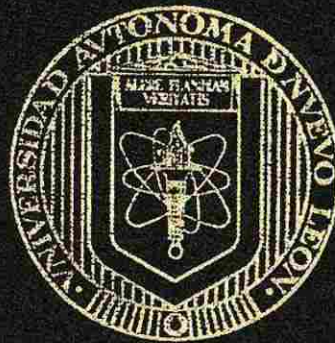


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



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

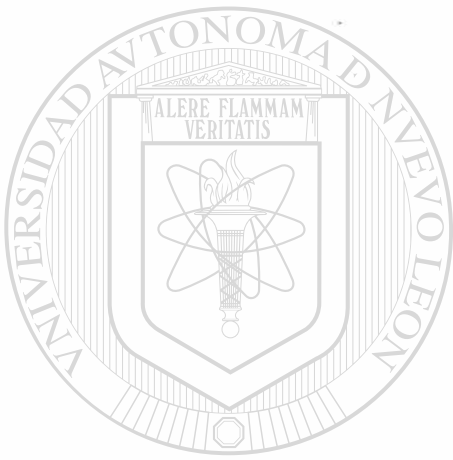
TD
Z5991
FCF
2006
. G364

2006

M.C. JAIMIE FRANCISCO GARCIA PEREZ



1020154800

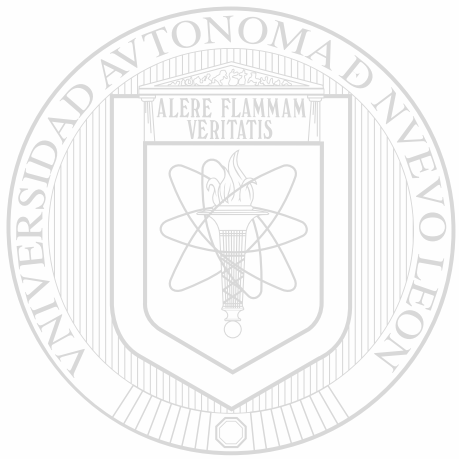


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

m

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

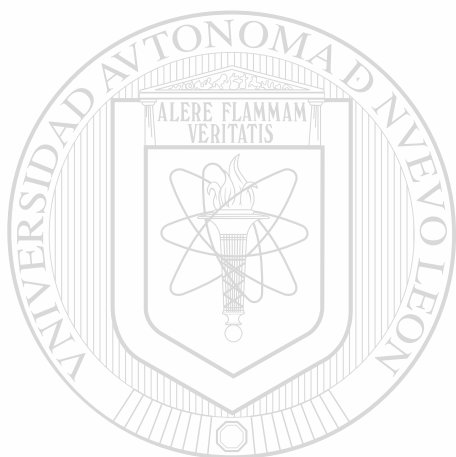
Noviembre de 2006

1022190

TD
ZS991
FCF
2006
.G364



FONDO
TESIS



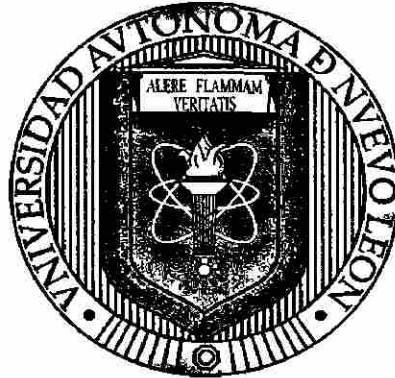
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Como requisito parcial para obtener el grado de

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
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

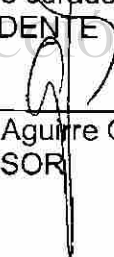
DOCTOR EN CIENCIAS

Con especialidad en Manejo de Recursos Naturales

COMITÉ DE TESIS


Dr. Enrique Jurado Ybarra
PRESIDENTE


Dr. Eduardo Estrada Castellón
ASESOR


Dr. Oscar Aguirre Calderón
ASESOR

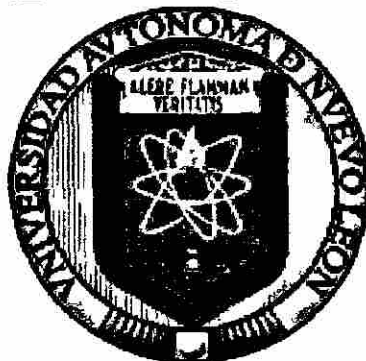

Dr. Javier Jiménez Pérez
ASESOR


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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

