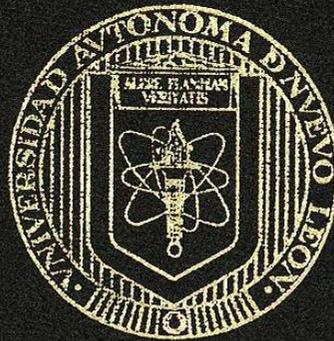


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



INFLUENCIA DE ALTITUD EN LA GERMINACION DE  
SEMILLAS Y ESTABLECIMIENTO DE PLANTULAS DE  
MATORRAL EN EL NORESTE DE MEXICO

TESIS DOCTORAL

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS  
Con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales

PRESENTA

M.C. JAIME FRANCISCO GARCIA PEREZ

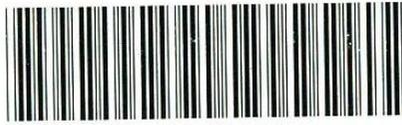
Linares, N. L.

Noviembre de 2006

FD  
Z599 1  
FCF  
2006  
. G364

2006

M.C. JAIMÉ FRANCISCO GARCÍA PÉREZ



1020154800



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



INFLUENCIA DE ALTITUD EN LA GERMINACIÓN DE  
SEMILLAS Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE  
MATORRAL EN EL NORESTE DE MÉXICO

TESIS DE DOCTORADO

Como requisito parcial para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales

Por

**M.C. JAIME FRANCISCO GARCÍA PÉREZ**

Linares, Nuevo León, México

Noviembre de 2006

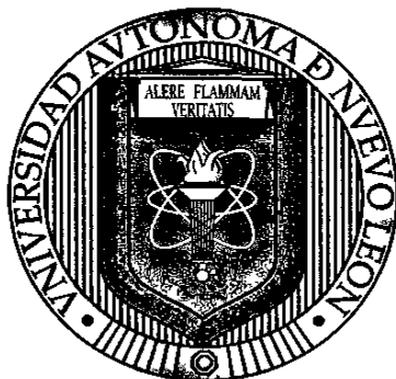
1022190

TD  
ZS991  
FCF  
2006  
.9364



FONDO  
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



INFLUENCIA DE ALTITUD EN LA GERMINACIÓN DE  
SEMILLAS Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE  
MATORRAL EN EL NORESTE DE MÉXICO

TESIS DE DOCTORADO

Como requisito parcial para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales

Por

**M.C. JAIME FRANCISCO GARCÍA PÉREZ**

Linares, Nuevo León, México

Noviembre de 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



INFLUENCIA DE ALTITUD EN LA GERMINACIÓN DE  
SEMILLAS Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE  
MATORRAL EN EL NORESTE DE MÉXICO

Por

**M.C. JAIME FRANCISCO GARCÍA PÉREZ**

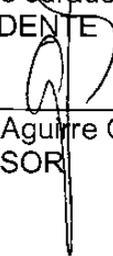
Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

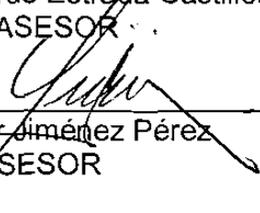
Con especialidad en Manejo de Recursos Naturales

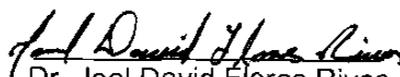
COMITÉ DE TESIS

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Enrique Jurado Ybarra  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Oscar Aguirre Calderón  
ASESOR

*Eduardo Estrada C.*  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Estrada Castellón  
ASESOR

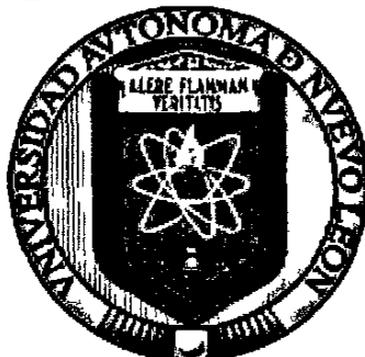
  
\_\_\_\_\_  
Dr. Javier Jiménez Pérez  
ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Joel David Flores Rivas  
ASESOR

Linares, Nuevo León, México

Noviembre de 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



INFLUENCIA DE ALTITUD EN LA GERMINACIÓN DE  
SEMILLAS Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE  
MATORRAL EN EL NORESTE DE MÉXICO

Por

**M.C. JAIME FRANCISCO GARCÍA PÉREZ**

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

Con especialidad en Manejo de Recursos Naturales

Dr. Enrique Jurado Ybarra  
PRESIDENTE

COMITÉ DE TESIS

Dr. Joel David Flores Rivas  
ASESOR

Linares, Nuevo León, México

Noviembre de 2006

## AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por haber apoyado mi formación doctoral (número de becario 112284), al proyecto CONACYT 44806-Q, PAICYT CN529-01, CN-515-01, CN904-04, CN1134-05.

A la UANL y a la Facultad de Ciencias Forestales.

Al Dr. Ricardo López Aguillón director de la Facultad de Ciencias Forestales, por el apoyo que me brindó en mi periodo de formación doctoral.

A todos los propietarios de predios donde los estudios fueron realizados. El Sr. Agustín Almaraz en Galeana N.L. amigo de muchos años me ayudó llevando el registro de germinación y establecimiento desafortunadamente falleció en el 2005. Nicolás Ortiz, en Hilario Tanguma me ayudó registrando mediciones de campo y me distinguió con su amistad.

Los trabajadores del vivero en la facultad siempre me prestaron ayuda, por ello gracias.

A mi compañero de cubículo, por su constante apoyo Guadalupe Martínez Avalos, y también a mi amigo de la infancia el Dr. Luís Rocha Domínguez.

Gracias también a Angélica María Sifuentes, secretaria de la preparatoria 4, por todas las ocasiones que imprimió los capítulos de esta tesis.

A las secretarias de postgrado, Lupita, Diana e Isabel. Sandra Luz Cano Moreno siempre estuvo pendiente de todos mis trámites.

Un sincero agradecimiento y reconocimiento al trabajo de mi auxiliar Juan Ángel López por su amplia disposición para ayudarme en mi trabajo trasladándose a donde fuera aún a costa de sacrificar tiempo con su familia. Mi agradecimiento al catedrático de fauna el Dr. Alfonso Martínez Muñoz. A los integrantes del comité de tesis.

Dr. Eduardo Estrada Castellón, de quién siempre recibí palabras de aliento además de su orientación en el trabajo de tesis y auxilio en la identificación de plantas.

Dr. Oscar Aguirre Calderón por haber colaborado conmigo a lo largo de mi estancia en la facultad, ya sea como mi maestro en disciplinas de su especialidad y como asesor, con su actitud amable para escuchar mis inquietudes y para orientarme correctamente con sus acertadas observaciones en mi trabajo de investigación.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, realmente ha sido un privilegio contar con un asesor de quién siempre recibí el apoyo para seguir en el camino correcto.

Al Doctor Joel Flores Rivas mi asesor externo, gracias por todas las contribuciones para que este trabajo fuera posible, por su paciencia, por su tiempo, por su orientación como asesor de este trabajo de investigación, siempre estuvo pendiente y siempre encontré respuestas a mis preguntas, además de su constante apoyo que como persona siempre me brindó, realmente fue un privilegio ser su alumno.

Al doctor Enrique Jurado Ybarra mi director de tesis, deseo expresar mi agradecimiento porque este trabajo sin su participación no hubiera sido posible, pero sobre todo por la formación científica que de él he recibido, espero haberme impregnado de su disciplina y tenacidad que como investigador el posee. Mi agradecimiento también por su comprensión, apoyo, orientación, paciencia para dar respuesta a todas mis preguntas, por su orientación en la redacción de esta investigación, por escucharme, por dedicarme su tiempo mas allá de su deber, por su amabilidad para conmigo, por todas sus virtudes como asesor y persona que mi capacidad de redacción no logra dimensionar.

## DEDICATORIAS

*Deseo dedicar este trabajo a mi esposa la Sra. Hilda Romelia Porras Cárdenas ella estuvo conmigo y me apoyó en todo el proceso del desarrollo de esta tesis. Mi esposa estuvo conmigo en todas mis salidas de campo, en todos los sitios de esta investigación, preparamos parcelas y macetas, detectamos germinación, medimos y contamos hojas de plantas juntos, pasamos gran cantidad de contingencias ambientales, este trabajo no hubiera sido posible si me hubiera faltado su apoyo, agradezco principalmente sus palabras de aliento para que no declinara mi ánimo en todos los momentos adversos que gracias a su apoyo no declinó mi ánimo.*

*A mi suegra la Sra. Herminia Cárdenas García, ella estuvo con nosotros hasta el 5 de mayo de 2006, no alcanzó a ver concluido este trabajo de investigación, mi agradecimiento eterno por los momentos que compartimos juntos, jamás la escuché criticar a ninguna persona, mi suegra se dedico a dar amor a todos los que le conocimos, ella nos acompañó a los sitios de investigación, estuvo con nosotros en Hilario Tanguma Tamaulipas, en Iturbide y en Galeana Nuevo León, una verdadera naturalista fue mi suegra..*

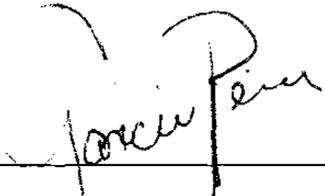
*A mis hijos Michel, Hilda y Jaimito por su comprensión por mis constantes ausencias físicas y sobre todo mis ausencias mentales.*

*A Dios como yo lo concibo.*

## Declaratoria

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de doctor en Ciencia Forestales, con especialidad en Manejo de Recursos Naturales.

Donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.



---

Jaime Francisco García Pérez

## Índice

	<b>Página</b>
<b>Prólogo</b> .....	i
<b>Resumen</b> .....	iii
<b>Summary</b> .....	vi
<b>Capítulo I: Introducción general sobre el cambio climático</b> .....	<b>1</b>
Meta, Hipótesis y Preguntas .....	6
<b>Capítulo II. Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación</b> .....	<b>10</b>
Resumen .....	11
Abstract .....	12
Introducción .....	12
Objetivos .....	15
Materiales y métodos .....	15
Resultados y discusión .....	18
Conclusiones .....	33
<b>Capítulo III: Influencia de altitud en germinación de semillas y supervivencia de plántulas de tres especies nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en el noreste de México</b> .....	<b>34</b>
Resumen .....	35
Introducción .....	36
Objetivos .....	37
Métodos .....	37
Resultados y discusión .....	39
Conclusiones .....	59

<b>Capítulo IV: Emergencia y supervivencia de plántulas bajo tres especies nativas del matorral tamaulipeco en el noreste de México</b> .....	60
Resumen .....	61
Introducción .....	62
Objetivos .....	63
Métodos .....	64
Resultados y discusión .....	66
Conclusiones .....	85
<b>Capítulo V: Discusión general y conclusiones</b> .....	87
Discusión general .....	87
Conclusiones .....	96
Referencias .....	101

## Lista de Tablas

	Página
Tabla I .....	16
Tabla II .....	19
Tabla III .....	21
Tabla IV .....	25
Tabla V .....	29
Tabla VI .....	40
Tabla VII .....	40
Tabla VIII .....	46
Tabla IX .....	47
Tabla X .....	50
Tabla XI .....	53
Tabla XII .....	65
Tabla XIII .....	65
Tabla XIV .....	67
Tabla XV .....	69
Tabla XVI .....	71
Tabla XVII .....	73
Tabla XVIII .....	79

## Lista de Figuras

	<b>Página</b>
Figura 1 .....	20
Figura 2 .....	23
Figura 3 .....	23
Figura 4 .....	24
Figura 5 .....	24
Figura 6 .....	26
Figura 7 .....	26
Figura 8 .....	27
Figura 9 .....	27
Figura 10 .....	30
Figura 11 .....	30
Figura 12 .....	31
Figura 13 .....	31
Figura 14 .....	41
Figura 15 .....	42
Figura 16 .....	42
Figura 17 .....	44
Figura 18 .....	44
Figura 19 .....	48
Figura 20 .....	48
Figura 21 .....	49
Figura 22 .....	49
Figura 23 .....	51
Figura 24 .....	51
Figura 25 .....	52
Figura 26 .....	52
Figura 27 .....	54
Figura 28 .....	54
Figura 29 .....	57
Figura 30 .....	57
Figura 31 .....	74

Figura 32 .....	75
Figura 33 .....	76
Figura 34 .....	77
Figura 35 .....	80
Figura 36 .....	81
Figura 37 .....	82

## Prólogo

El presente trabajo consta de cinco capítulos y estudia la influencia de la altitud en la germinación, establecimiento y sobrevivencia de plántulas nativas de matorral en el noreste de México. El primer capítulo contiene una introducción general acerca del cambio climático y de sus impactos en los seres vivos principalmente sobre las comunidades de plantas, en este capítulo se revisan estudios elaborados sobre la influencia del cambio climático en ecosistemas, se revisan también otros estudios realizados en condiciones controladas. Además se presentan las justificaciones, metas y objetivos de la presente investigación. Se pretende someter este capítulo introductorio para su publicación a la revista CIENCIA UANL.

En el segundo capítulo se dan a conocer los resultados de los efectos de las diferencias de clima en un gradiente altitudinal en cinco elevaciones sobre la germinación y el crecimiento de tres especies de matorral y una especie naturalizada. Para este estudio se contó con suministro de humedad para estimular la germinación y el crecimiento de plántulas. En este estudio, se discute el efecto de las diferencias de temperatura en los cinco ambientes y su efecto en la germinación y el crecimiento de las plántulas, los resultados se compararon con otras investigaciones en otros ecosistemas. Este capítulo está aprobado para su publicación en la revista Madera y Bosques.

En el tercer capítulo se dan a conocer los resultados de establecimiento de las mismas especies en el mismo gradiente altitudinal, el estudio es similar al anterior, pero en este las semillas no fueron regadas para su germinación ni crecimiento. En este capítulo se abordan las posibilidades de plantaciones de especies nativas de matorral en altitudes superiores a su área de distribución actual. Se pretende someter este capítulo para su publicación a la revista Forest Ecology and Management.

En el cuarto capítulo, se presenta el efecto de la cobertura de plantas nodrizas sobre la germinación y el establecimiento de plantas nativas de matorral, divididas en tres grupos (leñosas, gramíneas y otras herbáceas). En este capítulo se evalúa el efecto positivo de plantas nodrizas sobre el establecimiento de especies. Este capítulo será sometido para su publicación a la revista *Oecologia*.

En el quinto capítulo se discuten los resultados de los capítulos II, III y IV. Además, se presentan las conclusiones emanadas de esta investigación.

## Resumen

En la presente investigación se exploró el probable desplazamiento en altitud de especies vegetales de acuerdo con las predicciones del calentamiento global. En un primer experimento se midió la germinación, el crecimiento de plántulas de cuatro especies en un gradiente de elevación de 90 a 1960 msnm. Las especies utilizadas incluyeron tres especies nativas (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* y *Caesalpinia mexicana*) y una introducida (*Melia azederach*), naturalizada en la región. Se pusieron a germinar en contenedores semillas de las cuatro especies en cuatro ocasiones (Primavera 2003 y 2004, Otoño 2003 y 2004) en cinco elevaciones (90, 350, 520, 1,600 y 1,960 msnm). Las tres elevaciones más bajas incluyen el rango de distribución actual de las especies, y es en éstas en donde en general se presentó la mayor germinación para todas las especies. Tanto el crecimiento de las plántulas en longitud, como el número de hojas producidas, fueron en general superiores en las elevaciones con mayor porcentaje de germinación.

En un segundo estudio, se examinaron las mismas variables que en el primer experimento de las mismas especies, en el mismo gradiente altitudinal, pero con las semillas sembradas directamente en el suelo local y sin riego. Se sembraron semillas en el suelo en parcelas de 1 m<sup>2</sup>. Los resultados de emergencia de plántulas de las cuatro especies estudiadas muestran que la emergencia de plántulas, se presentó principalmente en verano y otoño temprano; aunque unas pocas semillas germinaron en primavera. Los resultados sugieren que la germinación estuvo inhibida por bajas temperaturas. La alta temperatura y la falta de humedad en el terreno en el verano, y la combinación de bajas temperaturas y ausencia de humedad en invierno, causaron la mortalidad de plántulas. Tanto el crecimiento de las plántulas en longitud, como el número de hojas producidas, fueron superiores en las altitudes que tuvieron mayor porcentaje de supervivencia de plantas.

Con el propósito de evaluar el papel de las plantas nodriza en el establecimiento de plántulas, se examinó la emergencia y supervivencia de plántulas de plantas leñosas, gramíneas y otras herbáceas, bajo la copa de tres especies nativas del noreste de México, en cuatro elevaciones. Las especies nativas evaluadas como plantas nodriza fueron: *Caesalpinia mexicana* Gray (árbol del potro); *Cordia boissieri* A. DC (anacahuita) y *Ebenopsis ebano* (Berl.) Barneby I J.W. Grimes (ebano). Las elevaciones en los que se realizaron los experimentos estuvieron a 90, 350, 540 y 670 msnm. Las elevaciones de 350 y 540 m se encuentran dentro del área de distribución actual de las especies nodriza y una elevación está en el límite inferior (90 m) y otra en el superior (670 m). Un total de 42 especies fueron identificadas bajo la cobertura de las tres especies en los cuatro ambientes. Bajo *Caesalpinia mexicana* germinaron 33 especies (6 gramíneas, 20 herbáceas y 7 leñosas), bajo *Cordia boissieri* germinaron un total de 36 especies (6 gramíneas, 22 herbáceas y 8 leñosas), bajo *Ebenopsis ebano* germinaron 38 especies (5 gramíneas, 23 herbáceas y 10 leñosas).

Las cuatro especies estudiadas no mostraron mayores porcentajes, tasas de germinación, supervivencia, altura y producción de hojas por encima de sus áreas vigentes de distribución. No obstante, los resultados del primer experimento sugieren que las especies estudiadas tienen la capacidad para germinar y crecer por encima de su área de distribución actual de acuerdo a los pronósticos de cambio climático. Lo anterior permitiría realizar plantaciones por encima de las áreas naturales de distribución de las especies. Sin embargo los resultados de germinación, supervivencia, crecimiento de plantas y producción de hojas del segundo experimento sugieren que para el establecimiento de plantaciones forestales, las plantas deberán contar con condiciones controladas de temperatura y humedad, al menos en la fase temprana de su vida.

## Summary

The potential upslope movement of plant species according to climate change predictions was explored. On one experiment seed germination and seedling growth of four species was carried out on an elevation gradient ranging from 90 to 1960 m above sea level. Species used were *Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* and *Caesalpinia mexicana* (native to northeastern Mexico) and *Melia azederach* a naturalized exotic tree. Seeds of four species were set to germinate in containers on four occasions and five elevations (spring, 2003 and 2004, autumn 2003 and 2004 at 90, 350, 520, 1600 and 1960 m above sea level). The three lowest elevations used include the current distribution range of the species, and in these is where higher germination values and seedling growth were obtained across species.

On a second study, the same variables from the first experiment were measured in the same elevation gradient, but without irrigation and with seeds sown directly in the local soil. Seeds were sown on 1 m<sup>2</sup>. Seedling emergency across species occurred mainly in summer and early autumn; although a small percentage of seeds germinated during spring. Results suggest that germination was inhibited by low temperatures. High temperature and drought in summer, as well as lack of moisture in winter caused seedling mortality. Seedling length and number of leaves were greater at elevations with higher seedling survival.

