Métodos	19
Resultados	23
Discusión	26
Conclusiones	27
Capítulo IV. Efecto de temperaturas elevadas que simulan cambio climático en la germinación de siete especies del matorral espinoso tamaulipeco	28
Resumen	29
Abstract	30
Introducción	31
Materiales y Métodos	33
Resultados	38
Discusión y conclusiones	45
Capítulo V. Literatura	46

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CAPÍTULO III

Cuadro 1. Localización de las procedencias de las especies estudiadas.	20
Cuadro 2. Información de los sitios donde se efectuó la investigación, las temperaturas corresponden al promedio del mes de septiembre.	21
Cuadro 3. Porcentajes de germinación de semillas de diferentes procedencias en tres elevaciones.	25

CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Información de las procedencias de las especies estudiadas.	34
Cuadro 2. Porcentajes de germinación de cada una de las especies y sus procedencias.	42
Cuadro 3. Velocidad de germinación de cada una de las especies y sus procedencias.	44
Figura 1. Efecto de la procedencia de las semillas en el porcentaje de germinación	40

RESUMEN GENERAL

En las últimas décadas se ha presentado un incremento en las temperaturas y se han alterado los patrones de precipitación debido a un incremento de los gases invernadero. El cambio climático se considera una amenaza para la biodiversidad, afectan a todos los ecosistemas y cambios en las poblaciones de especies vegetales. Es difícil conocer los escenarios exactos para el tiempo futuro acerca del cambio climático, sobre todo a nivel regional y local, pero existen tres predicciones para las especies vegetales que se localizan en un medio con cambio climático: las especies persistirán por medio de la migración, persistirán por medio de la adaptación o llegarán a la extinción. El Capítulo II, es una recopilación de información acerca del cambio climático, los cambios ecológicos de las especies como efecto del cambio climático, la importancia y efecto en las zonas áridas y semiáridas de México y una breve descripción de las especies estudiadas del matorral espinoso tamaulipeco. El capítulo III “Efecto del gradiente de elevación en la germinación de especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco”, tuvo como objetivo principal estudiar el efecto de la altitud en la germinación de 10 especies de diferentes poblaciones (localidades) que ocurren en el Matorral Espinoso Tamaulipeco”. Con la finalidad de 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. El capítulo IV “Efecto de temperaturas elevadas que simulan cambio climático en la germinación de siete especies del matorral espinoso tamaulipeco”, tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad germinativa y la velocidad de germinación en condiciones controladas de fotoperiodo y temperatura de siete especies del matorral espinoso tamaulipeco que simulan incremento en la temperatura ante un posible cambio climático. Con los resultados obtenidos se podrá pronosticar que especies tiene la capacidad de germinar a diferentes incrementos de temperatura, que especies se pueden adaptar al cambio climático, y cuáles migrarán o se extinguirán.

GENERAL SUMMARY

In recent decades has been an increase in temperatures and changes in precipitation patterns due to an increase in greenhouse gases. Climate change is considered to be a threat to biodiversity, affecting all ecosystems and changes in populations of plant species. It is difficult to know the exact future scenarios about climate change, particularly at regional and local level. There are three predictions for plant species that grown in an environment with climate change: species will persist through migration, will persist through the adaptation or become extinct. In chapter II, is a collection of information about climate change, ecological changes of the species as a result of climate change, the importance and effect in arid and semi-arid regions of Mexico and a brief description of the studied species of Tamaulipan Thornscrub. Chapter III "Effect of altitudinal gradient in plant species germination of Tamaulipan Thornscrub", had as an aim to study the effect of altitude on the germination of 10 species of different populations (locations) that occur in the Tamaulipan Thornscrub". With the results of this work we can predict the potential effects of climate change on natural regeneration, as well as their possible movements to higher altitudes and define which are suitable for future plantations. Chapter IV "The effect of the elevated temperatures that simulate climate change on the germination of seven species of Tamaulipan Thornscrub ", had as main objective to evaluate the germination capacity and the speed of germination under controlled conditions of temperature and photoperiod of seven species of Tamaulipan Thornscrub that simulate the temperature increase before a possible climate change occurs. With the results obtained will be able to predict which species has the ability to germinate at different increments of temperature, that species can adapt to climate change, and which will be migrated or will become extinct.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En las últimas décadas se ha presentado un incremento en las temperaturas y se han alterado los patrones de precipitación debido a un incremento de los gases invernadero (IPCC, 2007). Con la evidencia global de cambio climático y las respuestas biológicas de las especies de flora y fauna, estudios recientes se han dirigido a la predicción de los cambios en especies vegetales (Parmesan y Hanley, 2015; Cook et al. 2012 a, b). Estos cambios que han estado ocurriendo en el clima tanto de temperatura como de precipitación, han sido considerados como una amenaza para la biodiversidad global (McCarty, 2001 y Cahill *et al.*, 2012), especialmente para las especies que son endémicas o especies que se encuentran en ecosistemas frágiles (Milbau *et al.*, 2009 y Callahan, *et al.*, 2004).

Los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad han causado variaciones en la distribución de especies en muchas regiones (McMahon *et al.*, 2011; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; McCarty, 2001). Sin embargo, es difícil conocer los escenarios exactos para el tiempo futuro, sobre todo a nivel regional y local (Parmesan *et al.*, 2011). Existen tres predicciones para las especies de plantas presentes en los ecosistemas que están en un medio con cambio climático: las especies persistirán por medio de la migración, persistirán por medio de la adaptación o llegarán a la extinción (Aitken, *et al.*, 2008).

El matorral espinoso tamaulipeco, es un ecosistema de gran importancia debido a su gran diversidad en flora y fauna (Reid *et al.*, 1990). Resulta de interés determinar el posible impacto del cambio climático en la distribución de sus especies por su importancia ecológica y económica. Debido a que las especies vegetales son más susceptibles en su fase inicial de vida (Kitajama, in Fenner, 2000), es necesario investigar el efecto del incremento de las temperaturas sobre la germinación de sus semillas.

Esta tesis se presenta en dos capítulos redactados como publicaciones independientes, el primero fue ya publicado y el segundo se someterá a consideración para su eventual publicación a la brevedad. Además de esta introducción general se presenta una sección general de antecedentes y la literatura citada se presenta junta al final de la tesis.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Determinar si las futuras temperaturas a las que estarán expuestas las semillas de algunas especies de importancia del Matorral Espinoso Tamaulipeco afectarán su germinación.

1.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de temperaturas elevadas que simulan cambio climático en la germinación de algunas especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco.
2. Efecto del gradiente de elevación en la germinación de especies vegetales del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

2. HIPÓTESIS

1. El Porcentaje y velocidad de geminación (T_{50}) disminuirá conforme se aumente la temperatura del suelo.
2. El Porcentaje y velocidad de geminación (T_{50}) será mayor en altitudes elevadas.
3. El comportamiento en los parámetros evaluados será diferente entre las procedencias.

CAPÍTULO II.

ANTECEDENTES

Cambio climático

El clima ha cambiado en las últimas décadas y continuará en los próximos años (González *et al.*, 2010 y Rosenzweig *et al.*, 2008), se considera que desde 1906 al 2005 la temperatura a nivel mundial se incrementó en promedio un 0.74°C (IPCC, 2007). El cambio climático es una respuesta al incremento en la temperatura y modificaciones en los patrones de precipitación, lo que ha traído consigo alteraciones en el medio ambiente en que se desarrollan los organismos, lo que trae consigo la migración de plantas hacia otros sitios, cambios en la fenología de estas, cambios en las poblaciones (diversidad), y en la biología de la reproducción (Williams *et al.*, 2007, McCarty, 2001, Menzel y Fabian, 1999).

El reciente cambio climático y los factores antropógenicos, han originado que los ecosistemas se estén viendo alterados en su estructura y su biodiversidad (Cahill *et al.*, 2012; González *et al.*, 2010; Vitt *et al.*, 2010; Pauli *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 2004; Permesan y Yohe, 2003; McLaughlin *et al.*, 2002; Pauli *et al.*, 2001; y Sykes y Prentice, 1996), debido a la modificación de las distribuciones geográficas de las plantas y la modificación en la riqueza de especies (Kullman, 2002; Jacoby *et al.*, 1996 y Pauli *et al.*, 1996).

La magnitud de las consecuencias ecológicas, como producto del cambio climático, dependerán estrictamente del porcentaje de adaptación de las especies a este cambio en el clima (Gienapp *et al.*, 2008). La adaptación puede ser por medio de la composición genética de la población (microevolución), así como la plasticidad fenotípica (Mooney and Hobbs, 2000).

Uno de los ecosistemas más sensibles al cambio climático es la pradera alpina y subalpina (Christensen *et al.*, 2007 y Macyk, 2000), debido a que son las comunidades más difíciles de restaurar por las características físicas del ambiente que requieren, la alta radiación solar, los vientos persistentes, la topografía irregular y pendientes muy pronunciadas (Visser, 2008).

Actualmente, se ha aceptado que los impactos del cambio climático en especies y comunidades afectarán sus rangos de distribución (Sykes y Prentice, 1996). En efecto, se han registrado cambios en las distribuciones de algunas especies, apoyando el supuesto de que estas migraciones se seguirán dando en un gran número de especies y teniendo la posibilidad de la invasión de nuevas especies (Quer, 1979).

Cambios ecológicos de las especies vegetales al cambio climático

Las especies vegetales responderán al cambio climático de diferentes formas, como: plasticidad fenotípica, adaptación evolucionaria, migración o extinción (Erschbamer *et al.*, 2009). De acuerdo a Jump y Peñuelas en el 2005, las plantas tendrán una mayor probabilidad de migrar a mayores altitudes que adaptarse a los cambios ambientales.

Un precipitado cambio climático, cambios en la cubierta vegetal, fragmentación y deterioro de los ecosistemas, resultan ser enormes barreras para el movimiento de especies, teniendo como resultado, que las migraciones altitudinales no se lleven a cabo en los diferentes tipos de vegetación, lo que conlleva la desaparición de algunas comunidades vegetales (Possingham *et al.*, 2003; Thomas *et al.*, 2004y Loarie *et al.*, 2009).

Las plantas son capaces de responder a cambios tolerables en el clima y cambios en su distribución (Lynch & Lande, 1993). Actualmente, existe evidencia que algunas especies ya han cambiado su rango de distribución en respuesta a los cambios climáticos regionales, algunas otras han alterado su fenología, y otras especies ya están enfrentando el riesgo de extinción o ya están extintas (Walther *et al.*, 2005 y Permesan y Yohe, 2003). Evidencias de estudios actuales de cambios en la distribución de algunas especies, muestran que la migración será la mejor respuesta de la plantas en un futuro ante el cambio climático (Damschen *et al.*, 2006).