COMITÉ DE TESIS


Dr. Enrique Jurado Ybarra
PRESIDENTE


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. Luis 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 Tanguama Tamaulipas, en Iturbide y en Galeana Nuevo León, una verdadera naturalista fue mi suegra..

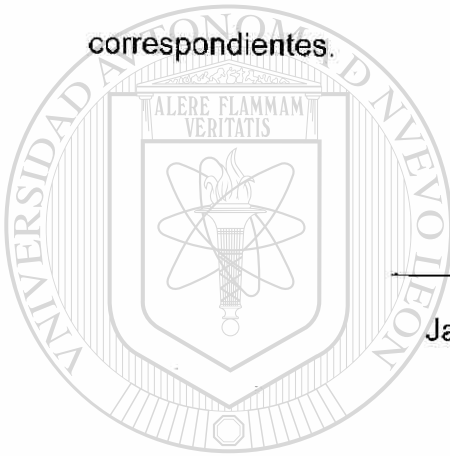
A mis hijos Michel, Hilda y Jaimito por su comprensión por mis constantes ausencias físicas y sobre todo mis ausencias mentales.

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

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Índice

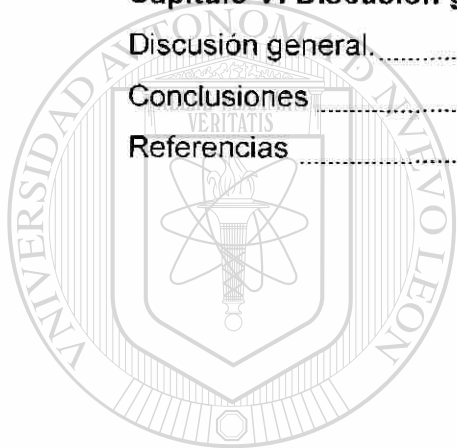
	Página
Prólogo	i
Resumen	iii
Summary	vi
Capítulo I: Introducción general sobre el cambio climático	1
Meta, Hipótesis y Preguntas	6
Capítulo II. Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación	10
Resumen	11
Abstract	12
Introducción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

Capitulo IV: Emergencia y supervivencia de plántulas bajo tres especies nativas del matorral tamaulipeco en el noreste de

México	60
Resumen	61
Introducción	62
Objetivos	63
Métodos	64
Resultados y discusión	66
Conclusiones	85

Capitulo V: Discusión general y conclusiones

Discusión general	87
Conclusiones	96
Referencias	101



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

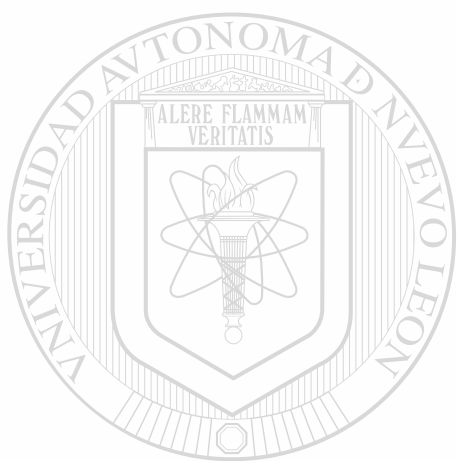
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Lista de Figuras

	Página
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
<hr/>	
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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Prólogo