To evaluate the potential role of nurse plants in seedling establishment, seedling emergence and survival were evaluated under the canopy of three native woody plants (*Caesalpinia mexicana* Gray; *Cordia boissieri* A. DC and *Ebenopsis ebano* (Berl.) Barneby | J.W. Grimes, at four elevations (90, 350, 540 and 670 m above sea level). There were 42 species germinating under the canopy of studied plants

across altitudes. Under *Caesalpinia mexicana* 33 species germinated (6 grasses, 20 forbs and 7 woody plants); under the canopy of *Cordia boissieri* there were 36 species germinating (6 grasses, 22 forbs and 8 woody plants) and; under *Ebenopsis ebano* there were 38 species germinating (5 grasses, 23 forbs and 10 woody species).

None of the four species studied had higher germination percentages, seedling growth or survival above their current distribution range. However, results from the first experiment suggest that these species have the ability to germinate and grow above their current distribution range in agreement with climate change theory. This might allow for plantations to take place above current distribution range of species. Results from the second experiment showed the need for irrigation at least on the early stages of plant growth.

## Capítulo I

### Introducción general sobre el cambio climático

Una consecuencia del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> y otros gases causantes del efecto invernadero, como metano, clorofluorocarbonos y óxidos nitrosos, es el aumento en la temperatura de la superficie de la tierra (Arrhenius 1896). Las actividades humanas son las responsables del incremento en las concentraciones de los gases de invernadero (Houghton *et al.* 1990; Houghton *et al.* 1992; Lenton 2006), estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre de acuerdo al Panel Internacional sobre Cambio Climático (Anónimo 1995), y una duplicación de los gases de invernadero según Beniston (1997), incrementaría la temperatura terrestre entre 1.4 y 5.8° C. De acuerdo a resultados surgidos de modelos de simulación climáticos, se pronostican un incremento en el promedio de la temperatura global del aire de 1 a 4.5 °C para el año 2100 (Kattenberg *et al.* 1996). Además, se predice que los incrementos en las temperaturas del aire produzcan patrones alterados de lluvias (Vaughan & Drake 1996; Arntzen *et al.* 1996; Kart & Night 1998), nevadas (Kocin *et al.* 1998; Johnson & Stefan 2006), calentamiento de océanos (Wilkinson *et al.* 1999; Levitus *et al.* 2000) y lagos (Coats *et al.* 2006), fusión de glaciares (Beniston 1997; Haeberly & Beniston 1998), inundaciones y sequía (Lehner *et al.* 2006), así como sequía y fuego (Anónimo 2000; Coe & Foley 2001).

Recientemente, se ha reportado migración de poblaciones humanas en probable respuesta adaptativa a efectos del cambio climático (McLeman & Smith 2006), además de la expansión del área de distribución de enfermedades infecciosas tropicales (Epstein 1997; Epstein *et al.* 1998; Rodo *et al.* 2002). En animales, el cambio climático ha sido asociado a la eclosión temprana de huevos de anfibios y aves (Crick *et al.* 1997; Beebee

1995), y ha causado además el desplazamiento a más altas latitudes y elevaciones de especies de mariposas (Parmesan 1996). En el hemisferio norte, especies de aves han recorrido al norte sus áreas de distribución geográfica (Viet *et al.* 1997; Pounds *et al.* 1999). En especies marinas del hemisferio norte, Barry *et al.* (1995) reportaron migración hacia el norte de invertebrados (moluscos, caracoles y estrellas de mar), como consecuencia del calentamiento del aire y de océanos. Por otra parte, los resultados de los estudios de Wilkinson *et al.* (1999) y Floros *et al.* (2004) mencionan que los incrementos en la temperatura del agua de los océanos a causa de altas temperaturas del aire causan el blanqueamiento de coral.

Una gran cantidad de estudios muestran que las consecuencias del cambio climático sobre las comunidades de plantas se presentarán principalmente en altas latitudes (Kattenberg *et al.* 1996; Vitousek *et al.* 1997; Serreze *et al.* 2000). Sin embargo, los efectos del calentamiento global han sido determinados además en latitudes bajas y medias. En Nueva Zelanda a consecuencia del disturbio y el calentamiento global la especie vegetal *Nothofagus menziesii* modificó su dinámica poblacional (Cullen *et al.* 2001), en este mismo país se encontró que debido a la pérdida de cobertura de nieve por efectos del calentamiento global, seis especies de plantas alpinas mostraron daños por exposición al frío y al sol (Bannister *et al.* 2005). En la Antártida de acuerdo con Frenot *et al.* (1993) la especie *Azorella selago* Hook fue utilizada como indicadora para estimar las fluctuaciones glaciales las pasadas dos centurias. De acuerdo al estudio de Graetz (1991), los principales cambios en el hemisferio sur se presentan en la estructura y composición de especies. En los trópicos, las interacciones entre plantas y animales son cruciales en la determinación de la estructura de las comunidades de plantas, y las altas temperaturas pronosticadas por el calentamiento global podrían alterar estas interacciones y, como consecuencia, la abundancia relativa de especies podría cambiar presentando declinación en la biodiversidad de especies (Coley 1998; Körner 1998).

En el presente siglo los gases de invernadero causarán el más dramático cambio que la tierra ha experimentado desde el fin de la última glaciación hace 18,000 años (Postel 1996). Se pronostica que los efectos del cambio climático afectarán principalmente altas latitudes con una multitud de interacciones que podrían afectar otros biomas (Vitousek *et al.* 1997; Kattenberg *et al.* 1996), y de acuerdo a González *et al.* (2003), quienes trabajamos con recursos naturales enfrentamos el reto de realizar estudios para detectar los efectos que el cambio climático está teniendo sobre la biosfera y para prevenir sus efectos en el futuro. Houghton *et al.* (2001) menciona que del conocimiento actual sobre las consecuencias del calentamiento global sobre los ecosistemas se deberán diseñar estrategias para contrarrestar sus efectos.

En respuesta al incremento en los promedios de las temperaturas, las plantas alpinas en Austria y Suiza han ido migrando hacia mayores altitudes en un periodo de 70 a 90 años (Grabherr *et al.* 1994, 1995). En Italia Stanisci *et al.* (2005) mencionaron un proceso de invasión de plantas subalpinas hacia mayores elevaciones. Además, en Norteamérica, árboles subalpinos se han desplazado a mayores elevaciones (Peterson *et al.* 1994). Los estudios realizados por Fowbert & Smith (1994), Walkovsky (1998), Abu-Asab *et al.* (2001), Hepper (2003) y Osborne *et al.* (2000), encontraron evidencias del efecto de las altas temperaturas en la fenología de especies, reportando especies de plantas que florecieron significativamente temprano. De acuerdo con Morison & Lawlor (1999) los cambios de temperatura por efectos del calentamiento global podrían presentar diferentes efectos sobre la estructura, composición y productividad de ecosistemas vegetales. El estudio de Curtis *et al.* (1989) en tierras de pastoreo encontró cambios en la composición de las comunidades de plantas, debido a efectos del calentamiento global.

El calentamiento global puede alterar la naturaleza y el tiempo de interacción de especies (Jifon *et al.* 1995). Por ejemplo, el tiempo de

floración de las plantas y la emergencia de polinizadores difieren en su respuesta a este fenómeno, lo cual presenta potenciales e impredecibles efectos sobre ecosistemas y comunidades vegetales (Harrington *et al.* 1999). De acuerdo al estudio de Díaz *et al.* (1998), los efectos del calentamiento global pueden alterar las interacciones planta-herbívoro en las comunidades vegetales, así como las interacciones entre plantas a altas elevaciones.

El cambio climático acarrearía efectos en todos los niveles de organización biológica, ecosistemas, comunidades y poblaciones de plantas (Bazzas 1990), así como efectos en la distribución latitudinal y altitudinal de especies debido a que la respuesta detectada ha sido la tendencia de algunas especies a desplazarse hacia mayores altitudes o hacia los polos (Boer *et al.* 1990; Holten & Carey 1992; Grace 1997; Hughes 2000; Theurillat & Guisan 2001). Sin embargo, la interacción competitiva puede dirigir a respuestas negativas de algunas especies a concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> atmosférico (Hunt *et al.* 1993), y en muchos sitios puede ocurrir extinción de especies antes que sus poblaciones puedan adaptarse a incrementos en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico (Fischer *et al.* 1997), debido principalmente a que la respuesta de las plantas al incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico no es uniforme entre especies (Bazzas *et al.* 1995), sino que dependen de su capacidad para competir por recursos (Tillman 1993; Recckie & Bazzas 1989; Lindroth *et al.* 1993).

Existen algunos estudios realizados sobre los posibles efectos del incremento de CO<sub>2</sub> sobre la germinación, el establecimiento y crecimiento de plantas bajo condiciones controladas. Körner (1993) y Poorter (1993) coinciden en que la respuesta fisiológica de plantas incluye aumento en la tasa de fotosíntesis y en el uso eficiente de agua. Por otra parte, se ha reportado que las plantas que crecen aisladas a elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico responden con aumento en crecimiento y reproducción

(Bazzas 1990; Tischler *et al.* 2000). Sin embargo las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, pueden alterar la composición de tejidos de las plantas y sus secreciones y causar modificaciones en las características fisiológicas de las plantas. Carter & Peterson (1983) mencionan que el probable efecto de concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> sobre la composición de especies vegetales, ha sido principalmente inferido sobre modelos de pequeños ecosistemas y frecuentemente con baja cantidad de especies. En el estudio de Morse & Bazzas (1994), sobre la respuesta de poblaciones de dos especies anuales *Abutilon theophrasti* (C<sub>3</sub>) y *Amaranthus retroflexus* (C<sub>4</sub>) al enriquecimiento de CO<sub>2</sub> a diferentes temperaturas; encontraron que las altas temperaturas, incrementaron la germinación, pero además la competencia y la mortalidad de plántulas. Zangerl & Bazzas (1984), compararon el efecto de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> sobre especies de plantas creciendo en competencia, concluyeron que la respuesta depende de la especie, ya que algunas especies pueden incrementar o reducir la proporción de biomasa asignada a la semilla. En estudios realizados en condiciones naturales, examinando los posibles efectos de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> en comunidades con gran cantidad de especies, se ha reportado que a largo plazo puede existir una relación entre el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y la reducción de biodiversidad (Naeem *et al.* 1994; Leadley & Körner 1996).

Debido a los efectos del calentamiento global, se pronostica desplazamientos del área de distribución de especies de plantas y zonas bioclimáticas (Grace 1997; Hughes 2000). Por lo tanto se considera muy importante el estudio de establecimiento de plántulas en su etapa temprana, como instrumento en la evaluación de los efectos del cambio climático en los ecosistemas. En el noreste de México de acuerdo con Alvarado *et al.* (2002) los pocos estudios sobre el efecto del cambio climático comenzaron las pasadas dos décadas y solo cubren periodos pequeños de observación. Debido a lo anterior, específicamente en esta tesis se evaluó el establecimiento de plántulas del matorral espinoso

tamaulipeco del noreste de México en sus áreas de distribución natural y por encima de estas; además se evaluó la colonización espontánea de tres grupos de plantas bajo la copa de tres especies ampliamente distribuidas en el matorral tamaulipeco, con el fin de generar información aprovechable para el manejo de plantaciones forestales en su etapa temprana, en el área de distribución natural de las especies estudiadas y por encima de sus elevaciones originales. Además, el conocimiento generado puede ser aprovechado para programas de reforestación y restauración de zonas degradadas del matorral tamaulipeco. Estudios previos realizados en este ecosistema han determinado la influencia de la estación, de la cobertura de planta y de la sombra para el establecimiento de plantas nativas (Flores & Jurado 1998; Jurado *et al.* 1998; Jurado *et al.* 2000; García & Jurado 2003; Jurado *et al.* 2006). Sin embargo; el conocimiento de estudios que exploren la respuesta de estas especies al establecimiento de plantas en elevaciones superiores a sus áreas de distribución actuales y el papel que juegan en el establecimiento de otras especies, es aún limitado.

### **Meta, Hipótesis y Preguntas**

Con la meta de contribuir al entendimiento de los probables efectos del cambio climático, en la presente investigación se examinan los probables efectos del desplazamiento altitudinal del clima a lo largo de un gradiente altitudinal, de acuerdo con las predicciones del calentamiento global, sobre la etapa temprana de establecimiento de plántulas nativas de matorral mediante tres estudios.

En el primero y segundo experimento se examinan los probables efectos de incrementos de temperatura a lo largo de un gradiente altitudinal, sobre la germinación, supervivencia y crecimiento de plantas de tres especies nativas de matorral (*Cordia boissieri* "anacahuita", *Ebenopsis ebano* "ébano" y *Caesalpinia mexicana* "árbol del potro") y una especie exótica (*Melia azederach* "canelón"), en tres elevaciones

por debajo del límite superior de distribución actual de las especies nativas y dos elevaciones por encima de su área de distribución normal. En ambos experimentos se excluyeron ganado y fauna mayor para disminuir pérdida de datos.

En el primer estudio, las semillas de las cuatro especies fueron sembradas en contenedores de polietileno previamente preparados con sustrato proveniente de una zona de matorral tamaulipeco. Los contenedores fueron colocados bajo cobertura de vegetación natural en cada uno de los sitios en las cinco elevaciones y contaron con suministro de humedad a lo largo del estudio. Las variables estudiadas fueron emergencia de plántulas, crecimiento en altura y producción de hojas; se estudiaron un total de cuatro temporadas, y cada temporada tuvo un seguimiento de 7 meses. La hipótesis planteada en este estudio fue:

### **Hipótesis**

Las especies estudiadas tendrán mayor porcentaje y tasa de germinación, mayor altura y mayor producción de hojas por encima de sus áreas actuales de distribución.

Para poner a prueba esta hipótesis se plantearon las siguientes preguntas:

1. ¿La germinación de semillas de las cuatro especies ocurre de manera similar en sus áreas de distribución actual y en altitudes superiores a estas?
2. ¿El crecimiento y la producción de hojas por especie, se presenta de manera similar en todas las elevaciones?
3. ¿Cuáles son las elevaciones con potencial para el establecimiento de plantaciones de estas especies?

En el segundo estudio, las semillas de cada una de las cuatro especies fueron sembradas directamente en el suelo en parcelas ubicadas en cada una de las cinco altitudes. Se evaluaron emergencia y

supervivencia de plantas, crecimiento en altura y producción de hojas por cuatro temporadas bajo condiciones naturales, cada temporada tuvo un seguimiento de un año. La hipótesis planteada en este estudio fue la siguiente.

### **Hipótesis**

Las especies evaluadas tendrán mayor porcentaje de emergencia, supervivencia, altura y producción de hojas por encima de sus áreas vigentes de distribución.

Para responder a esta hipótesis se plantearon las siguientes preguntas:

1. ¿Dónde se presenta mayor emergencia de plántulas de las cuatro especies? ¿En sus áreas de distribución actual? ¿En elevaciones superiores a sus áreas actuales de distribución? ¿Dónde se presentan los porcentajes más bajos de emergencia de plántulas?
2. ¿Cuál es la temporada de emergencia de plántulas de las cuatro especies en las cinco elevaciones?
3. ¿Dónde se presentan mayores porcentajes de supervivencia de plántulas de las cuatro especies? ¿En sus áreas de distribución actual? ¿En elevaciones superiores a sus áreas actuales de distribución?
4. ¿Dónde se presenta mayor crecimiento y producción de hojas por especie? ¿En sus áreas de distribución actual? ¿En elevaciones superiores a sus áreas actuales de distribución?
5. ¿Es conveniente realizar plantaciones de las especies estudiadas con semillas sembradas? ¿En sus áreas de distribución originales? ¿O por encima de sus elevaciones originales?

En el tercer estudio se examina el papel como planta nodriza de tres especies nativas de matorral (*Cordia boissieri* "anacahuita", *Ebenopsis ebano* "ébano" y *Caesalpinia mexicana* "árbol del potro"),

sobre la germinación y supervivencia de tres grupos de plantas (leñosas, gramíneas y otras herbáceas) en cuatro elevaciones. Las cuatro elevaciones se encuentran dentro del área de distribución actual de las especies, la más baja elevación en el límite inferior y la mayor en el límite superior. A este estudio se le dio un seguimiento de dos años. Debido a que *Ebenopsis ebano* presenta mayor crecimiento en altura y probablemente mayor fertilización del suelo, la hipótesis planteada en este estudio se describe a continuación.

### **Hipótesis**

Bajo *Ebenopsis ebano* la emergencia y supervivencia de plántulas, leñosas, gramíneas y otras herbáceas, en las cuatro elevaciones estudiadas será mayor que bajo *Caesalpinia mexicana* y *Cordia boissieri*.

Esta hipótesis permitirá responder a las siguientes preguntas:

1. ¿La emergencia de semillas de los tres grupos de plantas (leñosas, gramíneas y otras herbáceas) ocurre de manera similar bajo la cobertura de las tres especies en las cuatro elevaciones?
2. ¿Cuáles son las temporadas de emergencia de plántulas de los tres grupos de plantas en las cuatro elevaciones?
3. ¿La supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas ocurre de manera similar bajo la cobertura de las tres especies, en las cuatro elevaciones?
4. ¿Cuáles son las temporadas críticas de supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas?

## **Capítulo II**

### **Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación**

## Resumen

Con el fin de determinar si el calentamiento global podría influir en la ampliación altitudinal de hábitat en el noreste de México, se midió la germinación y crecimiento de cuatro especies de plantas en un gradiente de elevación de 90 a 1960 msnm. Las especies utilizadas incluyeron tres especies nativas (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* y *Caesalpinia mexicana*) y una introducida, naturalizada en la región (*Melia azederach*). Se pusieron a germinar en contenedores semillas de las cuatro especies durante cuatro veces (Primavera 2003, 2004, Otoño 2003 y 2004) en cinco elevaciones (90, 350, 520, 1,600 y 1,960 msnm). Las tres elevaciones más bajas incluyen el rango de distribución actual de las especies, y es en estas en donde en general se presentó la mayor germinación para todas las especies. Para *Cordia boissieri* la mayor germinación fue en las elevaciones de 350, 520 y 1600 msnm. Para *Ebenopsis ebano* y *Caesalpinia mexicana* la mayor germinación se obtuvo en 90, 350, 520 y 1600 msnm, y para *Melia azederach* la mayor germinación ocurrió a 90, 350, 520 msnm. Además, tanto el crecimiento de las plántulas en longitud, como el número de hojas producidas, fueron en general superiores en las elevaciones con mayor porcentaje de germinación. Los resultados sugieren que las especies estudiadas tienen la capacidad para germinar y crecer por encima de su área de distribución actual, como lo predicen los pronósticos de cambio climático; lo cual permitiría realizar plantaciones por encima de la altitud actual.

Palabras clave: Elevación; Especie Exótica; Calentamiento Global; Germinación; Plantas Nativas

## Abstract

Germination and growth of four plant species were evaluated from 90 to 1960 m above sea level, with the aim to determine whether global warming could influence growth at higher elevations in northeastern Mexico. Three native species (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* and *Caesalpinia mexicana*) and a naturalized species (*Melia azederach*) were tested. Seeds were set to germinate in containers four times (Spring 2003, 2004, Autumn 2003 and 2004) at five elevations (90, 350, 520, 1600 and 1960 m above sea level). The lowest three elevations encompass the current distribution range of the species, and it was in these elevations that in general germination percentage was higher across species. The highest germination for *Cordia boissieri* occurred at 350, 520 and 1600 m above sea level. Highest germination for *Ebenopsis ebano* and *Caesalpinia mexicana* occurred at 90, 350, 520 and 1600 m above sea level. The highest germination for *Melia azederach* occurred at 90, 350 and 520 m above sea level. In addition, seedling growth and number of leaves produced by seedlings were, in general higher at elevations with highest germination percentages. Results presented here suggest that plant species studied have the capacity to germinate and grow at higher elevations from their current distribution, as predicted by climate change, this would allow for plantations above the current species distribution range.