La migración es considerada como un proceso a nivel local que ocurre lenta o rápidamente (Thuiller *et al.*, 2008). La migración de plantas es un resultado de cuatro procesos: fecundidad, dispersión, establecimiento y crecimiento de una población (Webb, 1992; Neilson, 2005; Herranz *et al.*, 2009 y Pitelka, 1997).

En promedio una especie puede llegar a emigrar una distancia de 50 metros por año, se estima que a razón de un siglo solamente se moverán cinco kilómetros (Loarie *et al.*, 2009, Pompe *et al.*, 2008), debido a que los rangos de distribución de las especies de flora no son permanentes (Collingham y Huntley, 2000).

Es importante entender y conocer la migración por dos factores: primero, porque es claro que la velocidad de cambio en condiciones locales está amenazando la capacidad de migración de muchas especies con habilidades limitadas de dispersión, y segundo porque los niveles locales de modificación de hábitats y fragmentación, reduce la habilidad de la mayoría de las especies de poder dispersarse (Permesan, 2006; Thuiller *et al.*, 2008 y McCarty, 2001).

La habilidad de las especies para adaptarse a estos cambios ambientales, dependerá de la velocidad del cambio climático regional, del potencial de migración de cada una de las especies, de los disturbios locales y de los obstáculos físicos que puedan llegar a tener en el proceso de migración (Pompe *et al.*, 2008).

Zonas áridas y semiáridas de México

En México las áreas áridas y semiáridas ocupan el 54% de territorio nacional (Rzedowski, 1991), y que se caracterizan por la escasez de agua, están cubiertos de vegetación arbustiva y arbórea. Estas comunidades vegetales presentan algunos problemas, como lo es la fragilidad del equilibrio en el ecosistema y presenta una amenaza de desertización provocada principalmente por el hombre (UNESCO, 1982).

Los ecosistemas áridos y semiáridos, son áreas que son altamente vulnerables al cambio climático por los cambios ambientales (Magaña, 2004). De acuerdo Doering *et al.*, (2002), en las regiones áridas y semiáridas se pronostica un incremento y severidad de sequías, así como incremento de temperatura, que en conjunto pueden limitar de cultivos.

Especies vegetales estudiadas

a) *Acacia berlandieri* Benth.

Es un arbusto que pertenece a la familia de las leguminosas. Florece entre noviembre y marzo, con flores en cabezuelas axilares, solitarias o agrupadas, con pedúnculos pubescentes o arreglados en racimos. Su fruto es una vaina de 10 a 15 cm de largo y de 1.2 a 2.5 cm de ancho, plana y delgada en forma estrecha. Su fruto madura de junio a julio (Hernández y Ortega, 2000). Es una especie abundante en el matorral submontano, matorral subinermé, matorral espinoso y crasicaule, en vegetación riparia, así como en bosque tropical caducifolio y bosque tropical subcaducifolio, se puede encontrar en terrenos planos y/o laderas. Se distribuye en elevaciones de 300 a 2100 msnm, (Rzedowski y Rzedowski, 2007).

b) *Caesalpinia mexicana* Gray.

Árbol pequeño de 1 a 10 metros de altura, con estípulas pequeñas, ovadas escariosas y pecíolo de 2 a 6 cm. Las hojas son compuestas y de bipinnada e imparinnada de 10 a 25 cm de largo de verde oscuro. Las inflorescencias son terminales paniculiformes de 10 a 20 cm de largo, de color amarillo de 1 a 1.6 cm de largo, con 5 pétalos separados. La época de floración puede ocurrir durante todo el año dependiendo de la humedad, pero principalmente ocurre de febrero a julio, a menudo continuando hasta octubre. El fruto es una vaina de 5 a 8 cm de largo por 1 a 2 cm de ancho. Se encuentra en la vegetación secundaria del bosque caducifolio espinoso, selva baja caducifolia, y matorral. En las elevaciones de 850 a 1500 msnm, (Villegas, *et al.*, 2000).

c) *Celtis laevigata* Willd.

Árbol de hasta 30 metros, presenta ramas sin espinas con hojas alternas; pecíolo de 6 a 10 mm de largo, lámina típicamente elíptico-lanceolada u ovado-lanceolada de 6 a 15 cm de largo. Presenta inflorescencias axilares, polígamas, sobre ramas secundarias, las flores masculinas se encuentran en grupos sobre pedicelos y aparecen justo antes de la primavera. Sus frutos son drupas anaranjadas a café o rajas en la madurez, casi orbiculares de 5 a 8 mm de diámetro y su pedúnculo de 15 a 20 mm de largo, su semilla varía de dimensión de 4 a 7 mm de largo y de 5 a 6 mm de grueso. Este árbol es propio de algunos encinares húmedos y del bosque mesófilo de montaña, y se distribuye en la elevación de 900 a los 1400 msnm (Pérez-Calix y Carranza, 1999).

d) *Celtis pallida* Torr.

Arbusto de 2 a 4 metros de altura, caducifolio, sus ramas principales son rígidas y extendidas, terminando con una espina. Las flores masculinas se presentan en grupos de hasta 30 flores, sus flores femeninas se pueden observar en pequeños grupos de 1 a 3 flores, las cuales pueden incluir flores masculinas. Sus inflorescencias pueden presentarse en varios meses del año, pero principalmente ocurre en los meses de junio a agosto. Su fruto es una drupa jugosa de 6 mm de diámetros, de color amarilla, anaranjada o roja, y su semilla puede llegar a medir de 4 a 5 mm de diámetro. *Celtis pallida* puede encontrarse en los matorrales xerófilos, mezquiales y en algunas ocasiones en el bosque tropical caducifolio. Se distribuye en elevaciones de los 300-2300 msnm (Pérez-Calix y Carranza, 1999).

e) *Condalia hookeri* M. C. Jhonst

Es un arbusto o árbol pequeño de 2 a 3 metros de alto, con ramas primarias de 10 a 35 cm de largo que son robustas y delgadas, ligeramente flexuosas o casi rectas. Las inflorescencias, de color verde son casi solitarias o usualmente en fascículos axilares de 2 a 3, y ocurre en los meses de mayo a julio. Sus frutos, en diferentes etapas de madurez, la gama color es desde verde a rojo y negro, es esférico, aproximadamente 8 mm de diámetro, carnosos, y la maduración ocurre en el verano. Se puede encontrar en matorral xerófilo y bosque de encino, en elevaciones que van de los 400 a los 1000 msnm (Fernández, *et al.*, 2013).

f) *Ehretia anacua* I. M. Jhonst.

Árbol de hasta 18 metros de altura, con hojas simples y alternas, pecioladas, con una lámina gruesa de 3 a 7 cm de largo por 1.5 a 8 de ancho. Sus inflorescencias son terminales de 6 a 7 mm de largo por 2.5 a 4 mm de ancho, de color blanco y fragante. La época de floración ocurre en los meses de febrero a mayo. Sus frutos presentan una gama de color de amarillo a negro, y miden generalmente de 5 a 8 mm de diámetro. Se puede encontrar principalmente en selva baja caducifolia y selva mediana caducifolia, aunque también es común en áreas bajas y semidesérticas. Se localiza en las elevaciones de 0 a 1500 msnm (Villegas, *et al.*, 2003, Trópicos, 2017).

g) *Lepidium virginicum* L.

Planta pequeña, generalmente de 10 a 70 cm altura y es anual. Presenta flores muy pequeñas que se encuentran sobre pedicelos de 1 a 3 veces más largo que el fruto. Sus sépalos y pétalos son de 1 mm de largo. Sus frutos son silicuas de 3 a 4 mm de largo, ovales, glabras y marginadas, con

entrecortadura apical pequeñas y en la base se encuentra el estigma sésil. (Rzendodowski y Rzedowski, 2001). Se puede encontrar principalmente en campos de cultivo, en las orillas de los caminos o a los alrededores de las casas. Se distribuye hasta los 3000 msnm (Agrawal, 2000).

h) *Parkinsonia aculeata* L.

Es un árbol de 4 a 10 metros de altura, con una corteza de color verde y ramas con espinas de 0.5 a 3 cm de largo. Las inflorescencias en racimos solitarios, con flores de color amarillo y fragantes; corola con 5 pétalos redondeados en el ápice, de 10 a 12 mm de largo y de 9 a 4 mm de ancho. Sus frutos son legumbres de 10 a 20 cm de largo y de 0.5 a 0.8 cm de ancho, son cilíndricas, indehiscentes, de color amarillo-café y pueden contener en cada vaina de 2 a 6 semillas. Se puede encontrar en las zonas de los matorrales, vegetación secundaria, especialmente en suelos húmedos y arenosos. Su distribución altitudinal varía de los 0 a los 1300 msnm. (Villegas, *et al.*, 2003 y Barbosa y Prado, 1991).

i) *Prosopis glandulosa* Torr.

Árbol de 2 a 5 metros de alto, con ramas ascendentes; corteza de color oscuro. Inflorescencias en espigas de color amarillo claro y se presenta en los meses de abril a junio. Sus frutos se presentan en formas de vainas usualmente rectas, de 7 a 20 cm de largo con numerosas semillas en cada vaina. Se encuentra principalmente en pastizales halófitos, pastizal mediano, matorral inerme parvifolio, matorral mediano y alto subinerme, matorral bajo, mediano y alto espinoso, selva baja caducifolia espinosa y bosque caducifolio espinoso. Su distribución altitudinal varía de 0 a 1800 msnm (Villegas, *et al.*, 2003).

j) *Prosopis laevigata* Willd.

Árbol que alcanza hasta los 15 metros de alto, muy ramificado, con un diámetro de hasta un metro, con una corteza de color café y muy gruesa. Las ramas presentan espinas, hojas pecioladas de color verde de 1 a 3 pares de pinnas. Las flores se presentan en espigas muy densas de 5 a 10 cm de largo de color blanco amarillento, sésiles o casi sésiles. La época de floración es de enero a julio, dependiendo de las condiciones de humedad. Su fruto es de forma de vaina de 7 a 20 cm de largo por 8 a 15 mm de ancho, son de color café amarillento y en algunas ocasiones de color rojizo. Las semillas llegan a medir de 8 a 10 mm de largo y son de color blanco amarillento. Se puede encontrar en bosque caducifolio espinoso, mezquitales, ríos y arroyos. Su distribución altitudinal varía de los 190 a los 2300 msnm (Villegas, *et al.*, 2003 y Gómez, *et al.*, 1970).

CAPÍTULO III.