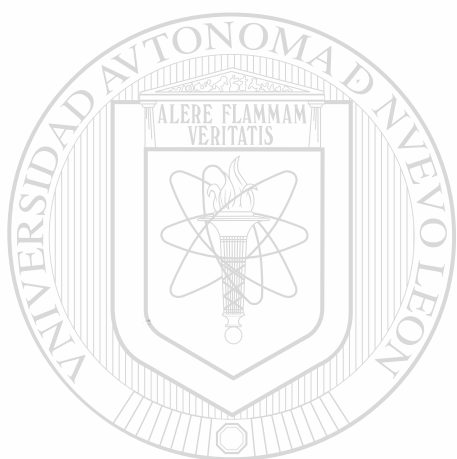
El presente trabajo consta de cinco capítulos y estudia la influencia de la altitud en la germinación, establecimiento y sobrevivencia de plántulas nativas de matorral en el noreste de México. El primer capítulo contiene una introducción general acerca del cambio climático y de sus impactos en los seres 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.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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 m². 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

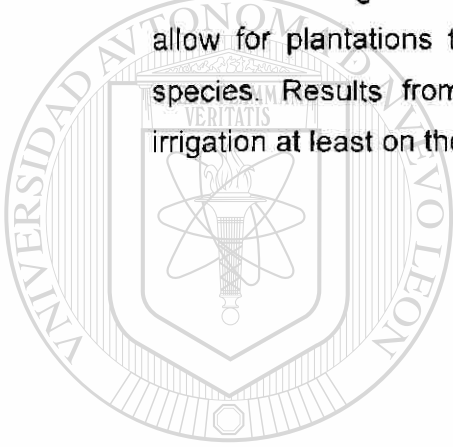
The potential upslope movement of plant species according to climate change predictions was explored. On one experiment seed germination and seedling growth of four species was carried out on an elevation gradient ranging from 90 to 1960 m above sea level. Species used were *Cordia boissieri*, *Ebenopsis 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 m². 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.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo I

Introducción general sobre el cambio climático

Una consecuencia del incremento de la concentración de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ atmosférico (Fischer *et al.* 1997), debido principalmente a que la respuesta de las plantas al incremento de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ atmosférico responden con aumento en crecimiento y reproducción

(Bazzas 1990; Tischler *et al.* 2000). Sin embargo las altas concentraciones de CO₂, 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 CO₂ 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* (C₃) y *Amaranthus retroflexus* (C₄) al enriquecimiento de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ en comunidades con gran cantidad de especies, se ha reportado que a largo plazo puede existir una relación entre el aumento del CO₂ 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

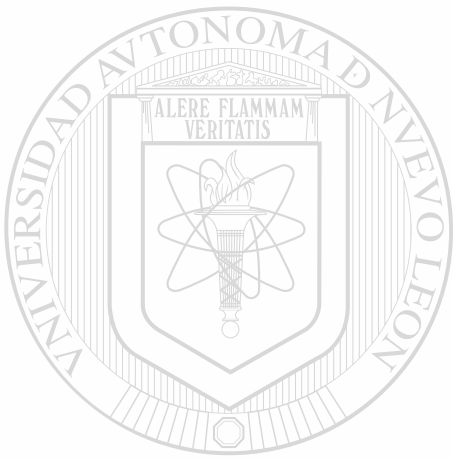
Bajo *Ebenopsis ebano* la emergencia y supervivencia de plántulas, leñosas, gramíneas y otras herbáceas, en las cuatro elevaciones estudiadas será mayor que bajo *Caesalpinia mexicana* y *Cordia boissieri*.

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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 km²) 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

Sitios 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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				
	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	Total
	2003	2003	2004	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).