Key word: Elevations; Exotic species; Germination; Global Warning; Native Species

## Introducción

Los pronósticos de cambio climático sugieren un movimiento de las isotermas del ecuador hacia los polos y hacia lugares de mayor elevación

(Hughes, 2000). Esto hace suponer que la distribución actual de las especies podría cambiar altitudinal y latitudinalmente (Grabherr *et al.* 1994; Parmesan 1996; Thomas *et al.* 2001; Walther *et al.* 2002; Higgins 2003; Parmesan & Yohe, 2003; Tape *et al.* 2006). En el mejor de los casos, algunas especies podrían tener la variación genética suficiente como para adaptarse a las modificaciones del ecosistema y así permanecer en sus áreas de distribución actual (Fenner & Thompson 2005). Sin embargo, existe debate sobre si las especies vegetales podrían dispersarse a la velocidad necesaria para mantener sus poblaciones viables en nuevas altitudes y latitudes (Clark, 1998). Por lo anterior y para fines tanto de conservación como de efectuar plantaciones forestales es necesario determinar la capacidad de las especies para establecerse por arriba de su distribución actual.

En el noreste de México, una amplia extensión del área se encuentra ocupada por matorral (aproximadamente 200,000 km<sup>2</sup>) distribuido en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas (Udvary, 1975). El matorral es una vegetación densa de árboles y arbustos con promedio de altura de cuatro metros. Cerca de la mitad de las especies son espinosas (Reid *et al.* 1990; Jurado *et al.* 1998; 2000). La mayoría de las especies germinan en otoño y algunas en primavera, coincidiendo con los meses de mayor precipitación pluvial (Flores & Jurado 1998; Jurado *et al.* 1998; Jurado *et al.* 2000; García & Jurado 2003; Jurado *et al.* 2006). Los cambios en estos patrones de precipitación pluvial podrían ocasionar modificaciones en la distribución y abundancia de las especies vegetales (Hughes, 2000).

En este estudio se examinan los probables efectos de incrementos de temperatura, de acuerdo con los pronósticos del calentamiento global, a lo largo de un gradiente altitudinal, sobre la germinación y crecimiento de plantas de tres especies nativas de matorral (*Cordia boissieri* "anacahuita",

*Ebenopsis ebano* "ébano" y *Caesalpinia mexicana* "árbol del potro") y una especie exótica (*Melia azederach* "canelón"), en tres elevaciones por debajo del límite superior de distribución actual de las especies nativas y dos elevaciones por encima de su área de distribución normal.

Las especies nativas seleccionadas en este estudio son abundantes en la región, y su madera ha sido utilizada como postes para cercas y para construcciones rurales (Téllez & Foroughbakhch, 1990; Reid *et al.* 1990). *Caesalpinia mexicana* se distribuye en el sur de Texas en E.U.A y en el estado de Nuevo León en el norte de México. Registros en el herbario clave (CFNL) la ubican desde 150 m hasta 990 m de altura (Estrada & Marroquín, 1991). *Cordia boissieri* también se distribuye en el sur de Texas, y en México se encuentra en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo y San Luis Potosí (Vines, 1984); se tienen ejemplares registrados desde 0 hasta 1,580 m de altura en el herbario (CFNL). *Ebenopsis ebano* ha sido reportado en Campeche, Yucatán, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí y Sinaloa (Niembro, 1986); los registros en el herbario CFNL ubican a esta especie en altitudes entre 40 y 550 msnm.

Estas especies han sido sugeridas por su potencial para programas de rehabilitación de ecosistemas (matorrales) del noreste de México (Alanís, 1981; Heiseke & Foroughbakhch, 1985; Estrada & Marroquín, 1991). La especie exótica es utilizada en la región para fabricación de muebles y se encuentra como especie naturalizada en la zona de estudio a la misma elevación que las especies nativas (Zamarripa, 2002). En el sudeste de Asia, de donde es originaria, se distribuye entre 0 y 2,770 msnm (Polunin & Stainton, 1984).

## Objetivos

Los objetivos de este estudio fueron: (i) determinar si la germinación de semillas de las cuatro especies ocurre de manera similar en sus rangos de distribución actual y en altitudes superiores a estos; (ii) estimar el crecimiento y la producción de hojas por especie en un gradiente de altitud; y (iii) determinar las elevaciones con potencial para el establecimiento de plantaciones de estas especies. Debido a que los pronósticos de cambio climático prevén un desplazamiento altitudinal del clima, en este estudio se plantea que las especies estudiadas tendrán mayor porcentaje de germinación, altura y producción de hojas por encima de sus áreas actuales de distribución.

## Materiales y métodos

### ***Sítios de estudio y especies***

El estudio fue realizado en cinco sitios del noreste de México (Tabla I); región muy heterogénea en cuanto a su diversidad florística, en la cual se encuentran desde matorrales localizados de 100 a 850 msnm hasta bosques de encinos y coníferas distribuidos entre 900 y 3,550 msnm (Estrada & Marroquín, 1991).

Para evaluar la hipótesis planteada y la probable tendencia de las especies estudiadas a germinar y establecerse en mayores altitudes, el estudio fue realizado a lo largo de un gradiente altitudinal. Se pusieron a germinar semillas en cinco sitios con distinta altitud, tomándose la germinación como la emergencia de plántulas del suelo. Las especies utilizadas fueron *Caesalpinia mexicana* (Caesalpinaceae), *Cordia boissieri* (Boraginaceae) y *Ebenopsis ebano* (Mimosaceae), las tres nativas de

matorral espinoso tamaulipeco, así como *Melia azederach* (Meliaceae), especie introducida que crece naturalmente en el rango altitudinal probado (0-2,770 msnm en el sureste asiático; Polunin & Stainton, 1984). Tres de los sitios que se seleccionaron se encuentran dentro de la distribución normal de las especies nativas y los dos restantes presentan una altitud mayor.

El ensayo se estableció en las épocas del año que coinciden con la germinación y el establecimiento de especies nativas en la región (Flores & Jurado 1998; Jurado *et al.* 1998, 2006; García & Jurado, 2003). Con el fin de incluir la variación ambiental interanual, el ensayo fue realizado durante dos años consecutivos.

**Tabla I.** Características de los sitios de estudio en el noreste de México.

Localidades Altitud	Coordenadas	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación (mm)	Especies dominantes en los sitios de estudio en el estrato alto
90 m	22° 51' N, 98° 15' W	23.9	912.3 - 1105	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray, <i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Barneby & Grimes (Ee); <i>Cordia boissieri</i> A. DC (Cb); <i>Havardia pallens</i> (Benth.) Brit & Rose, (Hp); <i>Randia obcordata</i> Lindley.
350 m	24° 51' N, 99° 35' W	22.3	743-1000	Cp; <i>Celtis pallida</i> Torr., Cp; Ee; Hp.
520 m	24° 37' N, 99° 49' W	22.0	743-1000	Cp; Cb; Ee; Hp; <i>Prosopis laevigata</i> (Humb & Bonpl. ex. Wild.) M.C. Johnston
1600 m	26° 41' N, 99° 51' W	17.6	550-600	<i>Pinus cembroides</i> Zucc., <i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl., <i>Juniperus flaccida</i> Schldl., <i>J. deppeana</i> Steud., <i>Yucca camerosana</i> (Trel.) McKelvey y <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.
1960 m	26° 52' N, 100° 10' W	15.7	550-600	<i>Pinus cembroides</i> Zucc., <i>Yucca camerosana</i> (Trel.) McKelvey y <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth. <i>Cerocarpus mojadensis</i> C.K. Schneid., <i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth, <i>Rhus virens</i> Lindh., <i>Nolina caespitifeera</i> Trel., <i>Quercus intricada</i> Trel.,

Los datos de temperatura y precipitación fueron proporcionados por la Comisión Nacional

del Agua

### ***Tratamiento de semillas***

Las semillas fueron colectadas durante la primavera y el verano del 2002; la colecta fue realizada en al menos 20 plantas madre con el fin de permitir la variación genética natural de las poblaciones. Se seleccionaron semillas de apariencia sana, que no mostraran evidencias de crecimiento de hongos o de parasitismo por insectos. Las semillas fueron mezcladas y puestas a secar en papel estraza a temperatura ambiente por un período de dos meses con el fin de permitir su maduración, antes de que las pruebas de germinación fueran realizadas. No se realizaron pruebas de viabilidad, ni se utilizaron fungicidas. Las semillas fueron escarificadas mecánicamente con papel lija (excepto las semillas de *Caesalpinia mexicana*), esta técnica es considerada la más eficiente para promover la germinación de semillas de especies de cubierta dura del noreste de México (Foroughbakhch, 1989; Flores & Jurado, 1998).

Después de haber sido escarificadas, las semillas fueron sembradas en contenedores (una semilla por contenedor) de polietileno de 17 cm de diámetro x 27 cm de profundidad y cubiertas con 5 mm de suelo. Se utilizó sustrato proveniente de una zona de matorral tamaulipeco de Linares N.L. La frecuencia de riego fue de dos veces por semana y tres en las días > 35 °C, con aproximadamente 200 ml por riego. Los contenedores fueron colocados bajo cobertura de vegetación natural en cada uno de los sitios (Tabla I).

### ***Diseño experimental***

Se realizaron seis repeticiones de 20 semillas (una semilla por contenedor) en cada uno de los sitios, durante cuatro temporadas. Las variables de respuesta estudiadas fueron: (i) Porcentaje de emergencia de

plántulas, expresado como el porcentaje de plántulas emergidas a los 45 días posteriores a la siembra; (ii) Altura de plantas y (iii) Número de hojas. En cada uno de los sitios, la evaluación de la emergencia se realizó cada cuatro días hasta el día 45 y después cada quince días, hasta completar la emergencia de plántulas. La longitud de plantas y el número de hojas fueron medidos cada 15 días en cada uno de los sitios, por un período de siete meses.

### ***Análisis estadísticos***

Las variables de respuesta obtenidas (porcentaje de emergencia, altura de plántulas y número de hojas) fueron analizadas mediante ANOVAs de dos factores, siendo los factores la altitud (cinco niveles) y la temporada (cuatro niveles). Antes de realizar los ANOVAs, los datos de porcentaje de emergencia fueron normalizados utilizando la transformación del arcoseno de la raíz cuadrada (Sokal & Rohlf, 1995). Para realizar los análisis estadísticos de longitud de plantas y número de hojas se utilizaron los datos obtenidos en la última medición (a los siete meses). Después de los ANOVAs, se realizaron pruebas de Tukey para determinar diferencias entre tratamientos.

## **Resultados y discusión**

### ***Porcentaje de emergencia de plántulas***

De las 9,600 semillas sembradas (2,400 por especie), emergieron un total de 4,519 a los 45 días (47.07%), observándose plántulas emergidas durante las cuatro temporadas en las cinco altitudes. Se encontraron

evidencias de depredación por herbívoros en hojas y tallos, pero solamente cinco plantas perecieron.

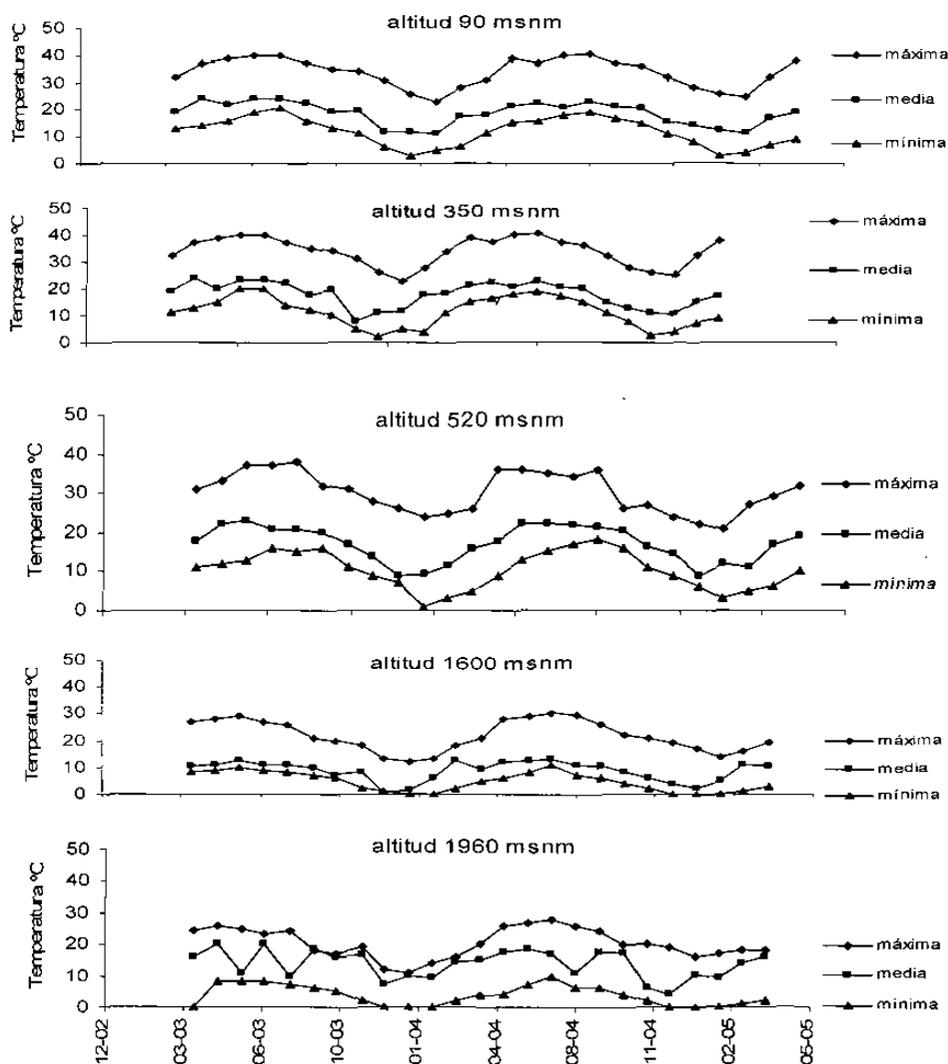
En la Tabla II se presentan los resultados de plántulas emergidas por temporada en las cinco altitudes estudiadas. *Caesalpinia mexicana* tuvo en total 1,436 semillas germinadas, con un porcentaje de emergencia (%E) = 59.83%. Esta especie mostró el mayor número de plántulas emergidas, mientras que *Cordia boissieri* tuvo el valor más bajo (934 plántulas, equivalente al 38.91%). El número de plántulas emergidas de *Ebenopsis ebano* fue de 1,165, para un %E de 48.54%. Finalmente, emergieron 984 plantas de *Melia azederach*, lo que representa un %E = 41.00%.

**Tabla II:** Número de plantas emergidas por especie y temporada en las cinco localidades estudiadas.

Especie	Número de plantas emergidas				Total
	Primavera 2003	Otoño 2003	Primavera 2004	Otoño 2004	
<i>Caesalpinia mexicana</i>	390	246	527	273	1436
<i>Cordia boissieri</i>	240	193	364	137	934
<i>Ebenopsis ebano</i>	338	256	425	146	1165
<i>Melia azederach</i>	271	172	321	220	984
Total	1239	867	1637	776	4519

El ANOVA de dos factores para porcentaje de emergencia de plántulas de cada una de las especies, mostró diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 3), entre altitudes ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción altitud X temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12). La emergencia de plántulas fue mayor en primavera y registró valores

menores en otoño en todas las altitudes, con valores más bajos en altitudes mayores a las áreas de distribución natural de las especies, probablemente a causa de bajas temperaturas (Figura 1).



**Fig. 1.** Temperaturas máximas, medias y mínimas, que se presentaron de abril de 2003 a abril de 2005, en cinco altitudes (90-1960 m) en el noreste de México. Los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Los mayores porcentajes de emergencia de plántulas de *Caesalpinia mexicana* (Tabla III, Fig. 2 a-d), se obtuvieron en el área de distribución natural de la especie (altitudes de 90, 350 y 520 m) y por encima de ésta

(1600 m). El más bajo porcentaje de emergencia de plántulas se presentó a 1960 m, aún y cuando esta especie ha sido detectada en el altiplano mexicano en elevaciones superiores a 2000 msnm (Estrada & Marroquín, 1991).

**Tabla III:** Porcentaje de emergencia de plantas a los 45 días de cuatro especies en cinco localidades de distinta altitud (Los datos corresponden a los porcentajes mayor y menor que se presentaron en las cuatro temporadas).

Altitud (m)	Porcentaje de emergencia de plantas							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	97.5 a	50.0 df	60.0 bc	41.6 ef	73.3 abc	42.5 fg	64.1 a	25.5 cd
350	99.1 a	50.0 df	66.6 ab	33.3 fg	82.5 a	39.1 fg	62.5 ab	28.9 bc
520	98.3 a	58.8 ce	71.1 a	32.5 g	77.5 ab	49.1 de	64.1 a	28.7 bc
1600	97.5 a	28.3 hi	69.1 a	5.83 hi	71.6 abc	14.1hj	50.0 de	3.64 ef
1960	47.5 ef	4.16 i	35.8 fg	0.83 i	49.1 de	2.50 j	5.0 h	1.56 f

Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Para *Cordia boissieri* los porcentajes de emergencia de plántulas más altos se presentaron en altitudes de 520 y 1600 m, dentro y por encima de su área de distribución normal (Tabla III, Fig. 3 a-d), seguidos de los obtenidos a 350 y 90 m; el porcentaje de emergencia más bajo se registró a 1960 m de altitud.

En el caso de *Ebenopsis ebano*, el mayor porcentaje de emergencia de plántulas (Tabla III, Fig. 4 a-d) se presentó en su área normal de distribución natural, a 350 msnm, seguido del sitio adyacente a 520 msnm. Menores porcentajes fueron registrados a altitudes de 90 y 1,600 m, el más bajo porcentaje fue registrado a 1,960 m.

La especie introducida *Melia azederach* presentó mayor emergencia de plántulas en las localidades a 90 y 520 msnm (Tabla III, Fig. 5 a-d) y menor en la localidad de mayor altitud.

El suministro de humedad durante el estudio fue constante, por lo que el patrón de emergencia de plántulas fue dependiente de la temperatura, principalmente. En el área natural de distribución de las especies se presentaron temperaturas altas similares de primavera a otoño (Fig. 1), siendo menores de primavera a verano tardío en la altitud de 1,600 m. Las más bajas ocurrieron a 1,960 m. Para las cuatro especies, los porcentajes más altos de emergencia de plántulas se presentaron en la temporada primavera 2004, dentro del área de distribución natural de las especies, en las altitudes de 90 a 520 m y en la de 1,600 m. El menor porcentaje de emergencia se obtuvo a 1,960 m, sitio asociado a temperaturas bajas que inhiben la germinación de las especies estudiadas (Figura 1).