**EFFECTO DEL GRADIENTE DE ELEVACIÓN EN LA
GERMINACIÓN DE ESPECIES VEGETALES DEL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO.**



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 1600 masl. 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, seedling

INTRODUCCIÓN

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 taxón 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 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y procedencias de especies vegetales

Las especies fueron seleccionadas bajo criterios de importancia económica y ecológica. Las especies seleccionadas fueron: *Acacia berlandieri* Benth. (arbórea), *Caesalpinia mexicana* Gray (arbórea), *Celtis laevigata* Willd. (arbórea), *Celtis pallida* Torr. (arbustiva), *Condalia hookeri* M. C. Jhonst. (arbustiva), *Ehretia anacua* I. M. Jhonst. (arbórea), *Lepidium virginicum* L. (herbácea exótica naturalizada), *Parkinsonia aculeata* L. (arbórea), *Prosopis glandulosa* Torr. (arbórea) y *Prosopis laevigata* Willd. (arbórea). La colecta de semillas, se llevó a cabo durante la primavera-verano 2011 en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí, Chihuahua y Coahuila (Cuadro 1), a diferentes elevaciones. Para cada especie/procedencia se colectaron semillas de al menos 10 plantas madre con el fin de incluir la variación genética local.

Cuadro 1. Localización de las procedencias de las especies estudiadas.

No.	ESPECIE	Municipio/ Comunidad	Estado	Altitud (msnm)	Latitud N	Longitud O
1	<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Saltillo	Coah.	1735	25°23'26"	100°58'13"
2	<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Chihuahua	Chih.	1735	25°23'26"	100°58'13"
1	<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	Ejido Rancho Viejo y la Palma	N.L.	710	24°44'57"	99°47'14"
1	<i>Celtis laevigata</i> Willd.	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Celtis laevigata</i> Willd.	Monclova	Coah.	650	26°52'27"	101°25'22"
1	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Carretera Linares-Iturbide	N.L.	450	24°47'15"	99°39'13"
3	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Ejido Los Ángeles	N.L.	560	24°57'37"	99°49'20"
1	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst.	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst	Carretera Linares-Iturbide	N.L.	450	24°47'15"	99°39'13"
3	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst	Ejido Los Ángeles	N.L.	560	24°57'37"	99°49'20"
1	<i>Ehretia anacua</i> I. M. Jhonst	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Ehretia anacua</i> I. M. Jhonst	Ejido Los Ángeles	N.L.	560	24°57'37"	99°49'20"
1	<i>Lepidium virginicum</i> L.	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Lepidium virginicum</i> L.	San Luis Potosí	S.L.P.	1890	22°07'52"	100°59'37"
3	<i>Lepidium virginicum</i> L.	El Arriero	N.L.	1872	24°51'07"	100°39'31"
1	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Ejido Los Ángeles	N.L.	560	24°57'37"	99°49'20"
3	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Monclova	Coah.	650	26°52'27"	101°25'22"
4	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Torreón	Coah.	1215	25°31'27"	103°27'41"
1	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Galeana	N.L.	1630	24°49'04"	100°04'20"
2	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido La Soledad	N.L.	1581	24°00'18"	100°03'27"
3	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido Llanos de la Unión	Coah.	1987	25°23'52"	101°07'24"
4	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido Angostura	Coah.	1785	25°20'32"	101°02'42"
5	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Chihuahua	Chih.	1470	28°38'38"	106°04'40"
1	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Linares	N.L.	370	24°47'45"	99°32'31"
2	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Ejido Los Ángeles	N.L.	560	24°57'37"	99°49'20"
3	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	San Luis Potosí	S.L.P.	1890	22°07'52"	100°59'37"
4	<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Ejido La Soledad	N.L.	1581	24°00'18"	100°03'27"

Siembra de semillas

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 en el mes de septiembre del 2011, para lo cual se colocaron dos semillas por cavidad y se realizaron 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, las temperaturas corresponden al promedio del mes de septiembre. * CONAGUA, 2012.

Localidad	Coordenadas	Temperatura Máxima*	Temperatura Mínima*	Altitud msnm
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León.	24°47' N y 99° 32' W	32.8°	20.3°	360
Ejido Los Ángeles, Linares, Nuevo León	24°57' N y 99° 49' W	31.7°	19.9°	560
Campus Ecológico Universidad Autónoma de Nuevo León, Iturbide, Nuevo León.	24°42' N y 99° 51' W	22.3°	6.8°	1611

Análisis estadístico

Se realizó 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.

RESULTADOS

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 las tres elevaciones ($F = 0.658$, g.l.=2, $P=0.524$) y en las cuatro procedencias ($F = 1.287$, g.l.=3, $P=0.294$). La interacción no fue significativa ($F = 0.106$, g.l.= 6, $P=0.995$). *Prosopis 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, Coahuila, y Angostura, Coahuila presentaron un mayor porcentaje de germinación ($F = 2.82$, g.l.= 4, $P=0.035$). 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 m y 550 m ($F = 14.351$, 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 Ángeles obtuvieron el mayor porcentaje de germinación. La interacción fue significativa ($F=10.47$, g.l.=2, $P<0.001$).

Lepidium virginicum germinó más a 1600m ($F=13.886$, 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 cuatros procedencias ($F=1.745$, g.l.=3, $P=0.175$); la interacción no fue significativa ($F=2.635$, g.l.=6, $P=0.616$).

La germinación de las semillas de *Celtis laevigata* fue menor en la elevación de los 1600msnm ($F = 19.714$, g.l.= 2, $P<0.001$), las procedentes de Monclova registraron porcentaje de germinación superior ($F = 5.022$, g.l.= 1, $P = .0378$). 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.

Cuadro 3. Porcentajes de germinación de semillas de diferentes procedencias en tres elevaciones.

Información especies		Elevaciones						Procedencia
Especie	Procedencia	% G 350 m	I	%G 550 m	I	%G 1600 m	I	
<i>Prosopis laevigata</i>	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>	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>	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>	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>	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>	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>	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>	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>	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>	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 elevaciones, procedencias e interacciones (I) entre elevación y procedencia. %G= Porcentaje de germinación.

DISCUSIÓN

La mayoría de las especies estudiadas germinaron en las tres condiciones altitudinales (350, 550 y 1600 m), con un amplio intervalo de porcentaje de germinación entre procedencias y altitudes, el cual puede ser el causante de las diferencias interespecíficas entre las poblaciones y de dormancia para el *Lepidium virginicum* (Baskin y Baskin, 1998), ya que presentó la menor germinación en los tres sitios de siembra.

Los taxa con mayor germinación correspondieron a 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 1300 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 1600 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.

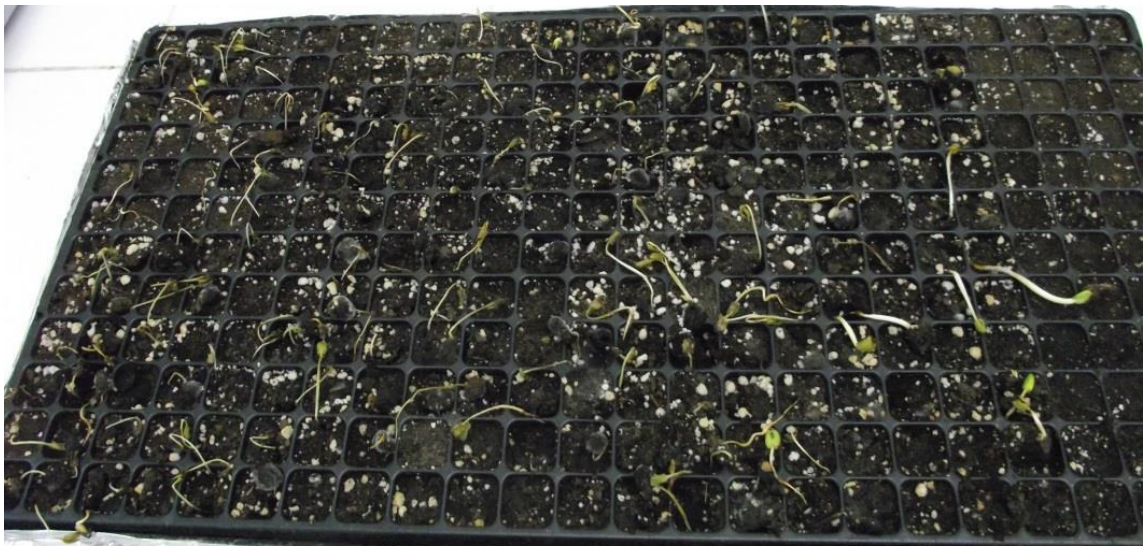
CONCLUSIONES

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.

CAPÍTULO IV

EFFECTO DE TEMPERATURAS ELEVADAS QUE SIMULAN CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GERMINACIÓN DE SIETE ESPECIES DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO



RESUMEN

El incremento de las temperaturas y cambios en los patrones de precipitación afectan a todos los ecosistemas y tiene una gran influencia en las poblaciones de especies vegetales. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la capacidad germinativa y la velocidad de germinación en condiciones controladas de fotoperiodo y temperatura de siete especies del matorral espinoso tamaulipeco que simulan incremento en la temperatura ante un posible cambio climático. Con los resultados generados, se puede pronosticar que especies tiene la capacidad de germinar a diferentes incrementos de temperatura, que especies se pueden adaptar a cambio climático, y cuáles migrarán o se extinguirán. Se estudiaron, *Caesalpinia mexicana*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Ehretia anacua*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis glandulosa* y *Prosopis laevigata*. Cada una de las especies contaba con semillas de diferentes procedencias, éstas fueron escarificadas, sembradas y puestas en una incubadora a diferentes temperaturas (temperatura promedio, temperatura promedio+2°C, temperatura promedio+5°C y temperatura promedio+7°C). Las especies que lograron germinar en los cuatro tratamientos fueron: *C. mexicana*, *P. aculeata*, *P. glandulosa* y *P. laevigata*. Mientras que *C. pallida*, *C. hookeri* y *E. anacua* no germinaron a temperatura de 7°C por encima de la temperatura promedio. Los resultados muestran que las especies estudiadas del matorral espinoso tamaulipeco tienen la capacidad de adaptarse al incremento de las temperaturas como un efecto del cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, capacidad germinativa, t50, temperatura, matorral espinoso tamaulipeco.

ABSTRACT

The increase in temperature and changes in precipitation patterns, affect all ecosystems and has a great influence on plant species populations. The aim of the present work is to evaluate the germination capacity and 50% germination under controlled conditions of temperature and photoperiod of seven species of Tamaulipan Thornscrub simulating the temperature increase in a possible climate change. With the results generated, we can predict which species has the capacity to germinate at different temperatures increments, wich species can adapt to climate change, and which will migrated or will become extinct. *Caesalpinia mexicana*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Ehretia anacua*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis glandulosa* and *Prosopis laevigata* were studied. Each specie. counted with seeds from different populations, which were scarified, seeded and placed in the incubator at different temperatures (average temperature, average temperature +2°C, average temperature+5°C and average temperature+7°C). The species that were able to germinate in the four treatments were: *C. mexicana*, *P. aculeata*, *P. glandulosa* and *P. laevigata*, whereas *C. pallida*, *C. hookeri* and *E. anacua* did not germinate in 7°C above the average temperature. The results show that the studied species of Tamaulipan Thornscrub have the capacity to adapt to the temperatures increment as an effect of climate change.

Keywords: climate change, germination capacity, t50, temperature, tamaulipan thornscrub.

INTRODUCCIÓN

En este estudio se evalúa la capacidad germinativa y velocidad de germinación en condiciones controladas de fotoperíodo y temperatura de 7 especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco de diferentes procedencias bajo 4 temperaturas diferentes que simulan incremento en la temperatura ante un posible cambio climático. En los últimos años se le ha asociado al cambio climático con el incremento en las temperaturas y la modificación en la precipitación en sus diversas formas debido a un incremento de los gases invernadero (IPCC, 2007).

El incremento de los gases invernadero y las temperaturas afectan a todos los ecosistemas del mundo (Salomon, *et al.*, 2007) y tiene una gran influencia en las poblaciones de especies vegetales (Herranz, 2009, Adler y Hillie, 2008, Nicotra *et al.*, 2010). Los efectos pueden resultar en cambios en la fenología, distribución de especies y puede llegar a causar la extinción de las mismas (Easterlin *et al.*, 2000).

Las altas temperaturas, causan una reducción de la biomasa en las especies vegetales, debido al decremento de la fotosíntesis y al incremento de la transpiración y la conducción estomatal (Jones, 1992), afectando principalmente la progenie de las plantas. Un incremento en aridez y temperatura puede por un lado disminuir la presencia de algunas especies, pero además puede promover que otras se logren adaptar a los cambios (Peñuelas *et al.*, 2001).

La germinación es conocida por ser un proceso complejo en el que están relacionados las interacciones genéticas y factores ambientales (Basbag *et al.*, 2009). Uno de los principales factores físicos que afectan la germinación, después de la disponibilidad de agua es la temperatura, debido a que este

afecta el porcentaje y la velocidad de germinación así como la latencia o inhibición de la germinación (Baskin and Baskin, 1998, Shimono y Kudo, 2005).

Algunas especies vegetales tienen la capacidad de germinar en un amplio rango de temperaturas, mientras que otras solo lo hacen en un rango muy reducido (Probert, R. en Fenner, 2000, Fenner, 1985, Wang, 2010). De igual manera, semillas de la misma especie pero de diferentes procedencias pueden requerir de diferentes temperaturas para germinar debido al medio en el que se desarrollan y a su plasticidad fenotípica (Cavieres y Arroyo, 2000).

Se ha demostrado que la concentración de dióxido de carbono, la concentración de oxígeno, la temperatura, y la disponibilidad de agua y nutrientes puede afectar a las semillas en su germinación y emergencia (Borchet, *et al.*, 1989). El éxito de la emergencia de plántulas depende principalmente en la habilidad de la semilla a germinar y la capacidad de emerger a la superficie del suelo (Aou-ouad *et al.*, 2014). Diversos estudios muestran que la sobrevivencia de las plántulas durante las etapas tempranas es una fase crítica para su establecimiento y éxito de las especies vegetales (Fenner y Kitajama, 1999, Traveset *et al.*, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y tratamiento de especies vegetales

Las especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco seleccionadas para este estudio presentan una alta abundancia en México, y son de gran importancia económica (leña, postes de cercas, construcción de casas, fabricación de muebles, forraje, etc.) (Estrada *et al.*, 2004; Reid *et al.*, 1990) y ecológica (rehabilitación de áreas degradadas y valor ecológico).

Las especies seleccionadas para este trabajo fueron: *Caesalpinia mexicana* Gray (arbórea), *Celtis pallida* Torr. (arbustiva), *Condalia hookeri* M. C. Jhonst. (arbustiva), *Ehretia anacua* L. M. Jhonst. (arbórea), *Parkinsonia aculeata* L. (arbórea), *Prosopis glandulosa* Torr. (arbórea) y *Prosopis laevigata* Willd. (arbórea).

La colecta de semillas, se llevó a cabo durante la primavera-verano 2011 en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí, y Coahuila (Cuadro 1), a diferentes elevaciones. Para cada especie y procedencia se colectaron semillas de al menos 10 plantas madre con el fin de incluir la variación genética local.

Cuadro 1. Información de las procedencias de las especies estudiadas.

ESPECIE	Municipio/ Comunidad	Estado	Altitud (msnm)	Latitud N	Longitud O
<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	Linares	NL	370	24°47'45"	99°32'31"
<i>Caesalpinia mexicana</i> Gray	Ejido Rancho Viejo y la Palma	NL	710	24°44'57"	99°47'14"
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Linares	NL	370	24°47'45"	99°32'31"
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Carretera Linares- Iturbide	NL	450	24°47'15"	99°39'13"
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Ejido Los Ángeles	NL	560	24°57'37"	99°49'20"
<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst.	Linares	NL	370	24°47'45"	99°32'31"
<i>Condalia hookeri</i> M. C. Jhonst	Carretera Linares- Iturbide	NL	450	24°47'15"	99°39'13"
<i>Ehretia anacua</i> I. M. Jhonst	Linares	NL	370	24°47'45"	99°32'31"
<i>Ehretia anacua</i> I. M. Jhonst	Ejido Los Ángeles	NL	560	24°57'37"	99°49'20"
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Linares	NL	370	24°47'45"	99°32'31"
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Ejido Los Ángeles	NL	560	24°57'37"	99°49'20"
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Monclova	Coah.	650	26°52'27"	101°25'22"
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Torreón	Coah.	1215	25°31'27"	103°27'41"
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	San Luis Potosí	SLP	1890	22°07'52"	100°59'37"
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Galeana	NL	1630	24°49'04"	100°04'20"
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido Llanos de la Unión	Coah.	1987	25°23'52"	101°07'24"
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Ejido Angostura	Coah.	1785	25°20'32"	101°02'42"
<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Linares	NL	370	24°47'45"	99°32'31"
<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	Ejido La Soledad	NL	1581	24°00'18"	100°03'27"
<i>Prosopis laevigata</i> Willd.	San Luis Potosí	SLP	1890	22°07'52"	100°59'37"

Una vez colectadas las semillas se seleccionaron aquellas que estuvieran libres de daño y que presentaran buena calidad, para posteriormente escarificarlas con papel lija, de manera manual. Una vez llevado a cabo este procedimiento, se prepararon las charolas de plástico con (288 cavidades, 10.29 ml/cavidad) suelo de monte, peat moss y vermiculita en las proporciones 6:3:1, donde se sembraron 1 semilla por cavidad para el caso de semillas de tamaño grande, 2 semillas para las de tamaño mediano y 4 para las pequeñas.

Para cada especie/procedencia se realizaron cuatro bloques con cinco repeticiones cada uno.

Evaluación del porcentaje y velocidad de germinación

Para determinar el porcentaje y velocidad de germinación (T50) de las especies en estudio, se usó una Germinadora Lumistell (laboratorio), con la finalidad de simular el incremento en la temperatura por efecto de cambio climático. Se tomó como base las temperaturas del suelo en los primeros 5 cm de profundidad del mes de septiembre, que es el mes más lluvioso y en el cual germinan la mayoría de las especies (Jurado *et al.*, 2000, Jurado *et al.*, 2006), de la estación meteorológica más cercana al área (www.wcc.nrcs.usda.gov). Primero se tomaron en cuenta las temperaturas diurnas (7:00am-5:00pm) y nocturnas (6:00pm-6:00am) con intervalos de una hora, manteniéndose constante de las 6:00 pm a las 6:00 am. Posteriormente se obtuvieron los incrementos hora a hora del periodo de las 7:00 am a las 5:00 p.m, con la finalidad de simular lo que sucede lo más cercano a la realidad (Anexo 1).

El experimento se basó en tres tratamientos y un control, las temperaturas utilizadas fueron las más pesimistas ante el cambio climático y fueron: testigo, temperatura real del mes de septiembre del 2011 (Control), tratamiento 1, temperatura real más 2°C (T1), tratamiento 2, temperatura real más 5°C (T2) y tratamiento 3, temperatura real más 7°C (T3) (Anexo 2). Las temperaturas máximas fueron 38°C, 41°C, 43°C. Se tuvieron 12 horas luz y 12 horas oscuridad.

La velocidad de germinación (T50) se determinó con el número de días en el que emergieron el 50% de las semillas (Bewley and Black, 1985). El porcentaje de germinación se determinó, contabilizando las semillas que emergieron cada día por 15 días y al final del experimento se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%G= 100*N/NS$$

Donde:

N: Número de semillas que emergieron

NS: Número total de semillas

Análisis estadístico

Para los porcentajes de germinación y velocidad de germinación en los cuatro tratamientos, se analizaron estadísticamente para determinar las diferencias entre procedencias y entre y dentro de las temperaturas, mediante un modelo de análisis de varianza factorial anidado. Cuando se observaron diferencias entre tratamientos ($p < 0.05$) se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey. Este análisis se realizó con el software estadístico "R Project". El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_i + \beta_{Pij} + A(P)_{kj} + E_{ijk}$$

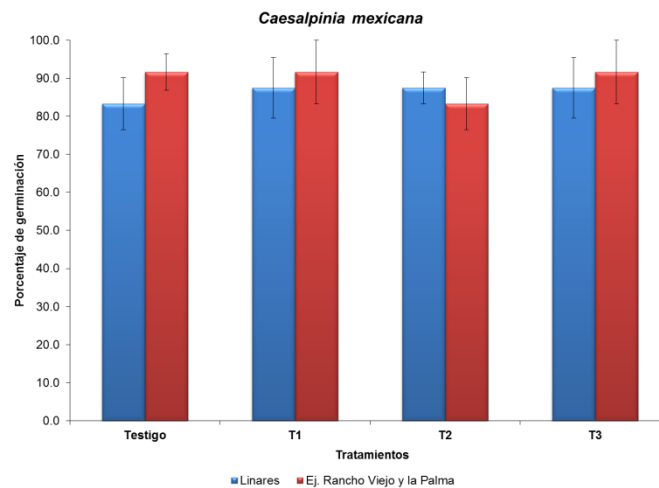
Donde: Y_{ijk} =valor observado de la k-ésima familia de la j-ésima procedencia, en la i-ésima temperatura; μ =media poblacional; β_i =efecto aleatorio del i-ésima procedencia; P_j =efecto aleatorio de la j-ésima temperatura; β_{Pij} =efecto aleatorio de la interacción del i-ésima procedencia con la j-ésima temperatura; $A(P)_{kj}$ =efecto aleatorio de la k-ésima familia anidada en la j-ésima procedencia; E_{ijk} =error aleatorio de muestreo.