Las diferencias de germinación entre las especies reflejan variación de respuesta a la temperatura. Mohan *et al.* (2004) encontraron que la emergencia de plántulas depende de los niveles de enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, principal causante del calentamiento en la atmósfera. Los menores porcentajes de emergencia de plántulas para las cuatro especies se registraron las temporadas de otoño 2003 y 2004 en las altitudes de 1600 y 1960 m (Figura 1), debido probablemente a la inhibición de la germinación por bajas temperaturas (Thompson & Grime, 1983; Hilhorst & Karssen, 2000; Flores & Briones, 2001). Así, nuestros resultados apoyan a Holtmeier & Broll (2005), quienes mencionan al clima como la principal fuerza selectiva en las poblaciones naturales.

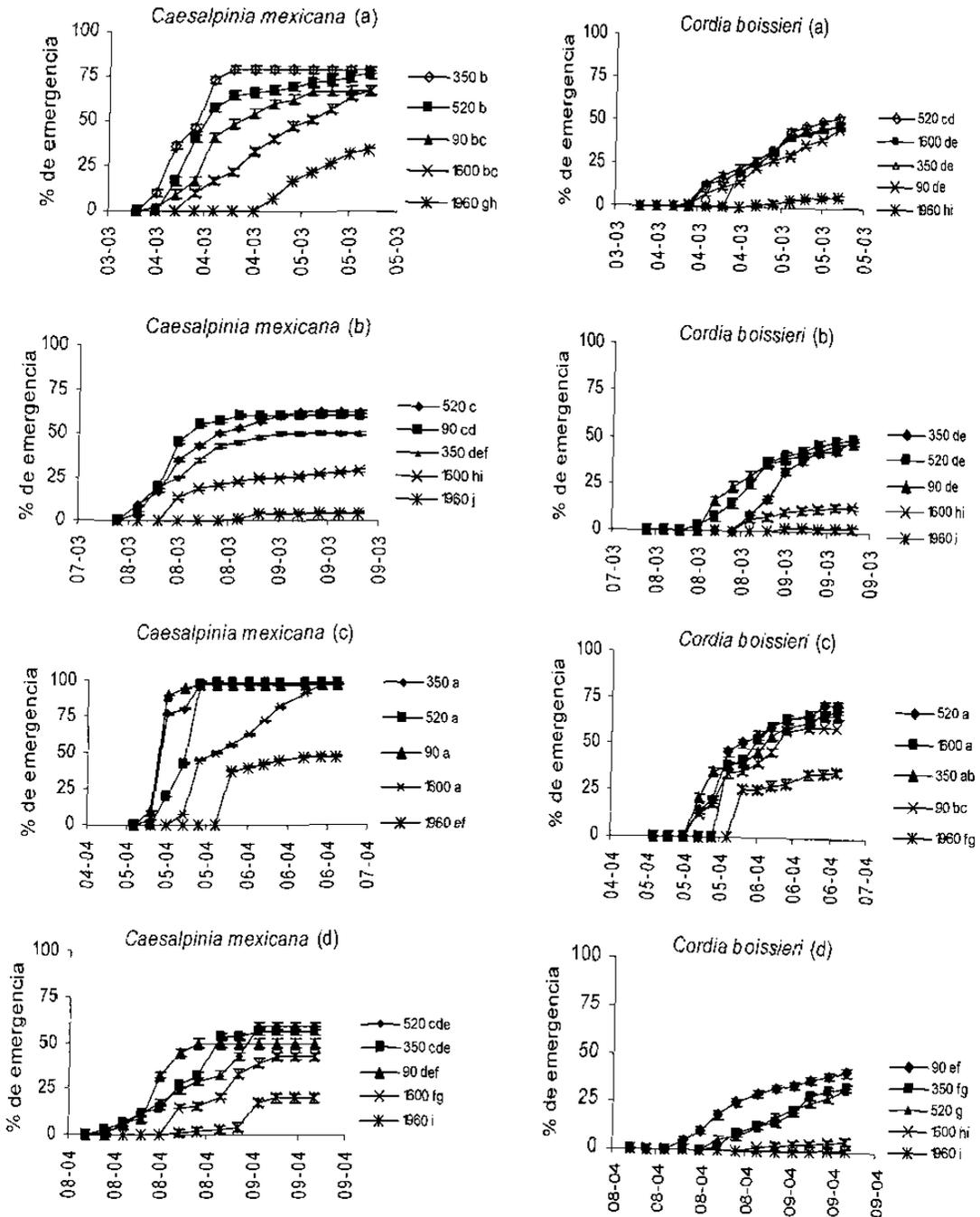


Fig. 2. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, a los 45 días para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 3. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, a los 45 días para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

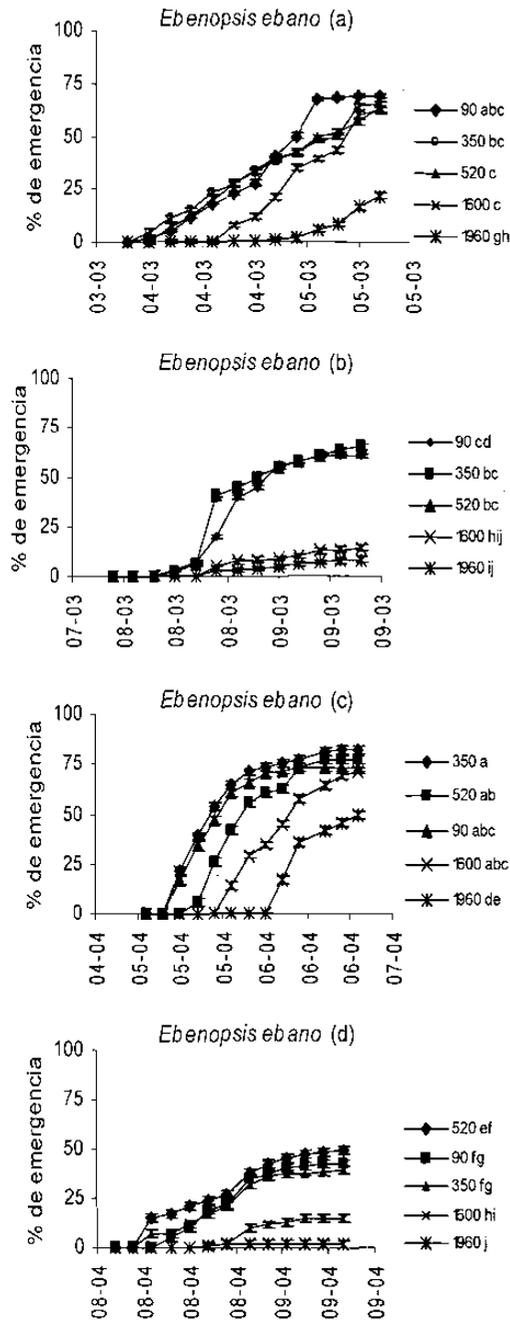


Fig. 4. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, a los 45 días para *Ebenopsis ebano*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

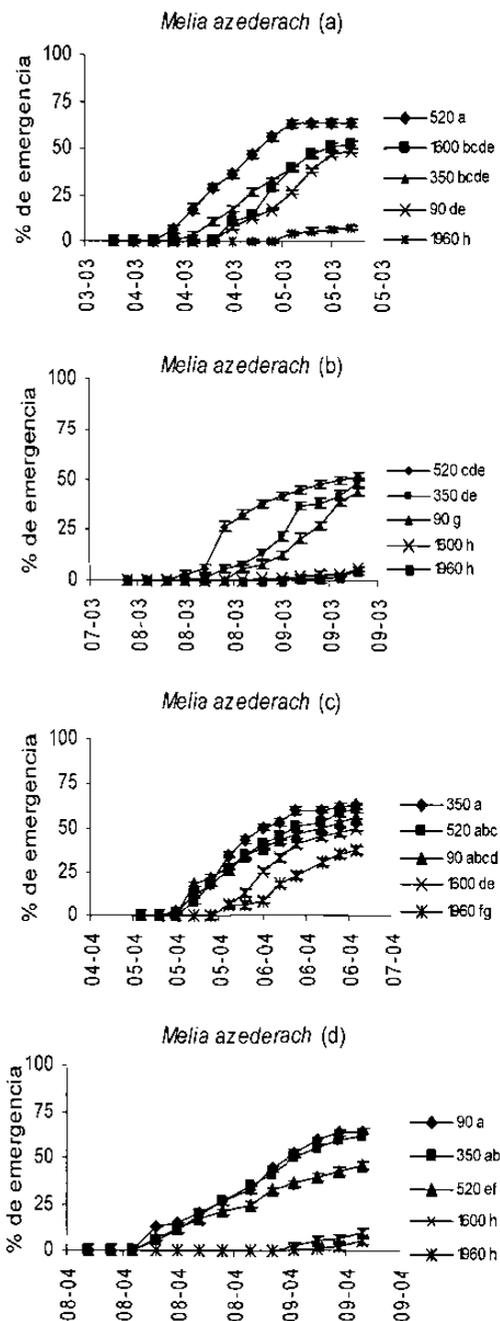


Fig. 5. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, a los 45 días para *Melia azederach*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

### Longitud de plantas (mm)

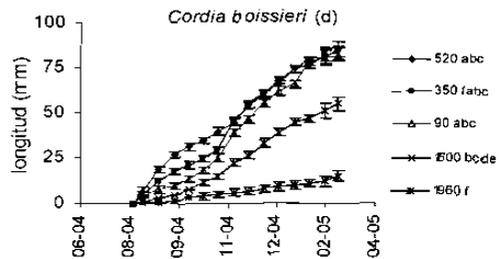
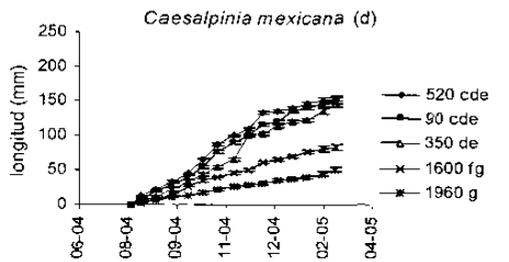
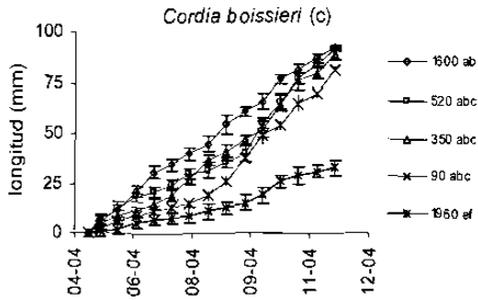
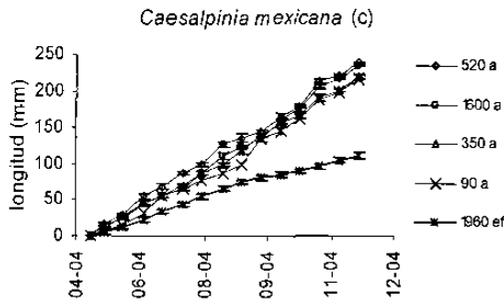
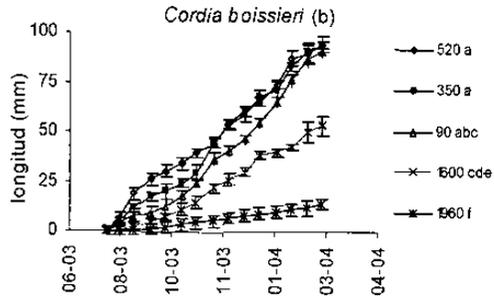
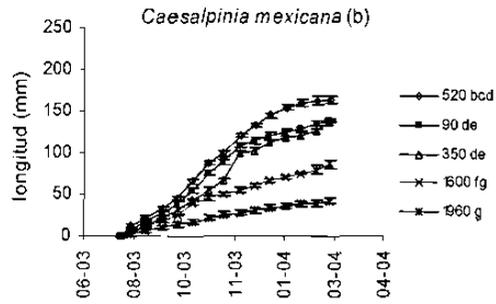
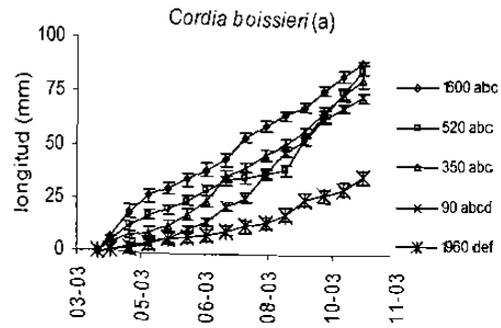
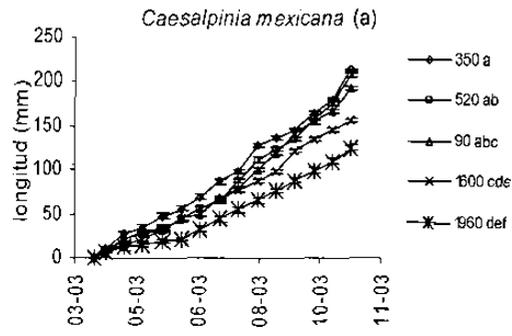
El ANOVA de dos factores para longitud de plantas de cada una de las especies, mostró diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 3), siendo mayor el valor obtenido en la primavera 2004. También se encontraron diferencias entre altitudes ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción altitud X temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12).

**Tabla IV.** Promedios de longitud de plantas para cuatro especies en localidades de diferente altitud.

Altitud (m)	Promedios de longitud de plantas (mm)							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	216.5 a	140.8 de	91.0 ab	75.0 bc	195.0 a	177.0 ab	225.2 a	183.5 cd
350	219.0 a	137.0 de	94.6 a	82.8 ab	195.0 a	179.0 ab	219.7 a	184.9 cd
520	237.3 a	165.0 bc	95.0 a	84.0 ab	198.0 a	184.0 ab	228.0 a	190.1 bc
1600	233.5 a	83.16 fg	91.0 ab	54.0 cd	199.0 a	79.0 c	192.6 c	55.0 fg
1960	125.0 d	42.00 g	32.0 de	14.0 f	142.1 b	37.0 d	150.0 e	24.0 g

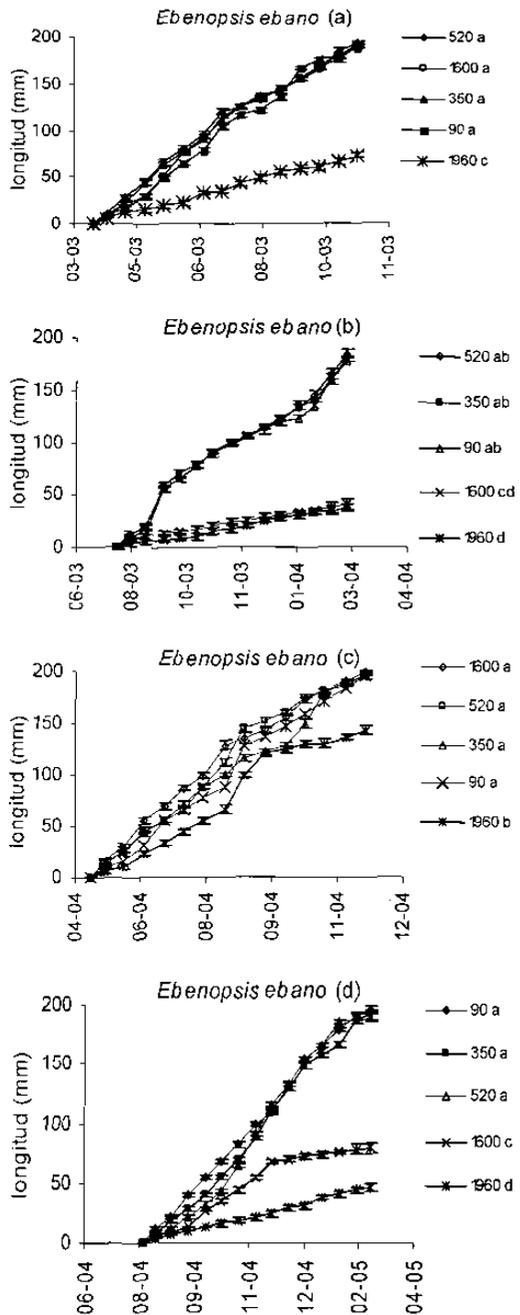
Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

El crecimiento de *Caesalpinia mexicana* (Tabla IV, Figura 6 a-d) y de *Ebenopsis ebano* (Tabla IV, Figura 8 a-d) fue mayor en las cuatro primeras elevaciones (90, 350, 520 y 1,600 msnm) que en la elevación de 1,960 m. En cambio, el crecimiento de *Cordia boissieri* (Tabla IV, Figura 7 a-d) fue mayor en las elevaciones intermedias (350 y 520 msnm), con menores promedios de crecimientos a 90 y 1,600 m; el menor crecimiento se obtuvo también en la mayor altitud. *Melia azederach* presentó mayor crecimiento en las altitudes de 90, 350 y 520 m que en la altitud de 1,600 m. En la altitud de 1,960 m el crecimiento fue aún menor (Tabla IV, Figura 9 a-d).

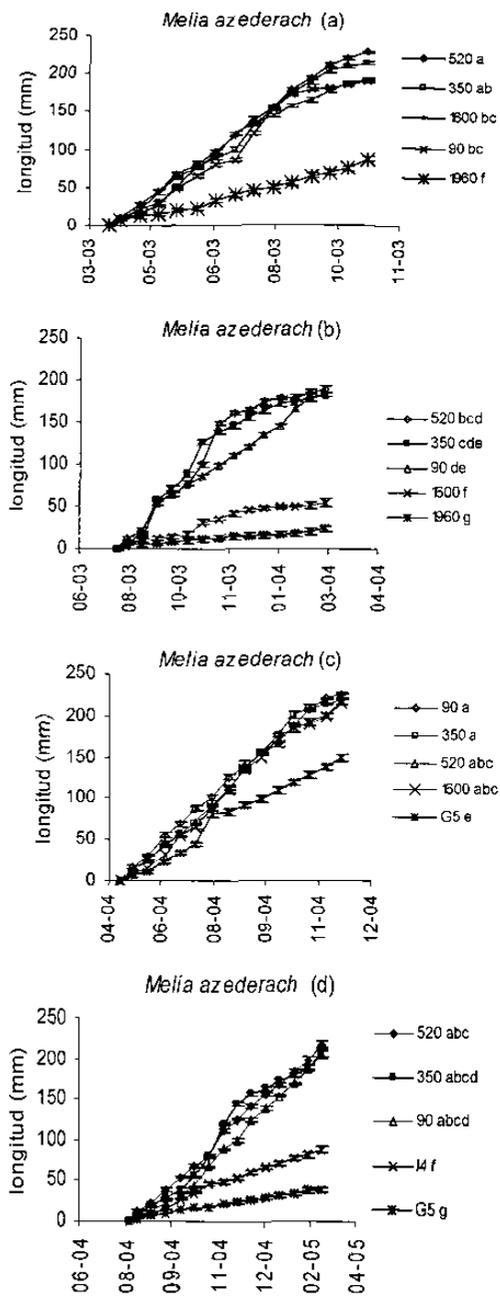


**Fig. 6.** Longitud de plantas (mm) para *Caesalpinia mexicana* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

**Fig. 7.** Longitud de plantas (mm) para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).



**Fig. 8.** Longitud de plantas (mm) para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).



**Fig. 9.** Longitud de plantas (mm) para *Melia azederach* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

En general, las plantas mostraron mayor crecimiento en primavera de 2004 y menor crecimiento en altitudes mayores a las áreas de distribución natural de las especies. Las cuatro especies mostraron mayor crecimiento en sus áreas de distribución normal (90, 350 y 520 msnm). A 1,600 m se registró mayor crecimiento de plantas que a 1,960 m, debido probablemente a que en esta última elevación las temperaturas son menores (Figura 1). Este resultado puede también deberse a diferencias en radiación (Bret-Harte *et al.* 2004; Castro *et al.* 2004a). El sitio a 1,600 msnm muestra condiciones para crecimiento hasta otoño temprano. Kullman (2002) menciona que las condiciones modificadas producidas por el calentamiento global, como inviernos suaves, favorecen el establecimiento y crecimiento de plantas, con reducido riesgo de desecación por heladas.