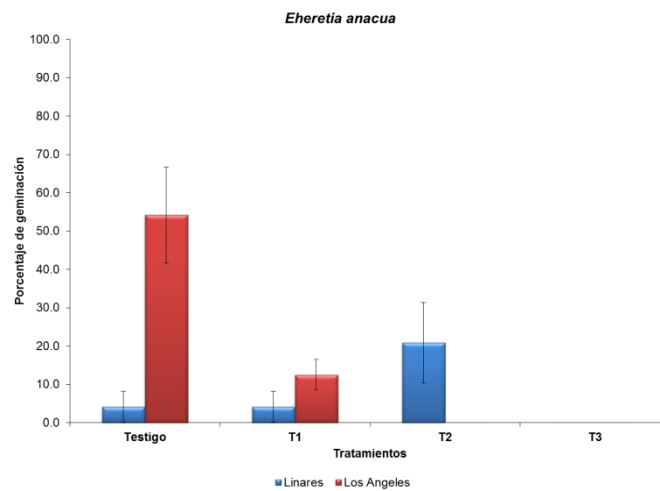
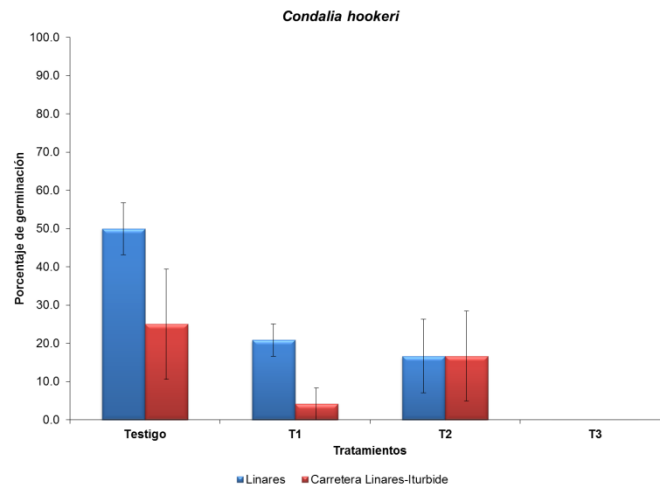
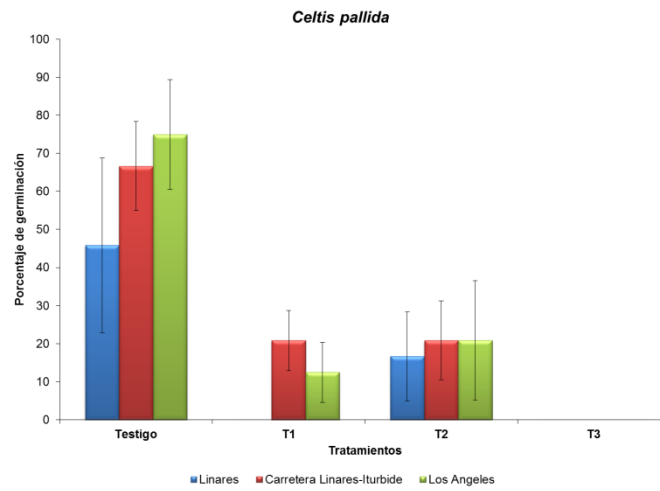
En el análisis factorial anidado se determinó el valor de varianza explicada eta cuadrado (η^2) expresado en porcentaje, el cual permite conocer la asociación de la variable dependiente y la variable independiente (o niveles). Keppel en 1982, señala que este índice fue propuesto como índice de la fuerza relativa para datos provenientes de experimentos y se define como una estimación general del tamaño del efecto (Vincent,1999).

RESULTADOS

Porcentaje de Germinación

En la figura 1, se observa que la única especie que se comportó de la misma manera, independientemente de la temperatura y procedencia fue *Caesalpinia mexicana*. *Condalia hookeri*, *Celtis pallida* y *Ehretia anacua*, germinaron menos a mayores temperaturas en todas sus procedencias. *Caesalpinia mexicana*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis glandulosa*, *Prosopis laevigata* son especies que germinan en todas las temperaturas, aunque su comportamiento sea diferente entre los tratamientos (Fig. 1).





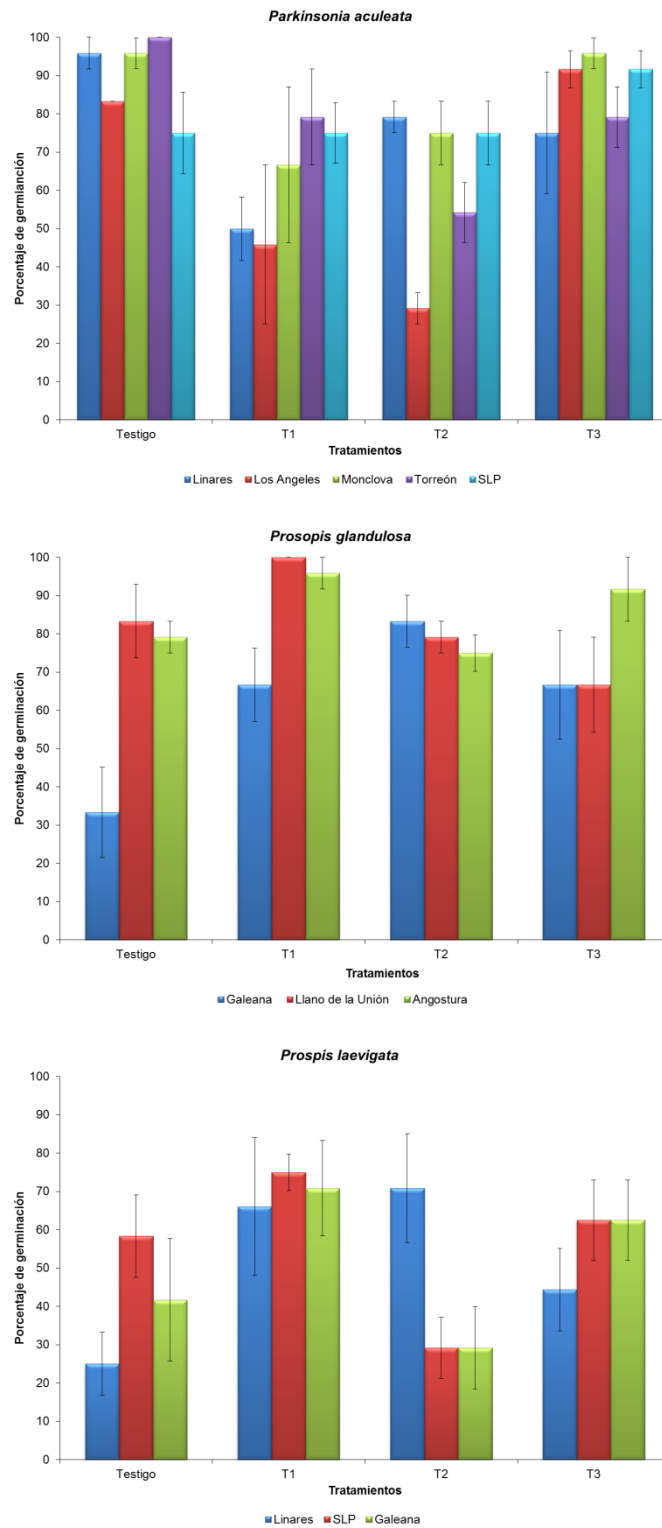


Figura 1. Efecto de la procedencia de las semillas en el porcentaje de germinación (Promedio \pm E.S) en los cuatro tratamientos (testigo=temperatura promedio, T1= temperatura promedio+2, T2= temperatura promedio+5, T3= temperatura promedio+7).

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro 2 *Caesalpinia mexicana* fue la única especie que respondió de la misma manera en las cuatro condiciones de temperatura y procedencias ($F = 0.392$, g.l.=1, $P = 0.531$) y tratamientos ($F = 0.160$, g.l.=3, $P = 0.0922$).

En las semillas de *Celtis pallida* y *Condalia hookeri* presentaron un comportamiento similar. Es decir, se observó una germinación similar entre procedencias (*Celtis pallida*, $F=1.402$, g.l.=2, $P=0.259$; *Condalia hookeri*, $F=3.333$, g.l.= 1, $P=0.085$), pero diferente en los tratamientos (*Celtis pallida*, $F = 17.958$, g.l.=3, $P < 0.001$; *Condalia hookeri*, $F = 7.467$, g.l.=3 $P < 0.001$). Conforme se incrementa la temperatura del suelo el porcentaje de germinación fue menor en ambas especies y procedencias. La interacción entre procedencias y tratamientos no fue significativa (*Celtis pallida*, $F= 0.444$, g.l.=6, $P=0.844$; *Condalia hookeri*, $F=.200$, g.l.= 3, $P=0.331$).

Ehretia anacua, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis glandulosa* y *Prosopis laevigata* se comportaron de la misma manera, es decir, presentaron diferencia en el porcentaje de germinación entre las procedencias (*Ehretia anacua*: $F = 4.417$, g.l.=1, $P=0.046$; *Parkinsonia aculeata*: $F=3.487$, g.l.=4, $P=0.012$; *Prosopis glandulosa*: $F=5.874$, g.l.= 2, $P=0.006$ y *Prosopis laevigata*: $F = 3.783$, g.l.=2, $P=0.032$) y entre los tratamientos (*Ehretia anacua*: $F = 7.617$, g.l.=3, $P < 0.001$; *Parkinsonia aculeata*: $F=10.745$, g.l.=3, $P < 0.001$; *Prosopis glandulosa*: $F = 2.997$, g.l.= 3, $P=0.043$ y *Prosopis laevigata*: $F = 5.926$, g.l.=3, $P=0.002$). Así mismo, la interacción entre las procedencias y tratamientos fue significativa (*Ehretia anacua*: $F=11.108$, g.l.=3, $P < 0.001$; *Parkinsonia aculeata*: $F=2.365$, g.l.=12, $P=0.014$; *Prosopis glandulosa*: $F = 3.021$, g.l.= 6, $P=0.017$ y *Prosopis laevigata*: $F = 3.559$, g.l.= 6, $P=0.007$).

Cuadro 2. Porcentajes de germinación donde se muestran las diferencias significativas ($p < 0.05$) con diferentes letras minúsculas entre temperaturas, procedencias e interacciones (I) entre procedencia:temperatura.