### **Número de hojas**

El ANOVA de dos factores para el número de hojas de cada una de las especies mostró diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 3), entre altitudes ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción entre los factores altitud y temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12).

Para *Caesalpinia mexicana* se registró mayor producción de hojas a 520 y 1,600 m que en altitudes de 350 y 90 m, y el número de hojas más bajo se obtuvo a 1,960 m (Tabla V, Figura 10 a-d). En cambio para *Cordia boissieri* (Tabla V, Figura 11 a-d) y *Ebenopsis ebano* (Tabla V, Figura 12 a-d) se encontró mayor número de hojas en las cuatro primeras elevaciones y menor en la localidad de mayor altitud. La especie introducida *Melia azederach* (Tabla V, Figura 13 a-d) mostró mayor número de hojas en las altitudes normales de su distribución en la región (a 520, 350 y 90 m), que en las dos elevaciones mayores.

**Tabla V.** Número de hojas promedio por planta para cuatro especies en diferentes altitudes.

Altitud (m)	Número de hojas							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	28.9 a	16.4 bc	9.91 a	8.75 ab	18.97 a	14.95 a	25.5 ab	17.5 abc
350	29.3 a	16.5 bc	9.50 a	8.67 ab	19.78 a	17.46 a	27.0 ab	19.3 ab
520	30.7 a	20.3 ab	10.0 a	8.50 ab	19.65 a	16.97 a	28.0 a	18.8 ab
1600	30.1 a	12.1 cd	9.19 a	4.00 cd	15.47 a	7.5 b	19.1 ab	7.50 ef
1960	14.2 bc	3.2 d	5.33 bc	0.78 d	14.10 a	2.00 b	16.0 bc	3.90 g

Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

En general, se encontró mayor producción de hojas en las altitudes normales de distribución de las especies evaluadas (a 90, 350 y 520 m), debido probablemente a la ocurrencia de temperaturas más altas que las que se presentaron en las altitudes mayores. Estos resultados coinciden con Klanderud (2005), quien reportó una interacción positiva entre los efectos del calentamiento global y la producción de hojas, en ecosistemas alpinos. Además, también se ha reportado mayor crecimiento en área foliar y biomasa como efectos asociados al calentamiento global (Morison & Lawlor, 1999; Davis *et al.* 2002).

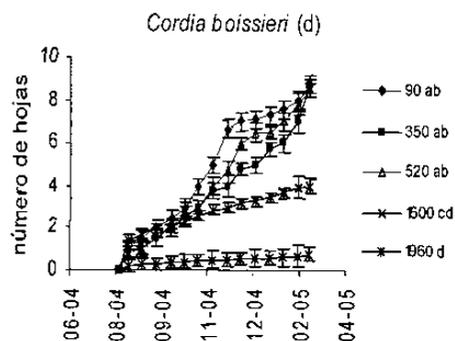
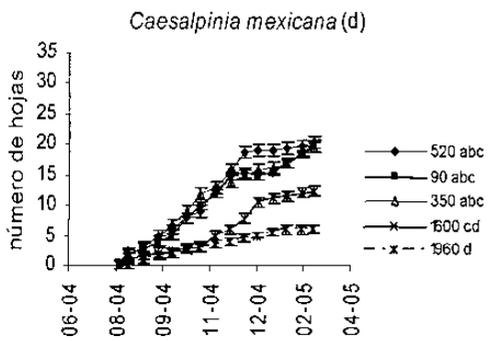
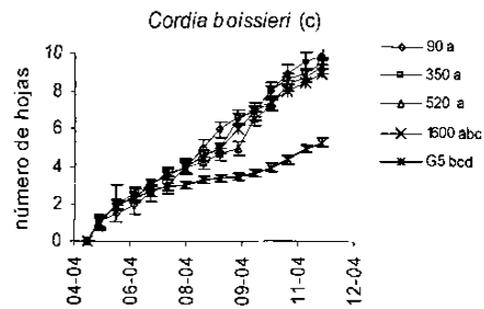
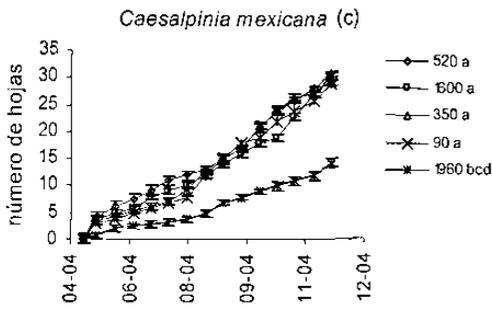
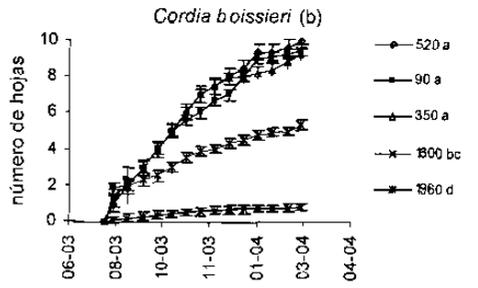
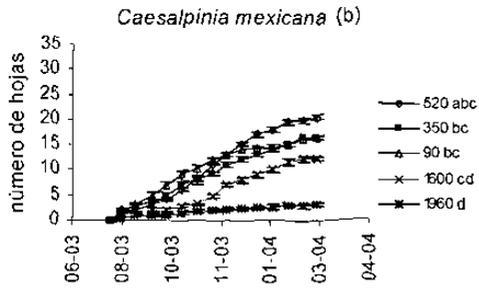
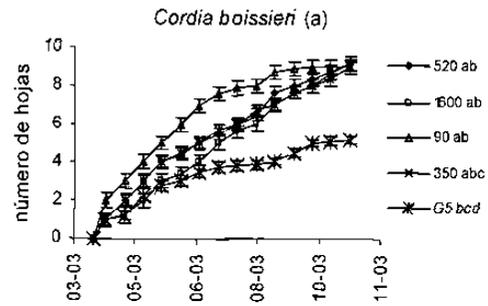
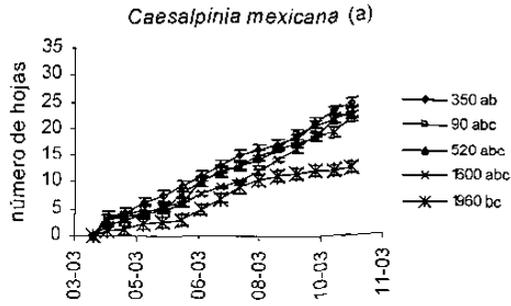


Fig. 10. Producción de hojas para *Caesalpinia mexicana* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 11. Producción de hojas para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

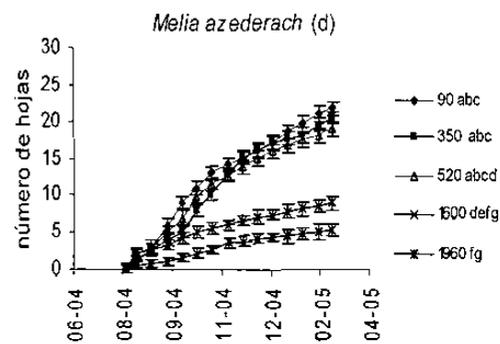
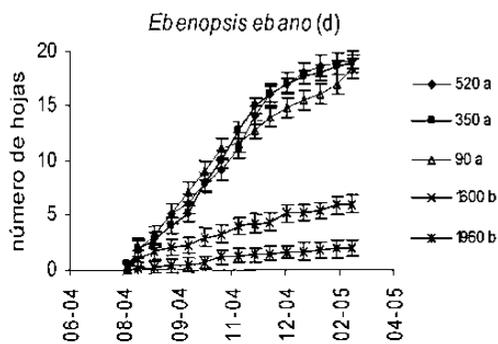
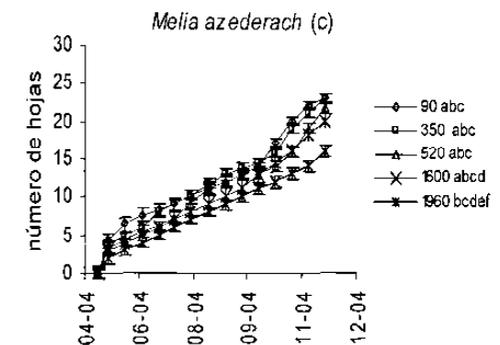
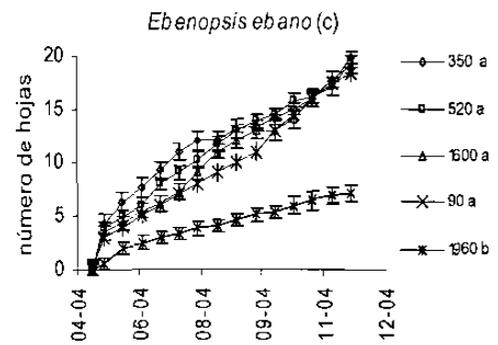
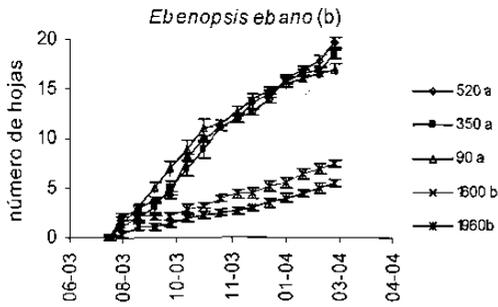
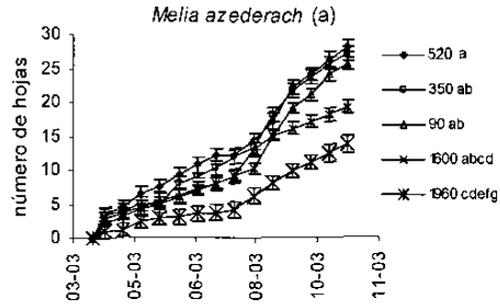
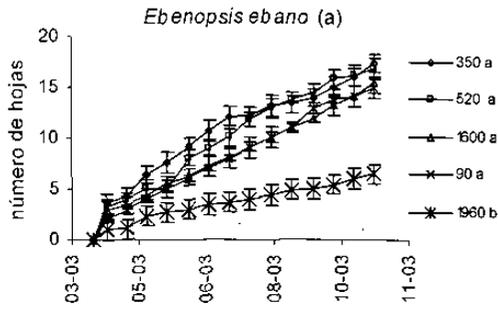


Fig. 12. Producción de hojas para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 13. Producción de hojas para *Melia azederach* por cuatro temporadas (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

### ***Comparación entre especies y entre elevaciones***

Debido principalmente al suministro de humedad y a las altas temperaturas, *Caesalpinia mexicana*, *Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* y *Melia azederach* tuvieron mayor emergencia de plántulas dentro de su área de distribución (a 90, 350 y 520 m) y por encima de ésta (a 1600 m). El crecimiento de plántulas y el número de hojas también fue mayor dentro de sus límites naturales de distribución. El sitio a 1600 m mostró altos valores de emergencia de plántulas, crecimiento y producción de hojas en las temporadas de primavera 2003 y primavera 2004, por lo que se considera que este sitio podría servir para el desplazamiento altitudinal de las especies, pero únicamente en primavera, aunque las respuestas de las especies al calentamiento global pueden ser contrastantes. Por ejemplo, Jensen (2003) reportó una reducción y ampliación de las áreas de distribución de diversas especies; asimismo, Rehfeldt *et al.* (2002) encontraron cambios en la presencia y abundancia de *Pinus sylvestris* por causa del cambio climático. En otros estudios, se reportaron riesgos de extinción por la reducción en la capacidad de las plantas para resistir y recuperarse de perturbaciones ambientales, como plagas y enfermedades (Jump & Peñuelas, 2005; McLaughlin *et al.* 2002).

El sitio a 1960 m presentó los valores más bajos para todas las especies en todos los parámetros objeto de estudio, debido probablemente a las bajas temperaturas. Sin embargo; existen otros factores que pueden estar limitando la colonización latitudinal y altitudinal de las especies, como la fragmentación y pérdida de hábitats (Dirnböck *et al.* 2003), o bien, el establecimiento de plantaciones comerciales (Alig *et al.* 2002; Hewitt & Kellman, 2002).

## Conclusiones

En las tres especies nativas y en la especie introducida, los mayores porcentajes de emergencia de plántulas se presentaron en su área de distribución natural (altitudes de 90, 350 y 520 m), y por encima de ésta (a 1600 m), principalmente durante las primaveras de 2003 y 2004. Los menores porcentajes se registraron a 1960 m. Además, el crecimiento de plántulas y la producción de hojas también fueron mayores dentro del área de distribución natural.

La temporada en que se registraron los valores más altos de los parámetros estudiados fue en la primavera de 2004. De las cuatro especies evaluadas, *Caesalpinia mexicana* mostró mayor porcentaje de emergencia, mayor crecimiento y mayor cantidad de hojas, seguida de *Ebenopsis ebano*, *Melia azederach* y *Cordia boissieri*.

Las elevaciones de 90, 350 y 520 msnm presentan condiciones aptas para la producción de plantas, las cuales podrían utilizarse en programas de reforestación y restauración de ecosistemas. A 1600 m es recomendable el inicio de producción de plantas en primavera.

Los resultados de la presente investigación sugieren que las especies estudiadas tienen la capacidad para germinar y crecer por encima de su área de distribución actual, como lo predicen los pronósticos de cambio climático.

### **Capítulo III**

**Influencia de altitud en germinación de semillas y supervivencia de plántulas de tres especies nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en el noreste de México**

## Resumen

Para determinar la probable influencia del calentamiento global sobre la etapa temprana de establecimiento de plántulas del noreste de México, se estudió la germinación, supervivencia y crecimiento de cuatro especies de plantas en un gradiente altitudinal de 90 a 1960 msnm. Las especies estudiadas fueron tres especies nativas (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* y *Caesalpinia mexicana*) y una especie exótica naturalizada en la región (*Melia azederach*). Se sembraron semillas de las cuatro especies en el suelo en parcelas de 1 m<sup>2</sup>, durante cuatro temporadas (Primavera 2003 y 2004, Otoño 2003 y 2004) en cinco elevaciones (90, 350, 520, 1600 y 1960 msnm). La emergencia de plántulas de las cuatro especies se presentó principalmente en verano y otoño temprano, para *Cordia boissieri* los mayores porcentajes de germinación se presentaron en las elevaciones de 90, 350, 520 y 1600 msnm; presentando mayor supervivencia a 520 y 1600 msnm. Las especies *Caesalpinia mexicana* y *Ebenopsis ebano* presentaron mayor germinación y supervivencia a 90, 350, 520 y 1600 msnm, y *Melia azederach* presentó mayores promedios de germinación a 90, 350 y 520 msnm; pero la supervivencia fue mayor a 520 y 1600 msnm. Tanto el crecimiento de las plántulas en longitud, como el número de hojas producidas, fueron superiores en las altitudes que tuvieron mayor porcentaje de supervivencia de plantas. Los resultados de germinación, supervivencia y crecimiento de plantas en las elevaciones estudiadas sugieren que las especies estudiadas presentan potencial para germinar, crecer y sobrevivir por encima de sus áreas naturales de distribución, pero establecer plantaciones de estas especies con semillas sembradas en el suelo no es recomendable.

Palabras clave: Elevación, Calentamiento Global, Germinación, Noreste de México, Plantas Nativas, Supervivencia

## Introducción

Las actividades humanas han causado aumento en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico y demás gases de invernadero, y con ello un incremento en el promedio de temperatura en el mundo (Bazzas 1990; Schlesinger 1991; Levitus *et al.* 2000; Lenton 2006). Se ha sugerido que los efectos del llamado "Calentamiento Global" provocarán desplazamientos de áreas de distribución de especies de plantas y zonas bioclimáticas hacia mayores altitudes, de 400 a 600 m, para los próximos 100 años (Boer *et al.* 1990; Holten & Carey 1992; Grace 1997; Theurillat & Guisan 2001). Existen una gran cantidad de estudios que muestran que el enriquecimiento en la concentración de CO<sub>2</sub> tiene un impacto benéfico en el crecimiento y desarrollo de árboles (Kimball 1983; Mousseau & Saugier 1992; Ceulemans & Mousseau 1994; Gunderson & Wullschleger 1994; Curtis 1996; Curtis & Wang 1998; Ward & Strain 1999; Norby *et al.* 1999; Gamache & Payette 2004, 2005). Otros estudios muestran que los efectos del calentamiento global tienen el potencial de afectar características fisiológicas y morfológicas de las plantas (Long 1991; Kirschbaum 1994; Idso & Idso 1994; Dorrepaal *et al.* 2005). Sin embargo, las conclusiones de estudios de comunidades de árboles creciendo bajo los efectos de mayores temperaturas por el calentamiento global son aún limitadas (Beerling & Woodward 1996; Koike *et al.* 1996; Norby *et al.* 1996; Tjoelker *et al.* 1998; Cornelissen *et al.* 2001; Higgins 2003).

En este estudio se examinan los probables efectos del calentamiento global a lo largo de un gradiente altitudinal sobre la emergencia, supervivencia y crecimiento de plantas, de tres especies nativas del matorral tamaulipeco (*Cordia boissieri* "anacahuita", *Ebenopsis ebano* "ébano" y *Caesalpinia mexicana* "árbol del potro") y una especie exótica (*Melia azederach* "canelón"). Las especies estudiadas presentan diferencias en sus áreas de distribución altitudinal,

los registros en el herbario clave (CFNL) ubican a *Caesalpinia mexicana* desde 150 m hasta 990 m de altura; *Cordia boissieri* tiene ejemplares registrados desde 0 hasta 1,580 m de altura; y *Ebenopsis ebano* ha sido situada entre 40 y 550 msnm.

Debido a que las predicciones del cambio climático mencionan desplazamientos de áreas de distribución de especies de plantas y zonas bioclimáticas hacia mayores altitudes, en este estudio se plantea que las especies estudiadas tendrán mayor porcentaje de germinación, supervivencia, altura y producción de hojas por encima de sus áreas presentes de distribución.

### **Objetivos**

Los objetivos de este estudio fueron: (i) determinar si la emergencia de plántulas de las cuatro especies ocurre de manera similar en sus áreas de distribución actual y en elevaciones superiores a estas, (ii) identificar la temporada óptima de emergencia de plántulas de las cuatro especies (iii) determinar si la supervivencia de plántulas de las cuatro especies ocurre de manera similar en sus áreas de distribución vigentes y en altitudes superiores a estas, (iv) estimar el crecimiento y la producción de hojas por especie en las cinco elevaciones, (v) determinar la conveniencia de establecimiento de plantaciones de estas especies por semillas en sus áreas de distribución actuales y por encima de estas áreas.

### **Métodos**

#### ***Tratamiento de semillas***

Después de haber sido escarificadas, las semillas de cada una de las cuatro especies fueron sembradas en parcelas de 1.0 m<sup>2</sup>. Las semillas fueron escarificadas con papel lija (excepto las semillas de *Caesalpinia*

*mexicana*), esta técnica es considerada la más eficiente para promover la germinación de semillas de especies de cubierta dura del noreste de México (Foroughbakhch 1989; Flores & Jurado, 1998).

### ***Diseño experimental***

Para cada especie se utilizaron diez parcelas, consideradas como repeticiones, en cada una de cinco elevaciones (90, 350, 520, 1600 y 1960 msnm). Cada repetición incluyó un total de 20 semillas, siendo un total de 200 semillas por especie en cada uno de los cinco sitios. Las semillas fueron cubiertas con 5 mm de suelo en cada una de las parcelas y tuvieron una separación entre semillas de 20 cm. El ensayo fue repetido por cuatro ocasiones en dos años (Primavera 2003, 2004, Otoño 2003 y 2004) en las cinco elevaciones. Las parcelas fueron distribuidas bajo vegetación natural en cada uno de los sitios (Tabla I) y estuvieron cercadas para evitar la depredación de pequeños mamíferos. Cada ensayo fue evaluado por un año; las variables de respuesta estudiadas fueron: (i) Emergencia de plántulas, expresado como el porcentaje de plántulas emergidas durante la temporada; (ii) Supervivencia de plantas, expresado como el porcentaje de plántulas sobrevivientes; (iii) Altura de plantas y (iv) Número de hojas. En cada uno de los sitios, la toma de datos de emergencia se realizó cada cuatro días posterior a la siembra de las semillas y después cada quince días, durante un año. La supervivencia, longitud de plantas y el número de hojas fueron medidos cada 15 días en cada uno de los sitios por un período de un año.

### ***Análisis estadísticos***

Las variables de respuesta obtenidas (porcentaje de emergencia, porcentaje de supervivencia, altura de plántulas y número de hojas) fueron analizadas mediante ANOVAs de dos factores, siendo los factores la altitud (cinco niveles) y la temporada (cuatro niveles). Antes

de realizar los ANOVAs, los datos de porcentaje de emergencia y porcentaje de supervivencia fueron normalizados utilizando la transformación del arcoseno de la raíz cuadrada (Sokal & Rohlf, 1995). Los análisis estadísticos de porcentaje de emergencia de plántulas se realizaron con los datos de porcentajes de emergencia acumulada. Para analizar supervivencia, longitud de plantas y número de hojas se utilizaron los datos obtenidos en la última medición (a los doce meses). Después de los ANOVAs, se realizaron pruebas de Tukey para determinar diferencias entre tratamientos.

## Resultados y discusión

### **Porcentaje de emergencia de plántulas**

De las 16,000 semillas sembradas (4,000 por especie), emergieron un total de 1,753 para un porcentaje de emergencia total (%E) = 10.96%. En la Tabla VI se presentan los resultados de plántulas emergidas por temporada en las cinco altitudes estudiadas. *Caesalpinia mexicana* tuvo en total 679 semillas germinadas, con un porcentaje de emergencia (%E) = 16.97%. Mientras que *Melia azederach* tuvo 304 plántulas germinadas (%E) = 7.62%. El número de plántulas emergidas de *Ebenopsis ebano* fue de 461, para un %E de 11.52%. Finalmente, emergieron 309 plantas de *Cordia boissieri*, lo que representa un %E = 7.72%.

El ANOVA de dos factores para porcentaje de emergencia de plántulas de *Melia azederach* muestra que fue estadísticamente similar entre temporadas ( $P = 0.19$ ), entre altitudes existieron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción altitud X temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12); lo cuál significa que las diferencias en la emergencia de plántulas se presentaron entre diferentes altitudes.

**Tabla VI:** Número de plantas emergidas por especie y temporada en las cinco localidades estudiadas.

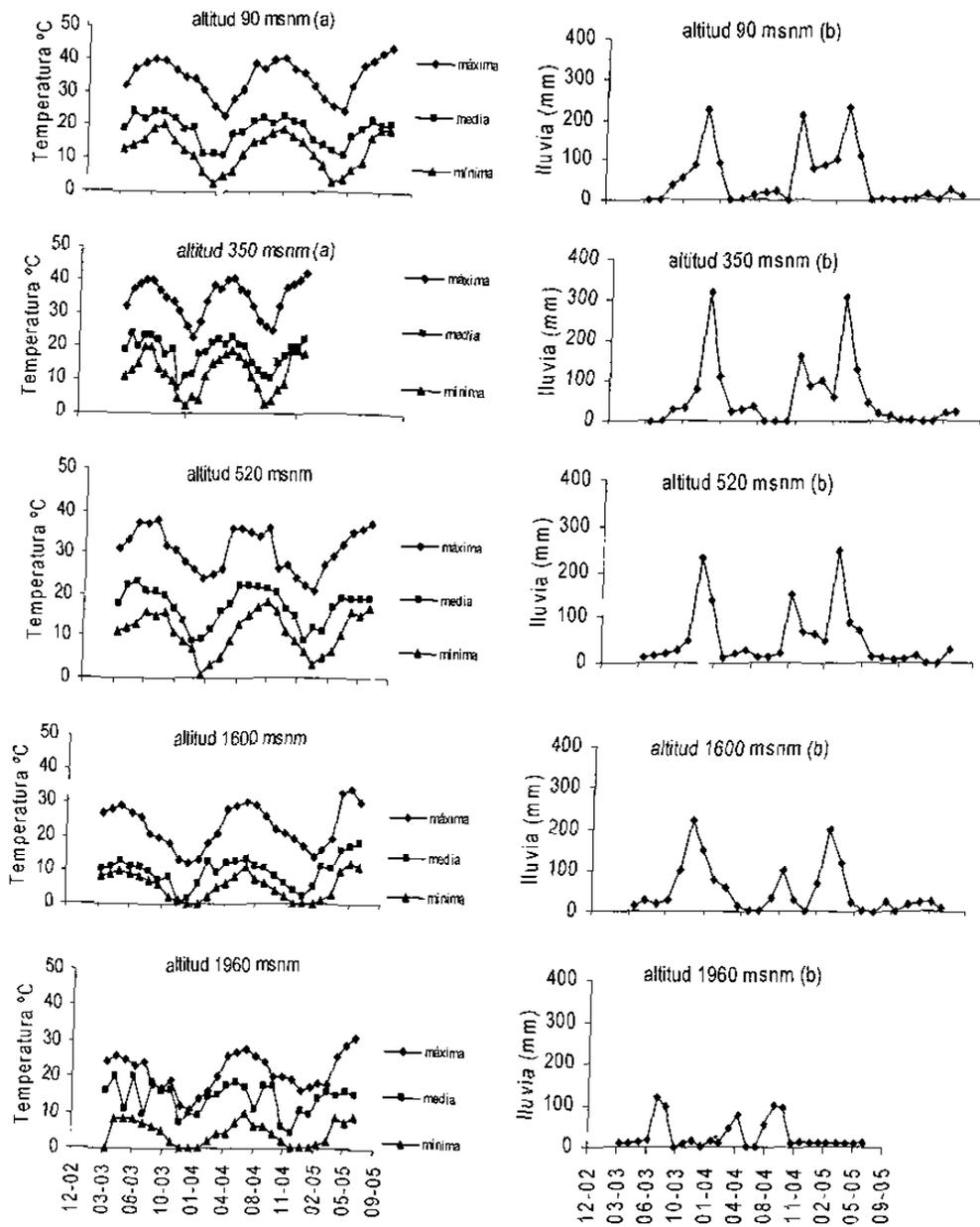
Especie	Número de plantas emergidas				
	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	Total
	2003	2003	2004	2004	
<i>Caesalpinia mexicana</i>	205	154	201	119	679
<i>Cordia boissieri</i>	72	68	103	66	309
<i>Ebenopsis ebano</i>	136	102	135	88	461
<i>Melia azederach</i>	77	76	84	67	304
Total	490	400	523	340	1753

Las especies nativas (*Caesalpinia mexicana*, *Cordia boissieri* y *Ebenopsis ebano*), mostraron diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 3), entre altitudes ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción altitud X temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12). Para las cuatro especies, las diferencias entre los niveles temporada y altitud, fueron contrastadas con pruebas de comparación de medias de Tukey (Tabla VII).

**Tabla VII:** Porcentaje de emergencia acumulada de plantas de cuatro especies en cinco localidades de distinta altitud. (Los datos corresponden a los porcentajes mayor y menor que se presentaron en las cuatro temporadas).

Altitud (m)	Porcentaje de emergencia de plantas							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	23.5 a	17.0 ab	11.5 ab	5.00 b	18.5 a	13.5 a	13.0 a	12.0 a
350	26.0 a	16.5 ab	14.0 a	9.00 ab	17.0 a	13.5 a	12.0 a	6.00 bc
520	25.0 a	20.0 ab	14.5 a	9.50 a	18.0 a	13.5 a	11.0 a	8.00 ab
1600	26.5 a	3.00 d	13.5 a	2.00 bc	16.5 a	3.50 c	7.00 cd	2.00 ef
1960	10.0 c	2.00 d	2.00 bc	0.50 c	4.00 bc	1.50 c	1.00 f	0.50 f

Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).



**Fig. 14.** (a) Promedios de temperaturas, (b) lluvias, encontrados en cinco sitios con diferentes elevaciones. Los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

La emergencia de plántulas se presentó principalmente en otoño y los mayores porcentajes se presentaron cuando las semillas fueron sembradas en la primavera del 2004, con altos porcentajes en altitudes (90, 350 y 520 m) bajo el área de distribución natural de las especies y por encima a 1600 m. La emergencia de plántulas estuvo asociada a las

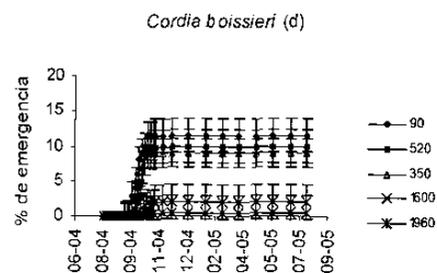
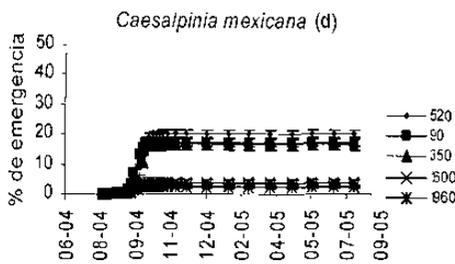
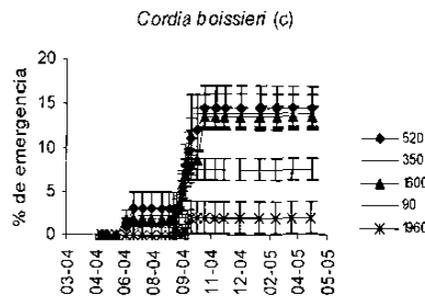
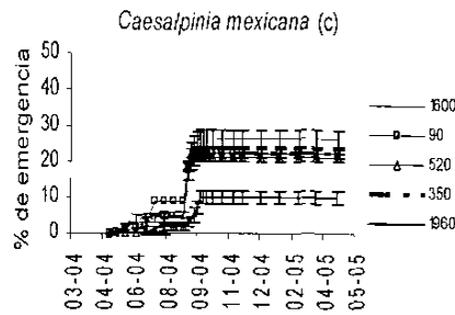
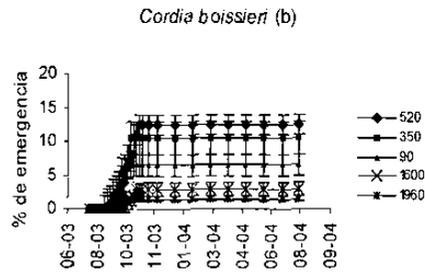
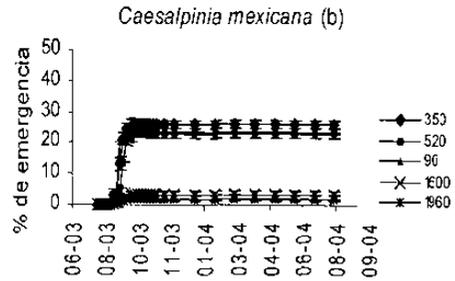
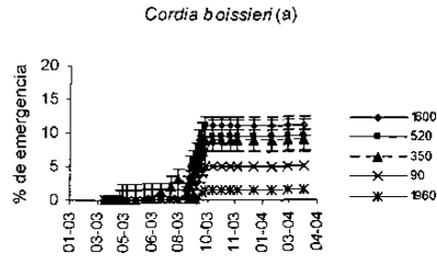
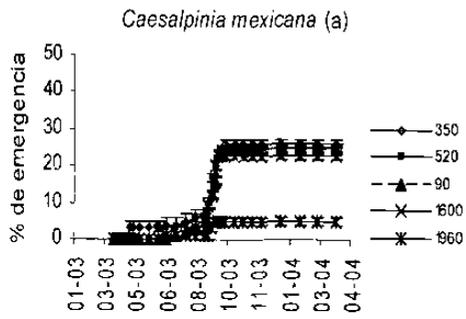


Fig. 15. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia acumulada, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 16. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia acumulada, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

lluvias de temporada (Fig. 14 b). De acuerdo a Smith *et al.* (2000) la cantidad de lluvia y la duración de humedad en el suelo pueden controlar el éxito de la germinación.

Los mayores porcentajes de emergencia de plántulas de *Caesalpinia mexicana* (Tabla VII, Fig. 15 a-d) y *Ebenopsis ebano* (Tabla VII, Fig. 16 a-d), se obtuvieron en el área de distribución natural de la especie (altitudes de 90, 350 y 520 m) y por encima de ésta (1600 m). El más bajo porcentaje de emergencia de plántulas se presentó a 1960 m.

Para *Cordia boissieri* los porcentajes de emergencia de plántulas más altos se presentaron en altitudes de 350, 520 y 1600 m, dentro y por encima de su área de distribución normal (Tabla VII, Fig. 17 a-d), seguidos del promedio obtenido a 90 m. El porcentaje de emergencia más bajo se registró a 1960 m de altitud.

La especie introducida *Melia azederach* presentó mayor emergencia de plántulas en las localidades a 90, 350 y 520 msnm (Tabla VII, Fig. 18 a-d), con menor promedio a 1600 m y el más bajo en la localidad de mayor altitud.

La emergencia de plántulas estuvo asociada a las lluvias de temporada (Fig. 14 b), las cuales se presentaron principalmente en verano y otoño temprano, aunque unas pocas semillas germinaron en primavera. Los mayores porcentajes de emergencia de plántulas se presentaron cuando las semillas fueron sembradas en la primavera del 2004 (Fig. 2, 3, 4 y 5 a-d), con altos porcentajes en altitudes (de 90, 350 y 520 m) dentro del área de distribución natural de las especies y por encima a 1600 m. Para especies del matorral tamaulipeco, Flores & Jurado (1998), Jurado *et al.* (1998), Jurado *et al.* (2000), García & Jurado (2003), Jurado *et al.* (2006), han encontrado que gran cantidad

de especies germinan en primavera, pero la mayor proporción de emergencia de plántulas se presenta en verano tardío y otoño temprano

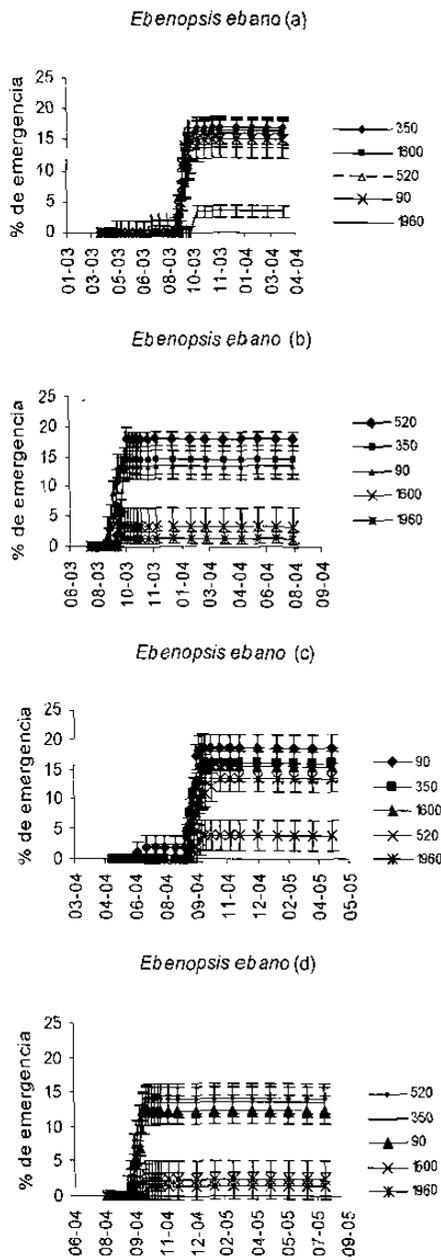


Fig. 17. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada para *Ebenopsis ebano*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de germinación acumulada, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

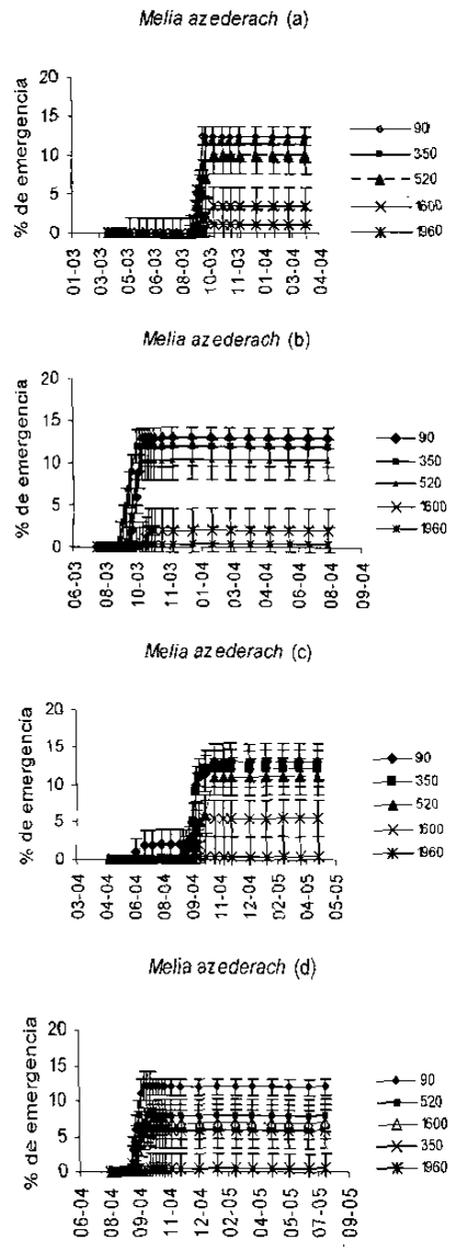


Fig. 18. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada para *Melia azederach*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de germinación acumulada, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Debido principalmente a que en esta temporada se presentan regularmente las precipitaciones en el noreste de México (Fig. 14 b), lo que concuerda con lo reportado por Smith *et al.* (2000), quien menciona que la cantidad de lluvias y duración determina la emergencia de plántulas. También coinciden con Collingham *et al.* (2000), quienes determinaron que la germinación está limitada por el agua aprovechable y la temperatura.

La germinación de semillas por encima de su área natural de distribución pudo ser favorecida por efectos del calentamiento global, como temperaturas más cálidas a 1600 m. Kullman (2002) menciona que los efectos del calentamiento global como son los inviernos suaves, favorecen el establecimiento de plantas. Sin embargo a 1960 m la germinación fue muy baja, debido probablemente a la inhibición de la germinación por bajas temperaturas (Thompson & Grime 1983; Hillhorst & Karssen 2000; Flores & Briones, 2001). Gamache & Payette (2005) mencionan que el establecimiento de plantas por semilla declina conforme aumenta la latitud a causa de las severas condiciones de exposición al viento.