Información de las especies		Temperaturas de germinación								Procedencia
Especie	Procedencia	Testigo	I	T1	I	T2	I	T3	I	
<i>Caesalpinia mexicana</i>	Linares	83±13.61	a	88±15.96	a	88±8.33	a	88±15.96	a	a
	Ej. Rancho Viejo y la Palma	92±9.62	a	92±16.67	a	83±13.61	a	92±16.67	a	a
Temperatura		a		a		a		a		
<i>Celtis pallida</i>	Linares	46±45.90	a	0±0	b	17±23.57	ab	0±0	b	a
	Carretera Linares-Iturbide	67±23.57	a	21±15.96	ab	21±20.97	ab	0±0	b	a
	Ejido Los Ángeles	78±28.87	a	13±15.96	ab	21±31.55	ab	0±0	b	a
	Temperatura	a		b		b		b		
<i>Condalia hookeri</i>	Linares	50±13.61	a	21±8.33	ab	17±19.25	ab	0±0	b	a
	Carretera Linares-Iturbide	25±28.87	ab	4±8.33	b	17±23.57	ab	0±0	b	a
	Temperatura	b		a		b		a		
<i>Ehretia anacua</i>	Linares	4±8.34	b	4±8.33	b	21±20.97	a	0±0	b	a
	Ejido Los Ángeles	54±25.00	a	13±8.34	a	0±0	b	0±0	b	b
Temperatura		b		a		a		a		
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Linares	96±8.33	a	58±16.67	a	79±8.33	ab	75±31.91	ab	ab
	Ejido Los Ángeles	83±0	a	38±41.67	b	28±8.33	b	92±9.62	a	b
	Monclova, Coahuila	96±8.33	a	67±40.82	a	75±16.67	ab	96±8.33	a	a
	Torreón, Coahuila	100±0	a	88±25.00	a	54±15.96	ab	79±15.96	ab	a
	San Luis Potosí	75±21.52	a	79±15.96	a	75±16.67	ab	92±9.62	a	a
	Temperatura	b		a		a		b		
<i>Prosopis glandulosa</i>	Galeana	33±23.57	b	67±19.25	a	83±13.61	a	71±28.46	ab	ab
	Llano de la Unión	83±19.24	a	100±0	a	79±8.33	a	62±25	ab	a
	Angostura	79±8.28	a	96±8.34	a	75±9.61	ab	92±16.66	a	b
	Temperatura	b		a		ab		ab		
<i>Prosopis laevigata</i>	Linares	25±16.50	b	67±36.00	a	63±28.48	a	42±21.52	ab	ab
	Galeana, N.L.	42±32.12	ab	71±25.00	a	75±21.52	a	63±20.97	a	a
	San Luis Potosí	58±21.56	a	75±9.62	a	29±15.96	ab	63±20.97	a	b
Temperatura		b		a		ab		b		

Velocidad de germinación

En el cuadro 3 se muestran las velocidades de germinación de las siete especies así como su nivel de significancia entre los tratamientos (temperaturas), procedencias de las semillas y la interacción entre ellas. Donde se observó que *Caesalpinia mexicana*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Ehretia anacua* *Parkinsonia aculeata* y *Prosopis laevigata* no presentaron diferencias en su velocidad de germinación entre las procedencias, pero si en los tratamientos. *Prosopis glandulosa* presentó diferencias entre sus procedencias ($F = 5.16$, g.l.= 2, $P=0.010$) y entre sus tratamientos ($F = 66.04$, g.l.= 3, $P<0.001$).

P. glandulosa y *P. laevigata* fueron las especies que germinaron en el menor tiempo, es decir que el 50 por ciento de las semillas germinaron en promedio en 2.8 y 2.9 días. Mientras que *C. hookeri* (9.7 días) y *E. anacua* (10.1 días) germinaron en mayor tiempo.

Cuadro 3. Velocidad de germinación de cada una de las especies y sus procedencias y se muestran las diferencias significativas ($p < 0.05$) con diferentes letras minúsculas entre temperaturas y procedencias.

<i>Especie</i>	<i>Procedencia</i>	<i>Testigo</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>Procedencia</i>
<i>Caesalpinia mexicana</i>	Linares	4	3	4	4	3.8^a
	Ejido Rancho Viejo y La Palma	3.3	3	4.8	3.5	3.7^a
Temperatura		3.6^a	2.7^b	4.3^c	3.2^a	
<i>Celtis pallida</i>	Linares	9.3	-	10	-	9.7^a
	Carretera Linares-Iturbide	9.5	7.7	8.3	-	8.5^a
	Ejido Los Ángeles	8.8	6	8.5	-	7.8^a
Temperatura		9.2^b	6.9^a	8.9^{ab}	-	
<i>Condalia hookeri</i>	Linares	11	6.5	9.5	-	9.0^a
	Carretera Linares-Iturbide	11.8	9	10	-	10.3^a
Temperatura		8.8^b	6.1^a	7.9^a	-	
<i>Ehretia anacua</i>	Linares	11	11	10	-	10.7^a
	Ejido Los Ángeles	12	7	-	-	9.5^a
<i>Elevaciones</i>		10.6^a	8.0^a	9.0^a	2.0^b	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Linares	4.5	2.5	4.3	7.3	4.7^a
	Ejido Los Ángeles	4.8	3.5	4.3	6.5	4.8^a
	Monclova, Coahuila	4.8	3.5	4.4	7	4.9^a
	Torreón, Coahuila	4.3	3	4.5	6	4.5^a
	San Luis Potosí	5.3	2.6	6	5	4.7^a
Temperatura		4.8^a	3.0^b	5.0^a	6.0^c	
<i>Prosopis glandulosa</i>	Galeana	4.3	2.3	4	2	3.2^a
	La Soledad	2.8	2	4	2	2.7^b
	Llano de la Unión	3	2	4	2	2.8^b
Temperatura		3.4^b	2.1^a	4.0^b	2.0^a	
<i>Prosopis laevigata</i>	Linares	2.3	2.5	3	3.8	2.9^a
	Galeana, N.L.	3	2	4	2	2.8^a
	San Luis Potosí	3.5	2	3.5	2	2.8^a
Temperatura		2.9^{ab}	2.2^a	3.5^b	2.6^a	

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La diferencia en la capacidad de germinación entre las diferentes poblaciones de la misma especie se interpreta como una adaptación a las características del medio ambiente (factores climáticos) del cual provienen (Meyer *et al.*, 1997). En el presente estudio, todas las especies pudieron germinar en los 3 tratamientos realizados, a excepción de *C. pallida*, *C. hookeri* y *E. anacua*, que no lograron germinar a altas temperaturas (T3= temperatura real+5°C), con lo se puede predecir que éstas especies presentarán dificultades en su capacidad de germinación en caso de que la temperatura incrementara más de 5°C. De acuerdo a Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (1997), la vegetación de matorrales es uno de los ecosistemas que pueden ser sensibles al cambio climático de acuerdo a los escenarios presentados, presentando algunos cambios en su estructura.

La alta variación entre las procedencias de las semillas y tratamientos (temperaturas) (*E. anacua*, *P. aculeata*, *P. glandulosa* y *P. laevigata*), es quizá debida a la interacción entre los genotipos y condiciones ambientales (Vassilevska-Ivanova y Tcekova, 2002). Las semillas de *C. mexicana* y *P. aculeata* tuvieron un alto porcentaje de germinación en el tratamiento 3 (T3= temperatura real+7°C). Con los resultados obtenidos en este estudio se puede predecir que todas las especies estudiadas tienen la capacidad de germinar a temperaturas altas y que podrán adaptarse al cambio climático.

V. LITERATURA

- Addler, P.B., Hillie Ris Lambers, J. 2008. The influence of climate and species composition on the population dynamics of ten prairie forbs. *Ecology*, 89, 3049-3060.
- Agrawal, A. A. 2000. Benefits and costs of induced plant defense for *Lepidium virginicum* (Brassicaceae). *Ecology*, 81: 1804–1813.
- Aitken, S. N., Yeaman, S., Holliday, J. A., Wang, T., Curtis-McLane, S. 2008. Evolutionary Applications. Pp. 95-111.
- Aou-ouad, H., Medrano, H., Lamarti, A., Gulías, J. 2014. Seed germination at different temperatures and seedling emergence at different depths of *Rhamnus* spp. *Central European Journal of Biology* (2014-05-01) 9: 569-578.
- Barbosa, D. C. A. y Prado, M. D. C. G. 1991. Quantitative analysis of the growth of *Parkinsonia aculeata* L. in a greenhouse. *Phyton*. 52(1): 17-26.
- Basbag, M, Toncer, O, Basbag, S. 2009. Effects of different temperaturas and duration on germination of caper (*Capparis ovate*) seeds. *Journal of Environmental Biology*. 30(4), 621-624 p.
- Baskin CC, Baskin JM. 1998. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press.
- Bewley J.D y Black, M. 1982. Physiology and Biochemistry of Seeds in relation to Germination. Vol. II. Viability, Dormancy and Environmental Control. Springer-Verlag, Berlin.

Bischoff, A.B., Vonlathern, T., Steigner & H. Muller-Scharer. 2006 Seed provenance matters- Effects on germination of four plants species used for ecological restoration. Basic and Applied Ecology Vol 7. p. 347-359.

Borchet, M.I, Davis, F.W, Michaelson, J, Oyler, L.D. 1989. Interactions of factor affecting seedling recruitment of blue oak (*Quercus douglasii*) in California. Ecology. 70, 389-404 p.

Cahill, A.E., Aiello-Lammens, M.E., Fisher-Reid, M.C., Hua, X., Karanewsky, C.J., Ryu, H.Y., Sbeglia, G.C., Spagnolo, F., Waldron, J.B., Warsi, O., Wiens, J.J. 2012. How does climate change cause extinction?. Proceedings of the Royal Society. doi:10.1098/rspb.2012.1890.

Callaghan, T. V, Bjorn, L. O, Chernov, Y, Chapin, T, Christensen, T. R, Huntley, B, Ims, R. A, Johansson, M, Jolly, D, Jonasson, S, Matveyeva, N, Panikov, N, Oechel, W, Shaver, G, Elster, J, Henttonen, H, Laine, K, Taulavuori, K, Taulavuori, E, Zockler, C. 2004. Biodiversity, distributions and adaptations of arctic species in the context of environmental change.

Cavieres, L.A, Arroyo, M.T.K. 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.

Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, p. 87-108.

Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao X., Held, I., Jones, R., Kolli R. K., Kwon, W-T., Laprise, R., Magaña, Rueda V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. and Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. In: 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, United Kingdom and New York, NY, USA.