### ***Supervivencia de plántulas***

En la Tabla VIII se presentan los números de plantas sobrevivientes cada temporada en las cinco altitudes estudiadas. La especie *Caesalpinia mexicana* presentó un porcentaje de supervivencia (%S) = 10.31%. Mientras que *Cordia boissieri* registró 15.85% de supervivencia. El porcentaje de supervivencia de *Ebenopsis ebano* fue de 14.31%. Finalmente, el porcentaje de supervivencia de *Melia azederach*, fue de un %S = 11.84%.

El ANOVA de dos factores para el porcentaje de supervivencia de plantas de *Caesalpinia mexicana*, *Ebenopsis ebano* y la especie

naturalizada *Melia azederach* mostró diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ;  $G.L. = 3$ ), siendo mayores los valores obtenidos en la primavera de 2004. También se encontraron diferencias entre altitudes ( $P < 0.001$ ;  $G.L. = 4$ ). No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la interacción altitud X temporada ( $P > 0.45$ ;  $G.L. = 12$ ), lo cuál significa que las diferencias de supervivencia de plantas se presentaron entre las temporadas y las altitudes.

**Tabla VIII:** Número de plantas sobrevivientes por especie y temporada en las cinco localidades estudiadas.

Especie	Número de plantas sobrevivientes				
	Primavera 2003	Otoño 2003	Primavera 2004	Otoño 2004	Total
<i>Caesalpinia mexicana</i>	14	10	38	8	70
<i>Cordia boissieri</i>	12	6	22	9	49
<i>Ebenopsis ebano</i>	16	10	33	7	66
<i>Melia azederach</i>	4	7	16	9	36
Total	46	33	109	33	221

Para *Cordia boissieri*, no se presentaron diferencias significativas de supervivencia de plántulas entre temporadas ( $P > 0.29$ ;  $G.L. = 3$ ), entre elevaciones ( $P < 0.001$ ;  $G.L. = 4$ ) existieron diferencias estadísticas significativas. La interacción altitud X temporada no mostró diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.17$ ;  $G.L. = 12$ ) lo que significa que las diferencias de supervivencia para esta especie se presentaron entre las elevaciones.

El porcentaje de supervivencia de plantas de *Caesalpinia mexicana* (Tabla IX, Figura 19 a-d) y de *Ebenopsis ebano* (Tabla IX, Figura 20 a-d) fue mayor en las cuatro primeras elevaciones (90, 350, 520 y 1,600 msnm) que en la elevación de 1,960 m. En cambio, la supervivencia de plantas de *Cordia boissieri* (Tabla IX, Figura 21 a-d) fue

mayor en la elevación intermedia y adyacente superior (520 y 1,600 msnm), con menores porcentajes de supervivencia a 90 y 350 m, y con mortalidad total en la mayor altitud. Por otra parte, *Melia azederach* (Tabla IX, Figura 22 a-d) presentó mayor supervivencia en las altitudes de 90, 350 y 520 m que en la altitud de 1,600 m. En la altitud de 1,960 m la supervivencia fue aún menor (Tabla IX, Figura 22 a-d).

**Tabla IX:** Porcentajes de supervivencia (mayores y menores) de plántulas de cuatro especies en cinco localidades de distinta altitud.

Altitud (m)	Porcentaje de supervivencia de plantas							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	15.5 a	2.1 b	10.0 ab	0.00 c	21.6 a	8.0 b	7.69 b	4.0 bc
350	21.9 a	7.6 ab	11.1 ab	3.57 b	28.1 a	8.3 b	8.33 b	4.1 bc
520	23.8 a	7.5 ab	34.5 a	8.00 ab	29.6 a	10.7 ab	31.8 a	1.2 bc
1600	22.7 a	0.0 c	40.7 a	22.7 a	22.5 a	0.0 c	54.5 a	14.3 ab
1960	0.0 c	0.0 c	0.00	0.00 c	12.5 b	0.0 c	0.0 c	0.0 c

Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Para las cuatro especies existió mayor supervivencia de plántulas de las semillas sembradas durante la primavera de 2004. La falta de humedad en el terreno en el verano, y la combinación de bajas temperaturas y carencia de humedad en invierno (Fig. 14 a-b), causaron la mortalidad de plántulas entre especies en las elevaciones. Según Clark *et al.* (1998) y Beckage & Clark (2005) las fluctuaciones anuales en el establecimiento y supervivencia de plantas pueden ser causadas por factores biológicos como caída, producción y depredación de semillas; o bien, por factores del clima como la falta de precipitaciones.

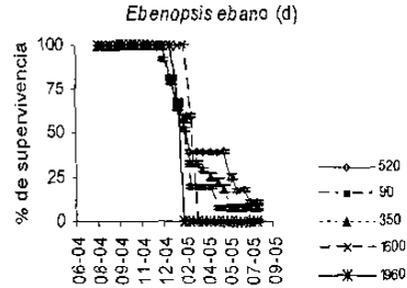
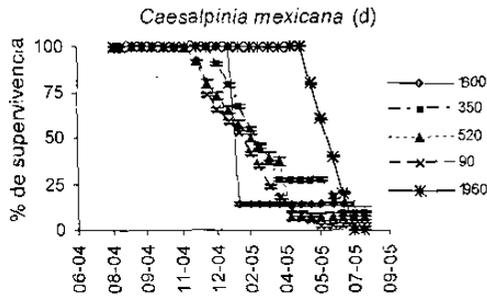
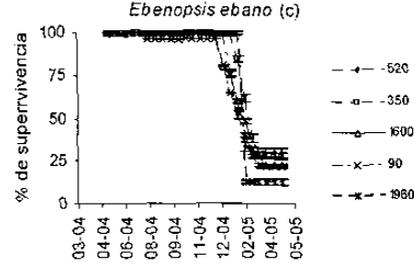
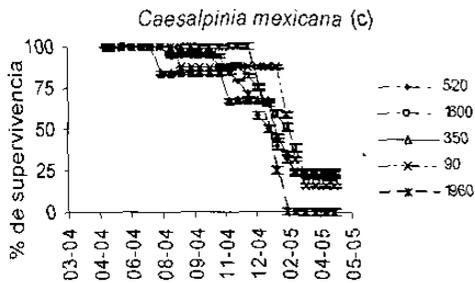
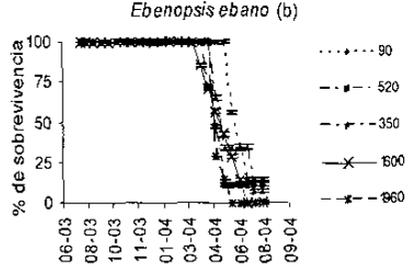
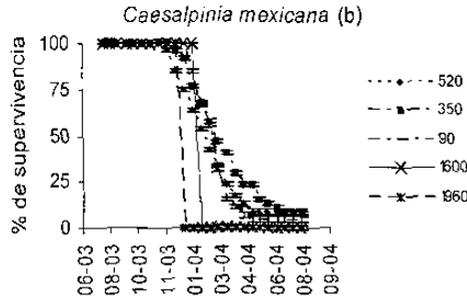
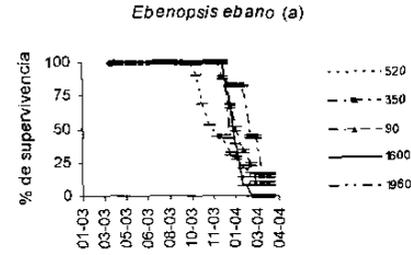
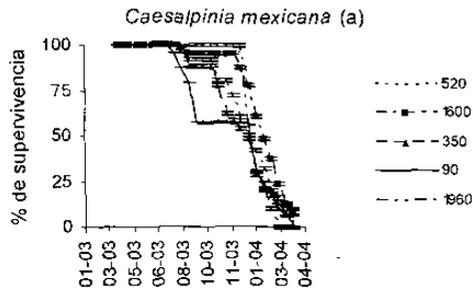


Fig. 19. Porcentaje de supervivencia de plantas para *Caesalpinia mexicana* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de supervivencia, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 20. Porcentaje de supervivencia de plantas para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje supervivencia, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

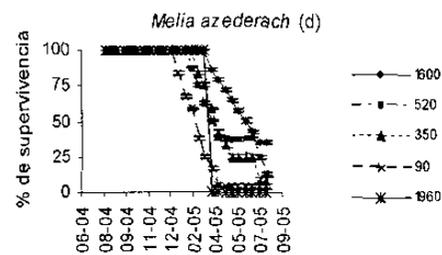
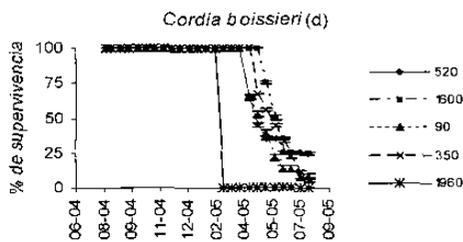
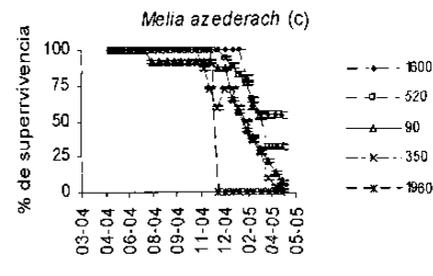
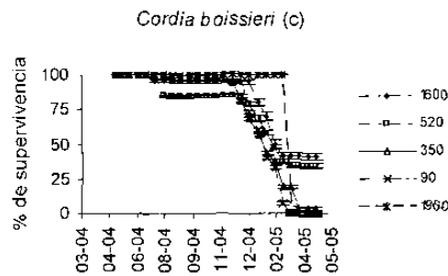
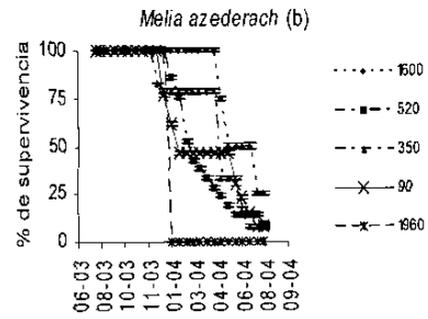
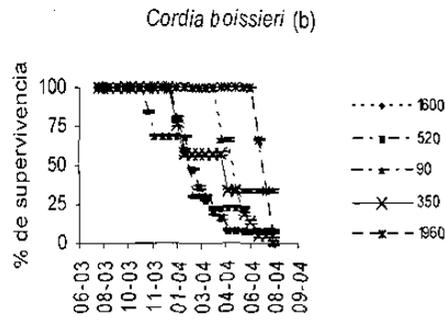
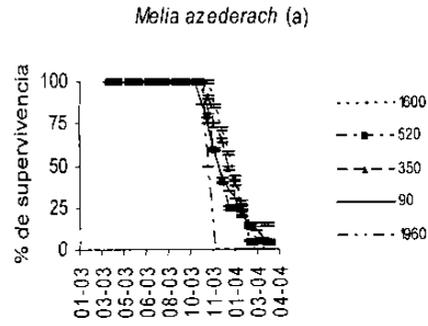
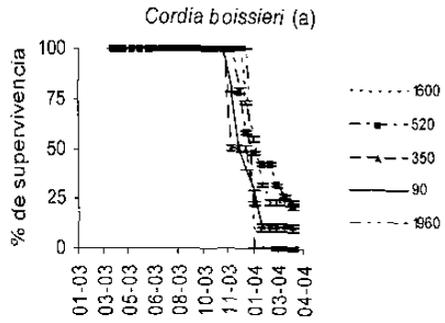


Fig. 21. Porcentaje de supervivencia de plantas para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de supervivencia, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 22. Porcentaje de supervivencia de plantas para *Melia azederach*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de supervivencia, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

### **Longitud de plantas (mm)**

El ANOVA de dos factores para longitud de plantas de cada una de las especies, mostró diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 3). También se encontraron diferencias entre altitudes ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción altitud X temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12), las diferencias entre los niveles de los factores altitud y temporada se muestran en la tabla X. Los valores más altos de longitud de plántulas se registraron cuando las semillas fueron sembradas en la primavera de 2004.

**Tabla X.** Promedios (mayores y menores) de longitud de plantas para cuatro especies en localidades de diferente altitud.

Altitud (m)	Promedios de longitud de plantas (mm)							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	147.5 a	19.8 c	18.9 b	0.00 d	98.3 a	9.9 bc	49.0 ab	15.3 bc
350	195.0 a	61.0 bc	20.1 b	8.70 bc	81.4 a	20.0 b	31.1 ab	14.3 bc
520	206.3 a	59.0 bc	46.5 ab	9.45 bc	78.5 a	36.5 ab	115.1 a	13.9 bc
1600	200.5 a	22.8 c	96.0 a	46.0 ab	67.8 a	0.00 d	78.2 a	10.0 bc
1960	0.0	0.0	0.00	0.00	10.0 bc	0.00	0.00	0.00

Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

El crecimiento de *Caesalpinia mexicana* (Tabla X, Figura 23 a-d) y de *Ebenopsis ebano* (Tabla X, Figura 24 a-d) fue mayor en las cuatro primeras elevaciones (90, 350, 520 y 1,600 msnm) que en la elevación superior (1,960 m). En cambio, el crecimiento de *Cordia boissieri* (Tabla X, Figura 25 a-d) fue mayor a 1600 msnm, con menores promedios de crecimientos a 90, 350 y 520 m; sin embargo, el menor crecimiento se obtuvo también en la mayor altitud.

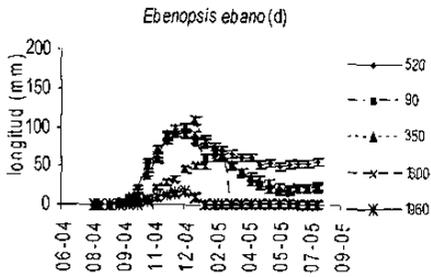
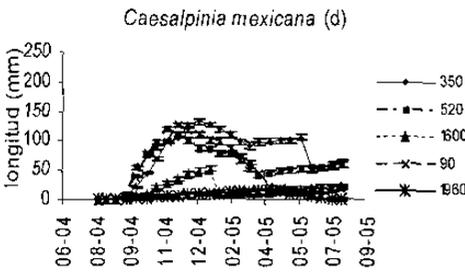
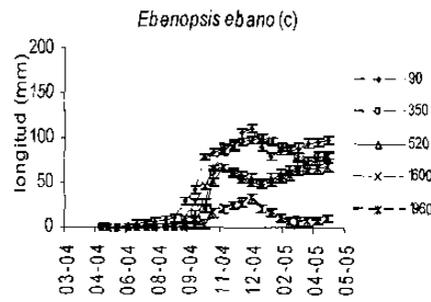
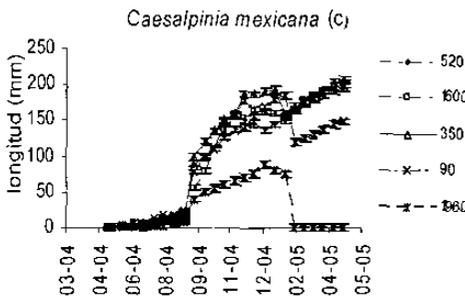
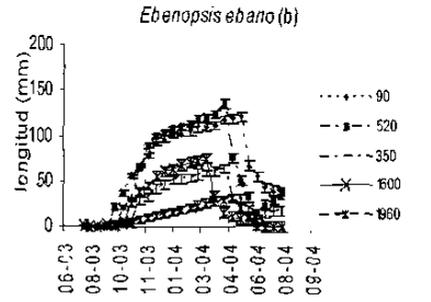
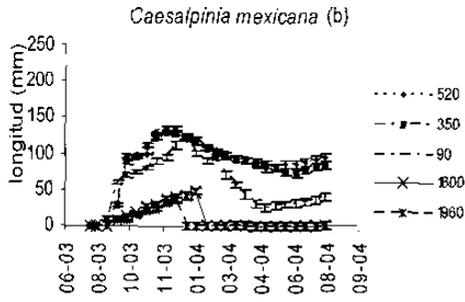
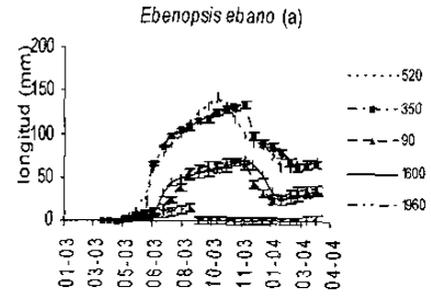
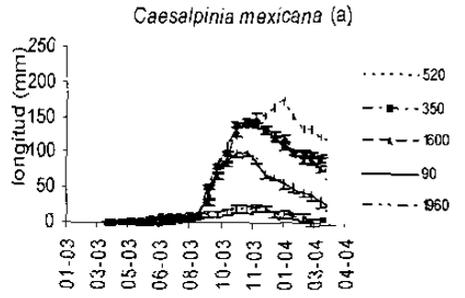


Fig. 23. Promedio de altura de plantas (mm) para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de longitud en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 24. Promedio de altura de plantas (mm) para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de longitud en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

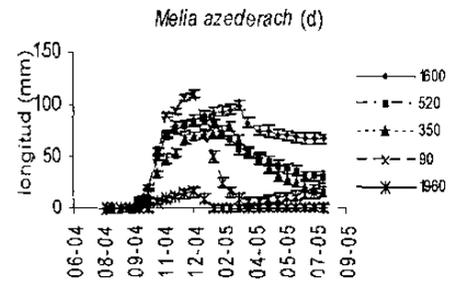
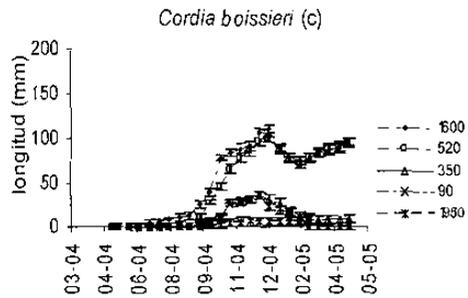
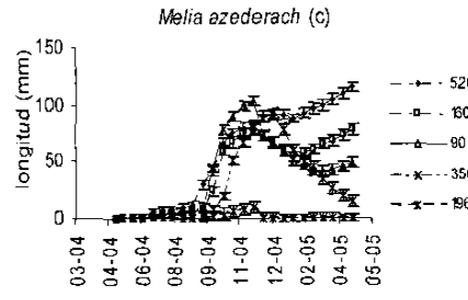
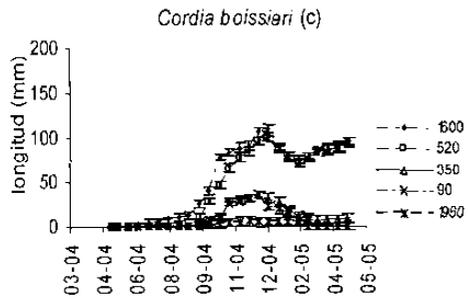
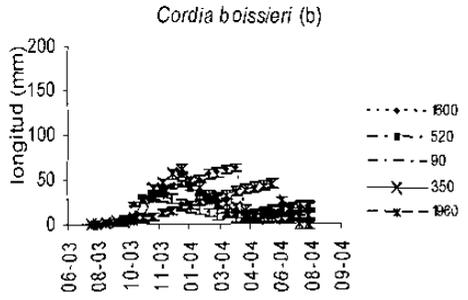
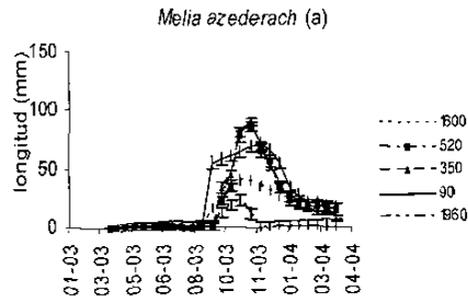
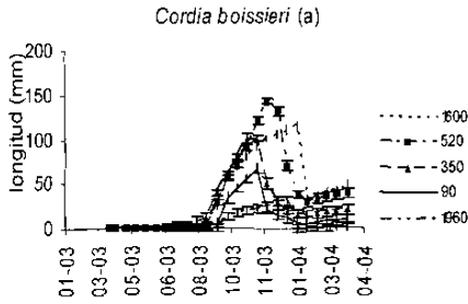


Fig. 25. Promedio de altura de plantas (mm) para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de longitud en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 26. Promedio de altura de plantas (mm) para *Melia azederach*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de longitud en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Por otra parte, *Melia azederach* presentó mayor crecimiento en las altitudes de 350, 520 y 1,600 m que en la altitud de 90 m. En la altitud de 1,960 m el crecimiento fue aún menor (Tabla X, Figura 26 a-d).