Cook, B.I., Wolkovich, E.M., Davies, T.J., Ault, T.R., Betancourt, J.L., Allen, et al. 2012 (a). Sensitivity of spring phenology to warming across temporal and spatial climate gradients: comparison of two independent databases. *Ecosystems*, 15, 1283–1294.

Cook, B.I., Wolkovich, E.M. & Parmesan, C. (2012b). Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *PNAS*, 109(23), 9000–9005.

Collingham, Y.C., Huntley, B. 2000. Impacts of habitat fragmentations and patch size upon migration rates. *Ecological Applications* Vol. 10, No. 1, pp. 131-144.

Comisión Nacional del Agua. 2012. Estadística descriptiva de las estaciones meteorológicas 19007, 19035 y 19193. <http://www.conagua.gob.mx>

Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorrilla, S. 2007. Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impacto, Vulnerabilidad y Adaptaciones. *Revista Ambiente y Desarrollo*. 23(2):23-30.

- Damschen, E. I., Haddad, N. M., Orrock, J. L., Tewksbury, J. J. & Levey, D. J. 2006. Corridors increase plant species richness at large scales. *Science* 313, 1284–1286.
- Doering, O.C. III, Randolph, C, Southworth, J, y Pfeifer, R.A. 2002. Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Kluwer Academic Publishers.
- Easterling D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A, Karl, T.R, Mearns, L.O. 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
- Erschbamer, B., Kiebacher, T., Mallaun, M., Unterluggauer, P. 2009. Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in South Alps. *Plant Ecology* (202) 79-89.
- Estrada, E. and J. Marroquín (1991). Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales.UANL. Rep. Cient. No. 10 (especial), Linares N.L. México,258 pp.
- Fenner, M. 1985. *Seed Ecology*. Ed. Chapman and Hall. 149 pp.
- Fenner, M. 2000. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Caby Publishing. P 413 pp.
- Fernández-Nava, R; Arreguín-Sánchez, M.L.; Quiroz-García, D.L. 2013. Revisión del género *Condalia* (Rhamnaceae) en México. *Polibotánica* Núm. 36, pp. 15-40, México.

- García-Pérez, J., Calderón, Ó. A., Castellón, E. E., Flores-Rivas, J., Jiménez-Pérez, J., Jurado, E. (2007). Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación. *Madera y Bosques* Vol.13 p. 99-117.
- Gienapp, P., Teplitsky, C., Alho, J. S., Mills, J. A., Merilä, J. 2008. Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses (17) 167-178.
- Giménez-Benavides, L., Escudero, A., Pérez-García, F. (2005). Seed germination of high mountain Mediterranean species: altitudinal, interpopulation and interannual variability. *Ecological Research* 20(4). p. 433-444.
- Gómez, F., J. Signoret, y M.C. Abuín. 1970. Mezquites y Huizaches. Algunos Aspectos de la Economía, Ecología y Taxonomía de los Géneros, *Prosopis* y *Acacia* en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. México, D.F
- Gonzalez, P., Neilson, R.P., Lenihan, J.M., Drapek, R. 2010. Global patterns in vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change. *Global Ecology and Biogeography* Global Ecology and Biogeography, Volume 19, Issue 6, 755–768.
- Hernández R.P y J.A. Ortega S. 2000. Como estimar la producción de forraje seco del guajillo (*Acacia berlandieri* Benth). Folleto técnico No. 1. Noviembre del 2000. 24 p.

- Herranz, J.M, Copete, M.A, Ferrandis, P. 2009. Posibles efectos del cambio climático sobre las especies vegetales en Castilla-La Mancha. Impactos del cambio climático Castilla-la Mancha. Ed. Fundación General del Medio Ambiente. 203-317.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC-WGI. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. 23 pp.
- Jacoby, G.C., D'Arraigo, R.D., Davaajamts, T. 1996. Mongolian tree rings and 20th century warming. *Science* (68) 771-773.
- Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. Second Edition. Cambridge University Press. 452 pp.
- Jump, A.S., Peñuelas, J. 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters* 8: 1010-1020.
- Jurado E, J.F. García, J. Flores y E. Estrada. 2006. Leguminous seedling establishment in tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *For. Ecol. Manage.* 221:133-139.

- Jurado, E., García, J., Flores, J., Estrada, E., Gonzalez, H. 2011. Abundance of seedlings in response to elevation and nurse species in Northeastern Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 56(2) 154-161.
- Jurado, E., O. Aguirre, J. Flores, J. Navar, J. Jiménez, H. Villalón y D. Wester. 2000. Germination in tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *J. Arid Environ.* 46:413-424.
- Keppel, G. 1982. *Design and analysis: A researcher's handbook* (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kitajima, K., Fenner, M. 2000. Ecology of seedling regeneration, pp. 331-359. In: Fenner, M. (Ed.). *Seeds, The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd. Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Kullman L. 2002. Rapid recent range-margins rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology* (90) 68-77.
- Kullman L. 2007. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *Journal of Ecology* 95:41–52.
- Ladyman, J. 2003. *Prosopis glandulosa* (Honey mesquite). In: *Wildland Shrubs of the United States and its Territories: Tamnric Descriptions*. J.K. Francis (ed) General Technical Report IITF-WB-1, U.S.D.A. Forest Service, International Institute of Tropical Forestry And Shrub Sciences Laboratory. Disponible en: http://www.fs.fed.us/global/iitf/wildland_shrubs.htm
- Loarie, S.R., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B. & Ackerly, D.D. 2009. The velocity of climate change. *Nature*, 462, 1052–1055.

- Lynch, M., and R. Lande. 1993. Evolution and extinction in response to environmental change, pp. 234-250. En: Kareiva, P., Kingsolver, J. y Huey R. (eds.) Biotic Interactions and Global Change.
- Macyk, T. M. 2000. Reclamation of alpine and subalpine lands. American Society of Agronomy, Agronomy Monograph 41. 2000.
- Magaña, V. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. En: Martínez, J. y A. Fernández (comps.). Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. pp 17-27.
- McCarty, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. Conservation Biology. Vol. 15, No. 2. p. 320-331.
- McLaughlin, J.F., Hellman, J.J., Boggs, C.L., Ehrlich, P.R. 2002. Climate change hastens populations extinctions. The National Academy of Science (99) 9 6070-6074.
- McMahon, S.M., Harrison, S.P., Armbruster, W.S., Bartlein, P.J., Beale, C.M., Edwards, M.E., Kattge, J., Midgley, G., Morin, X., Prentice, I.C. 2011. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity. Trends Ecol. Evol. 26, 249–59.
- Menzel, A., Fabian, P. 1999. Growing season extended in Europe. Nature, 397, 659.
- Meshinev, T., Apostology, I., Koleva, E. 2000. Influence of warming on timberline rising: a case of study of *Pinus peuce Griseb.* In Bulgaria. Phytocoenologia (3-4) 431-438.

- Meyer, S. E., P. S. Allen, and J. Beckstead. 1997. Seed germination regulation in *Bromus tectorum* (Poaceae) and its ecological significance. *Oikos* 78: 474-485.
- Milbau, A., Graae, B.J., Shevtsova, A., Nijs, I. 2009. Effects of a warmer climate on seed germination in the Subarctic. *Annals of Botany* 104 (2): 287-296.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, USA, 86 pp.
- Mooney, H.A. y Hobbs, R.J. 2000. *Invasive species in a changing world*. Island Press, Washington.
- Neilson *et al.*, 2005. Forecasting Regional to Global Plant Migration in Response to Climate Change. *BioScience*. Vol. 55 No. 9. 749-759.
- Nicotra, A.B, Atkin, O.K, Bonser, S.P, Davidson, A.M, Finnegan, E.J, Mathesius, U, Poot, P, Purugganan, M.D, Richards, C.L, Valledares, F, Van Kleunen, M. 2010. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*. Vol. 15. No. 12, 684-692.
- Parmesan C, Ryrholm N, Stefanescu C, Hill JK, Thomas CD, *et al.*, 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579–83.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 637-669.

- Pauli, H., Gottfried, M., Grabherr, G. 1996. Effects of climate change on mountain ecosystems—upward shifting of alpine plants. *World Resources Rev* 8:382–390.
- Pauli, H., Gottfried, M., Grabherr, G. 2001. High summits of the Alps in a changing climate. “Fingerprints” of climate change. Kluwer, New York, pp 139–149.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C., Grabherr, G. 2006. Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* (13) 147–156.
- Peñuelas, J. y Filella, I. 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.
- Pérez-Calix, E. and G. E. Carranza. 1999. *Ulmaceae. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes* 75. Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Parmesan, C, Hanley, M.E. 2015. Plants and climate change: complexities and surprises. *Annals of Botany* 116 (6): 849–864.
- Parmesan C, Duarte C, Poloczanska E, Richardson A.J, Singer M.C. 2011) Overstretching attribution. *Nature Climate Change*, 1, 2–4.

Permesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review Ecology, Evolution, and Systematics* (37) 637-669.

Permesan, C., Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37–42.

Pitelka, F. L. 1997. Plant migration and climate change. *American Scientist*. (85) 5 461(10).

Pompe S, Hanspach J, Badeck F, Klotz S, Thuiller W, Kuhn I. 2008. Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters*; 4:564-567.

Possingham, H., Hughes, L., Howden, M. 2003. Biodiversity and climate change: Possible impacts, Adaptive Response and Research. *Australian Academy of Science* 105-115.

Probert, R.J. 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination, pp. 261-292. In: Fenner, M. (Ed). *Seeds, The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd. Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Quer, F. P. 1979. *Diccionario de botánica*. Editorial Labor. p 719.

Reid, N., Marroquin, J., Beyer-Munzel, P., 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuel wood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* Vol 36. pp 61–79.

- Reid, N., Marroquin, J., Beyer-Munzel, P., 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuel wood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* Vol 36. pp 61–79.
- Rico, L.(2007). *Acacia*. En Familia Leguminosae, Subfamilia Mimosoideae. *Flora del Bajío de Regiones Adyacentes*. Vol. 150: 8–50, 50–68, 85–89.
- Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C., Rawlins, S., Imeson, A. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453, 353-357.
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana* 14:3-21.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2007. *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Fascículo 150. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Scholze, M., Knorr, W., Arnell, N. W. y Prentice, C. 2006. A climate change risk analysis for world ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103 (35). pp.116-13120.

- Shimono, Y., Kudo, G. 2005. Comparisons of germination traits of alpine plants between fellfilled and snowed habitats. *Ecological Research* Vol. 20. pp 189-197.
- Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. 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.
- Sykes, M., Prentice, C. 1996. Climate change, tree species distribution and forest dynamics: A case of study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of Northern Europe. *Climate Change* (34) 161-177.
- Synott, T.J., Marroquín, J.S. 1987. *Ecología Forestal del Terreno de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León, con una lista anotada de árboles y arbustos*. Reporte Científico No. 6 FCF/UANL.
- Tapia Pastrana, F., Mercado-ruaro, P. y Ata, 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 Bótanica* 70 (1), 13:28.
- Thomas, C., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., Ferrerira de Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jersaveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Philipps, O.L., Williams, S.E. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* (427), 145-148.

Thuiller, W., Alberta, C., Araújob, M.B., Berryc, P.M., Cabezas, M., Guisane, A., Hickler, T., Midgley, G.F., Paterson, J., Schurr, F.M., Sykes, M.T., Zimmermann, N.E. 2008. Predicting global change impacts on plant species Distributions: Future Challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* (9) 137-152.

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 2017.
<http://www.tropicos.org/Name/4001978>

UNESCO. "Desarrollo de Tierras Áridas y Semiáridas. Obstáculos y Perspectivas". Ediciones del Serbal, 87 páginas, Barcelona, España, 1982.

Van der Putten, W.H., Marcel, M., Visser, M. 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):2025-34.

Vassilevska-Ivanova, R. & Tceikova, Z. 2002. Effect of Temperature on Seed Germination and Seedling Growth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*, vol.55, p.10:67.

Vibrans, H. 2009. Malezas de México.

Villegas, G.; Bolaños, A.; Miranda, J.A.; García, J.; Galván, M. 2003. Flora nectarífera y polinífera en el estado de Tamaulipas. Segunda edición. México D.F. 112 p.

Vincent, W. J. 1999. *Statistics in kinesiology* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Visser, M.E. 2008. Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change. *Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences* (275) 649-659.
- Vitt, P., Havens, K., Kramer, A.T., Sollenberger, D., and Yates, E. 2010. Assisted Migration of Plants: Changes in Latitudes, Changes in Attitude. *Biological Conservation* 143 (1): 18-27.
- Walker, M. D., Wahren, C. H., Hollister, R. D., Henry, G. H., Ahlquist, L. E., Alatalo, J. M., Bret-Harteh, S., Calefh, M.P., Callaghani, T.V., Carrolla, A.B., Epstein, H.E., Jónsdóttir, I.S., Klein, J.A., Magnússon, B., Molau, U., Oberbauer, S.F., Rewa, S.P., Robinson, C.H., Shaver, G.R., Suding, K.N., Thompson, C.C., Tolvanen, A., Totland, Ø., Turner, P.L., Tweedie, C.E., Webber, P.J., Wookey, P.A. 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 GR, Hughes L, Vitousek P, Stenseth NC. 2005. Consensus on climate change. *Trends Ecol. Evol.* 20:648–49
- Walther, G.R. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.*, 365, 2019–2024.
- Walther, G.R., Berger, S., Sykes, M.T. 2005. An ecological “footprint” of climate change. *Proceedings of Royal Society* (272) 1427-1432.
- Wang, J. H., Baskin, C. C., Chen, W. y Du, G. Z. 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*, vol. 25, no. 1, pp. 195–203.

Webb TI (1992) Past changes in vegetation and climate: lessons for the future.

In: Peters RL, Lovejoy TE (eds) Global warming and biological diversity. Yale University Press, New Haven, pp 59–75.

Williams, J.W., Jackson, S.T., Kutzbach, J.E. 2007. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 104 5738-5742.

ANEXO 1

Tabla 1. Temperaturas reales del suelo ocurridas en el mes de Septiembre del 2011.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
07:00	28.8	30.1	28.8	30.1	31.3	32.6	32.6	32.6	32.6	31.3	30.1	31.3	30.1	30.1	30.1
08:00	29.0	30.3	29.0	30.3	31.5	32.7	32.7	32.7	32.8	31.5	30.3	31.5	30.3	30.3	30.3
09:00	29.5	30.6	29.5	30.6	31.8	32.9	32.9	32.9	33.3	32.0	30.8	32.0	30.8	30.8	30.6
10:00	30.4	31.0	30.1	31.0	32.2	33.1	33.1	33.1	33.8	32.6	31.7	32.7	31.5	31.7	30.9
11:00	31.7	31.4	30.7	31.4	32.6	33.3	33.3	33.3	34.3	33.2	33.0	33.8	32.6	33.0	31.2
12:00	33.2	31.7	31.4	31.7	32.9	33.5	33.5	33.5	34.9	33.9	34.3	34.9	33.7	34.3	31.5
13:00	34.4	32.1	32.0	32.1	33.2	33.6	33.6	33.6	35.4	34.5	35.5	36.0	34.8	35.5	31.8
14:00	35.3	32.5	32.6	32.5	33.6	33.7	33.7	33.7	35.6	34.7	36.5	36.8	35.6	36.5	32.0
15:00	35.8	32.8	32.8	32.8	33.8	33.8	33.8	34.8	35.8	33.8	35.8	35.8	34.8	35.8	30.8
16:00	35.6	32.6	32.6	32.6	33.6	33.6	33.6	34.6	35.6	33.6	35.6	35.6	34.6	35.6	30.6
17:00	30.6	27.6	27.6	27.6	28.6	28.6	28.6	29.6	30.6	28.6	30.6	30.6	29.6	30.6	25.6

Tabla 2. Temperaturas reales del suelo ocurridas en el mes de Septiembre del 2011 +2°C.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
07:00	30.8	32.1	30.8	32.1	33.3	34.6	34.6	34.6	34.6	33.3	32.1	33.3	32.1	32.1	32.1
08:00	31.0	32.3	31.0	32.3	33.5	34.7	34.7	34.7	34.8	33.5	32.3	33.5	32.3	32.3	32.3
09:00	31.5	32.6	31.5	32.6	33.8	34.9	34.9	34.9	35.3	34.0	32.8	34.0	32.8	32.8	32.6
10:00	32.4	33.0	32.1	33.0	34.2	35.1	35.1	35.1	35.8	34.6	33.7	34.7	33.5	33.7	32.9
11:00	33.7	33.4	32.7	33.4	34.6	35.3	35.3	35.3	36.3	35.2	35.0	35.8	34.6	35.0	33.2
12:00	35.2	33.7	33.4	33.7	34.9	35.5	35.5	35.5	36.9	35.9	36.3	36.9	35.7	36.3	33.5
13:00	36.4	34.1	34.0	34.1	35.2	35.6	35.6	35.6	37.4	36.5	37.5	38.0	36.8	37.5	33.8
14:00	37.3	34.5	34.6	34.5	35.6	35.7	35.7	35.7	37.6	36.7	38.5	38.8	37.6	38.5	34.0
15:00	37.8	34.8	34.8	34.8	35.8	35.8	35.8	35.8	37.8	35.8	37.8	37.8	36.8	37.8	32.8
16:00	37.6	34.6	34.6	34.6	35.6	35.6	35.6	36.6	37.6	35.6	37.6	37.6	36.6	37.6	32.6
17:00	32.6	29.6	29.6	29.6	30.6	30.6	30.6	31.6	32.6	30.6	32.6	32.6	31.6	32.6	27.6

Tabla 3. Temperaturas reales del suelo ocurridas en el mes de Septiembre del 2011 +5°C.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
07:00	33.8	35.1	33.8	35.1	36.3	37.6	37.6	37.6	37.6	36.3	35.1	36.3	35.1	35.1	35.1
08:00	34.0	35.3	34.0	35.3	36.5	37.7	37.7	37.7	37.8	36.5	35.3	36.5	35.3	35.3	35.3
09:00	34.5	35.6	34.5	35.6	36.8	37.9	37.9	37.9	38.3	37.0	35.8	37.0	35.8	35.8	35.6
10:00	35.4	36.0	35.1	36.0	37.2	38.1	38.1	38.1	38.8	37.6	36.7	37.7	36.5	36.7	35.9
11:00	36.7	36.4	35.7	36.4	37.6	38.3	38.3	38.3	39.3	38.2	38.0	38.8	37.6	38.0	36.2
12:00	38.2	36.7	36.4	36.7	37.9	38.5	38.5	38.5	39.9	38.9	39.3	39.9	38.7	39.3	36.5
13:00	39.4	37.1	37.0	37.1	38.2	38.6	38.6	38.6	40.4	39.5	40.5	41.0	39.8	40.5	36.8
14:00	40.3	37.5	37.6	37.5	38.6	38.7	38.7	38.7	40.6	39.7	41.5	41.8	40.6	41.5	37.0
15:00	40.8	37.8	37.8	37.8	38.8	38.8	38.8	38.8	40.8	38.8	40.8	40.8	39.8	40.8	35.8
16:00	40.6	37.6	37.6	37.6	38.6	38.6	38.6	38.6	40.6	38.6	40.6	40.6	39.6	40.6	35.6
17:00	35.6	32.6	32.6	32.6	33.6	33.6	33.6	34.6	35.6	33.6	35.6	35.6	34.6	35.6	30.6

Tabla 4. Temperaturas reales del suelo ocurridas en el mes de Septiembre del 2011 +7°C.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
07:00	35.8	37.1	35.8	37.1	38.3	39.6	39.6	39.6	39.6	38.3	37.1	38.3	37.1	37.1	37.1
08:00	36.0	37.3	36.0	37.3	38.5	39.7	39.7	39.7	39.8	38.5	37.3	38.5	37.3	37.3	37.3
09:00	36.5	37.6	36.5	37.6	38.8	39.9	39.9	39.9	40.3	39.0	37.8	39.0	37.8	37.8	37.6
10:00	37.4	38.0	37.1	38.0	39.2	40.1	40.1	40.1	40.8	39.6	38.7	39.7	38.5	38.7	37.9
11:00	38.7	38.4	37.7	38.4	39.6	40.3	40.3	40.3	41.3	40.2	40.0	40.8	39.6	40.0	38.2
12:00	40.2	38.7	38.4	38.7	39.9	40.5	40.5	40.5	41.9	40.9	41.3	41.9	40.7	41.3	38.5
13:00	41.4	39.1	39.0	39.1	40.2	40.6	40.6	40.6	42.4	41.5	42.5	43.0	41.8	42.5	38.8
14:00	42.3	39.5	39.6	39.5	40.6	40.7	40.7	40.7	42.6	41.7	43.5	43.8	42.6	43.5	39.0
15:00	42.8	39.8	39.8	39.8	40.8	40.8	40.8	40.8	42.8	40.8	42.8	42.8	41.8	42.8	37.8
16:00	42.6	39.6	39.6	39.6	40.6	40.6	40.6	41.6	42.6	40.6	42.6	42.6	41.6	42.6	37.6
17:00	37.6	34.6	34.6	34.6	35.6	35.6	35.6	36.6	37.6	35.6	37.6	37.6	36.6	37.6	32.6