El crecimiento de plantas en las elevaciones se presentó principalmente debido a las lluvias de temporada (Figura 1 a-b) en las áreas de distribución de las especies (90, 350 y 520 m) y por encima (a 1600 m). De acuerdo a Kuokkanen *et al.* (2004), las altas temperaturas asociadas al calentamiento global, pueden incrementar la altura y biomasa de los brotes de las plantas.

### Número de hojas

El ANOVA de dos factores para el número de hojas de las especies nativas mostró diferencias estadísticas significativas entre temporadas ( $P < 0.001$ ; G.L. = 3), entre altitudes ( $P < 0.001$ ; G.L. = 4) y en la interacción entre los factores altitud y temporada ( $P < 0.001$ ; G.L. = 12). Las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey muestran las diferencias entre los factores (Tabla XI).

**Tabla XI.** Número de hojas promedio de plantas para cuatro especies en diferentes altitudes.

Altitud (m)	Número de hojas							
	<i>Caesalpinia mexicana</i>		<i>Cordia boissieri</i>		<i>Ebenopsis ebano</i>		<i>Melia azederach</i>	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
90	19.5 ab	2.8 c	1.9 ab	0.0 c	20.0 a	4.0 ab	8.1 ab	3.1 bc
350	11.4 ab	9.7 bc	2.0 ab	0.9 b	18.9 a	4.4 ab	6.2 ab	2.5 bc
520	31.3 a	11.7 bc	10.8 a	2.2 ab	18.0 a	6.2 ab	16.0 a	5.7 ab
1600	35.5 a	0.0 d	11.5 a	1.2 bc	14.6 a	0.0 c	18.8 a	3.5 bc
1960	0.0 d	0.0 d	0.0 c	0.0 c	1.9 b	0.0 c	0.0 d	0.0 d

Letras distintas indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

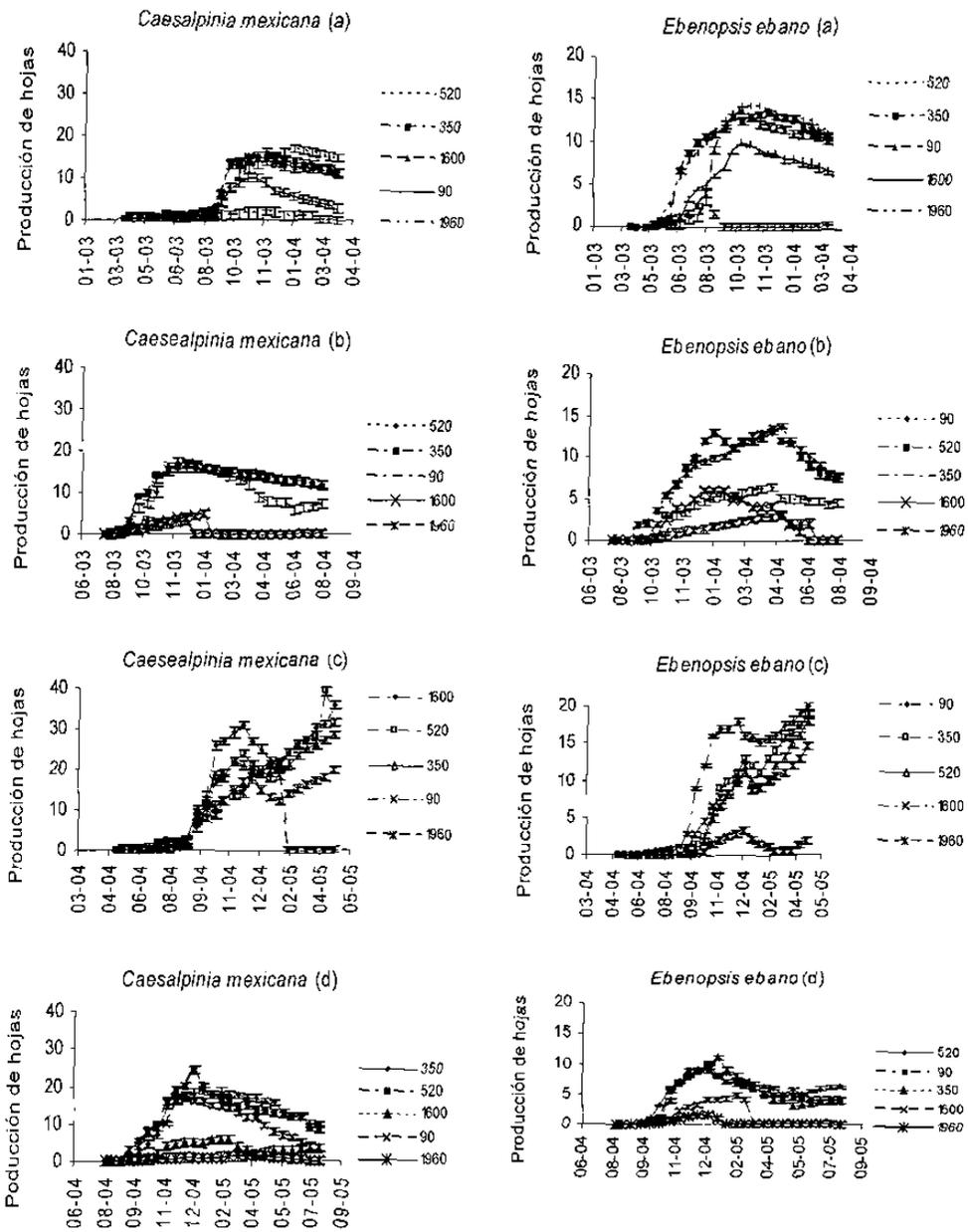


Fig. 27. Número de hojas para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 28. Número de hojas para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Para *Melia azederach* se encontraron diferencias significativas entre altitudes ( $P < 0.001$ ;  $G.L. = 4$ ), pero no entre temporadas ( $P > 0.21$ ;

G.L. = 3), ni en la interacción altitud X temporada ( $P > 0.21$ ; G.L. = 12). La diferencia entre los niveles del factor altitud se muestran en la tabla XI.

Para *Caesalpinia mexicana* (Tabla XI, Figura 27 a-d), *Cordia boissieri* (Tabla XI, Figura 29 a-d) y *Melia azederach* (Tabla XI, Figura 30 a-d) se registró mayor producción de hojas a 520 y 1,600 m que en altitudes de 350 y 90 m, y el número de hojas más bajo se obtuvo a 1,960 m. En el caso de *Ebenopsis ebano*, su producción de hojas fue mayor a 90, 350, 520 y 1600 m que a 1960 m (Tabla XI, Figura 28 a-d).

La producción de hojas de las cuatro especies fue estimulada principalmente por las lluvias de temporada (Fig. 1 a-b) y altas temperaturas. Los estudios de Volder *et al.* (2004) y Usami *et al.* (2001) reportaron mayor crecimiento en hojas por incremento de CO<sub>2</sub> y temperatura. Sin embargo, otros estudios mencionan que a largo plazo la competencia y persistencia de estas condiciones pueden modificar esta tendencia (Lilley *et al.* 2001). Debido a que las formas de vida de las especies no responden de igual manera a los incrementos de temperatura. Como lo muestra el estudio de Loik *et al.* (2000), quien encontró mayor crecimiento en biomasa de la especie arbustiva *Artemisia tridentata* comparada con la especie herbácea *Erigeron speciosus*, como respuesta a altas temperaturas.

### **Comparación entre especies y entre elevaciones**

Las especies nativas presentaron altos valores de emergencia de plántulas en las altitudes de 90, 350, 520 y 1600 m. La especie naturalizada *Melia azederach* presentó altos promedios (altitudes de 90, 350 y 520 m) y la más baja emergencia de plántulas a 1600 m. Debido probablemente a las diferencias de esta especie exótica con las

especies nativas, lo que coincide con lo reportado por Davis (1986), y Callaghan & Jonasson (1995), quienes mencionan que no todas las especies pueden responder igualmente a los efectos del calentamiento global. Los altos porcentajes de germinación a 1600 m de las especies nativas sugieren que el desplazamiento de las especies nativas hacia mayores elevaciones es probable. Estos resultados coinciden con lo reportado en investigaciones realizadas en el Norte de América y Europa, en donde encontraron un desplazamiento altitudinal de plantas a mayores elevaciones de las previamente detectadas (Hofgaard 1997, Luckman & Kavanagh 2000, Molau & Larsson 2000). De acuerdo a Hanley & Fenner (1997) algunos factores que pueden limitar la colonización hacia mayores altitudes en escenarios de calentamiento global pueden ser las diferencias entre especies para abastecerse de nutrientes. En contraste Cullen *et al.* (2001) menciona que el reclutamiento de árboles *Nothofagus* hacia mayores elevaciones requiere principalmente de áreas con disturbio y un dosel abierto más que de altas temperaturas.

Las especies *Caesalpinia Mexicana* y *Ebenopsis ebano* presentaron mayores porcentajes de supervivencia de plántulas en las altitudes de 90, 350, 520 y 1600 m. Para *Cordia boissieri* y *Melia azederach*, la supervivencia de plántulas fue más alta a 520 y 1600 msnm. Las diferencias de supervivencias entre especies pudiera deberse a diferencias de los efectos de la temperatura entre especies. De acuerdo a Morison & Lawlor (1999) las fluctuaciones de temperatura pueden tener diferentes impactos en la supervivencia de plantas entre especies. Por otra parte Lloret *et al.* (2004) mencionan que en escenarios del calentamiento global las especies con bajo reclutamiento de plantas como las del presente estudio serán más susceptibles a desaparecer por efectos de la sequía.

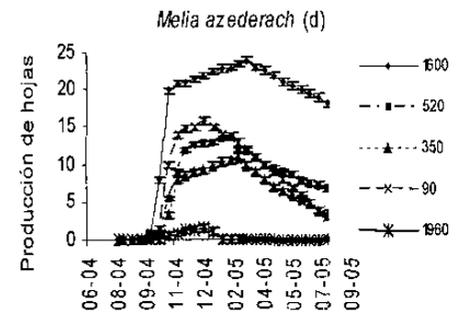
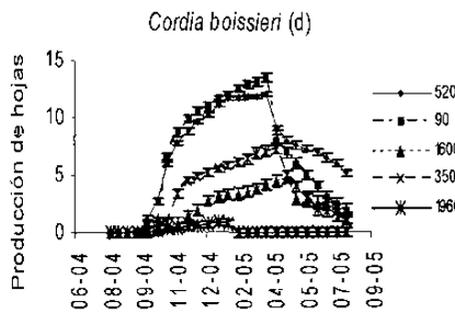
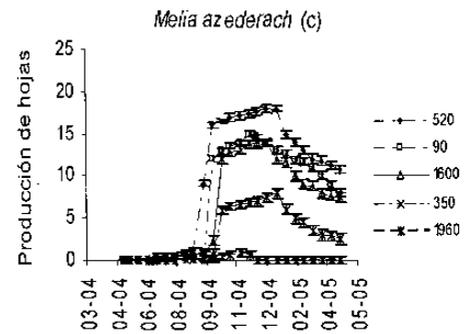
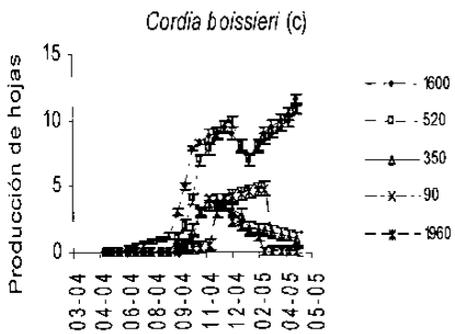
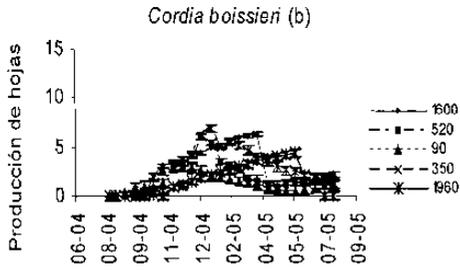
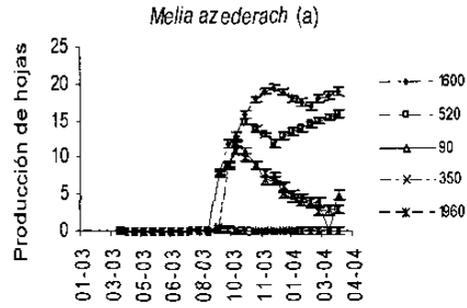
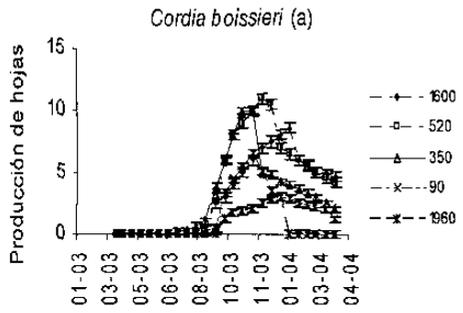


Fig. 29. Número de hojas para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig. 30. Número de hojas para *Melia azederach*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

Las especies *Caesalpinia mexicana* y *Ebenopsis ebano* presentaron mayor longitud de plántulas en las altitudes de 90, 350, 520 y 1600 m. Para *Cordia boissieri* la mejor elevación estuvo a 1600 m, y *Melia azederach* presentó mayor crecimiento a 350, 520 y 1600 msnm. Las cuatro especies presentaron alta longitud de plántulas a 1600 m. Rawson (1988) menciona que a temperaturas templadas el crecimiento de las plantas puede incrementarse debido a una continua asimilación de abastecimiento, lo que pudiera explicar el incremento en la longitud de plantas a 1600 m. En contraste, Saebø & Mortensen (1995) reportaron que no existió incremento en la biomasa de gramíneas herbáceas en temperaturas templadas con incrementos de CO<sub>2</sub>. Mortensen (1997) no reportó diferencias de crecimiento en la respuesta de tres especies (*Phleum pratense*, *Lolium perenne* y *Festuca pratensis*) a elevados niveles de CO<sub>2</sub> y temperaturas templadas; sin embargo, ambos experimentos fueron realizados bajo condiciones controladas.

Las especies *Caesalpinia mexicana*, *Cordia boissieri* y *Melia azederach* presentaron mayor producción de hojas en las altitudes de 520 y 1600 m. *Ebenopsis ebano* mostró mayor producción de hojas en cuatro altitudes (90, 350, 520 y 1600 msnm). La mayor producción de hojas registrada a 520 y 1600 m, fue debido probablemente a mejores tasas de asimilación de nutrientes de las hojas en estas elevaciones. Al respecto, estudios de interacción entre temperatura e incrementos de CO<sub>2</sub> realizados por Ziska & Bunce (1997) y Ghannoum *et al.* (1997), reportaron incrementos en la biomasa de las hojas de *Panicum antidotale* y *Amaranthus retroflexus*. A mayores latitudes en ecosistemas alpinos, Klanderud & Totland (2005), reportaron un aumento en la producción de hojas debido a incrementos de temperatura por remoción de vegetación vecina.

## Conclusiones

Para las tres especies nativas los mayores porcentajes de emergencia de plántulas se presentaron en su área de distribución natural (altitudes de 90, 350 y 520 m) y también por encima de ésta a 1600 m. Para *Melia azederach* los más altos porcentajes de emergencia de plántulas se registraron a 90, 350 y 520 msnm. Los menores porcentajes de emergencia de plántulas para todas las especies se registraron a 1960 m.

En general, la emergencia de plántulas de las cuatro especies se presentó en verano y otoño temprano, la mejor temporada de emergencia de plantas la presentaron las semillas que fueron sembradas durante la primavera de 2004, cuyas semillas registraron la mayor emergencia en verano y otoño temprano.

La supervivencia de plántulas de *Caesalpinia mexicana* y *Ebenopsis ebano* fue mayor a 90, 350, 520 y 1,600 msnm. Las especies *Cordia boissieri* y *Melia azederach* presentaron mayor supervivencia de plantas a 520 y 1,600 msnm.

El crecimiento de plántulas y la producción de hojas fueron en general mayores en las elevaciones con mayor porcentaje de supervivencia de plantas.

Los bajos porcentajes de germinación registrados y la alta mortalidad de plantas del presente estudio sugieren que no es recomendable plantaciones por semillas sembradas directamente en el suelo, en las cinco elevaciones estudiadas.

**Capítulo IV**  
**Emergencia y supervivencia de plántulas bajo tres especies nativas**  
**del matorral tamaulipeco en el noreste de México**

## Resumen

Se examinó la emergencia y supervivencia de plántulas de tres grupos funcionales de plantas (leñosas, gramíneas y otras herbáceas) bajo la cobertura de tres especies nativas del noreste de México, en cuatro elevaciones, con el fin de evaluar el papel que juegan las plantas nodriza en el establecimiento de plántulas. Las especies nativas evaluadas como plantas nodriza fueron: *Caesalpinia mexicana* Gray (árbol del potro); *Cordia boissieri* A. DC (anacahuita) y *Ebenopsis ebano* (Berl.) Barneby I J.W. Grimes (ebano). Las elevaciones en los que se realizaron los experimentos son 90, 350, 540 y 670 msnm. Bajo *Ebenopsis ebano* se registraron altos promedios de emergencia de plántulas de gramíneas, herbáceas y leñosas en las altitudes de 90, 350 y 540 m. *Cordia boissieri* mostró altos promedios de emergencia de plántulas de gramíneas (altitudes 90, 350 y 540 m) y leñosas (altitudes 90, 350, 540 y 670 m). Los menores promedios de emergencia y supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas se presentaron bajo *Caesalpinia mexicana*. Las plántulas de gramíneas y herbáceas emergieron en primavera, en verano y otoño temprano; las leñosas emergieron en mayor proporción en verano y otoño temprano. Bajo la cobertura de *Ebenopsis ebano* se registraron altos valores de supervivencia de plántulas de gramíneas, herbáceas y leñosas a 90, 350 y 540 msnm. *Cordia boissieri* mostró altos valores de supervivencia de plántulas herbáceas y leñosas a 350, 540 y 670 msnm. En las cuatro elevaciones, las temporadas críticas para la supervivencia de los tres grupos de plantas, se presentaron a lo largo del verano y en invierno.

Palabras clave: elevaciones, germinación, grupos funcionales, plantas nodrizas