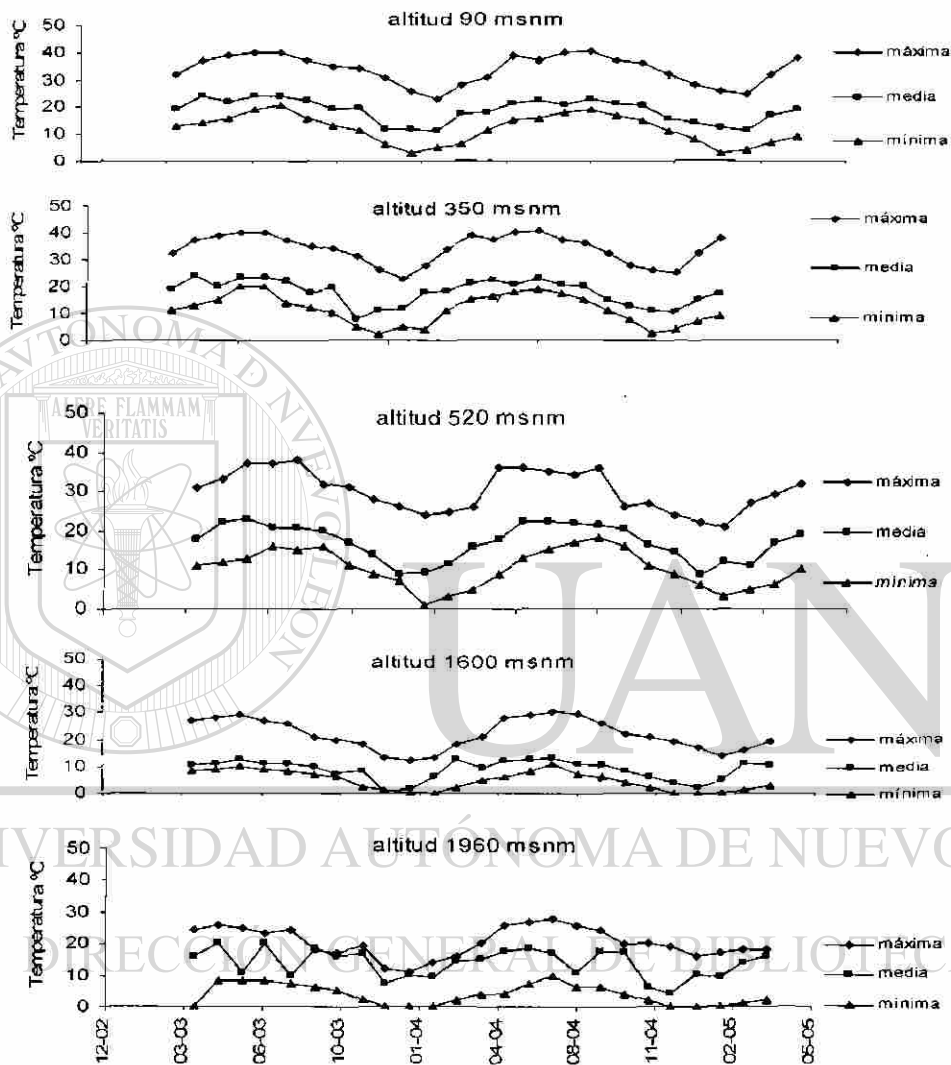


Fig. 1. Temperaturas máximas, medias y mínimas, que se presentaron de abril de 2003 a abril de 2005, en cinco altitudes (90-1960 m) en el noreste de México. Los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

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 CO₂, 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.

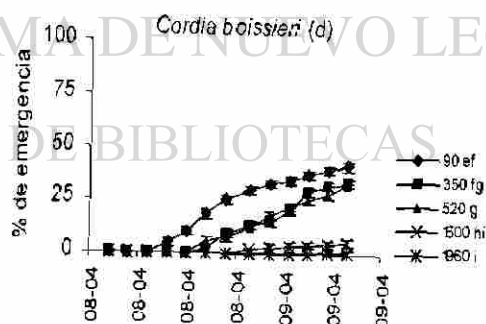
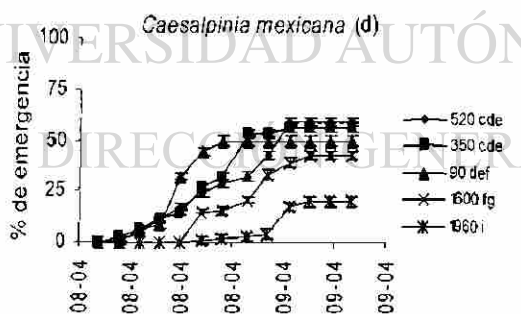
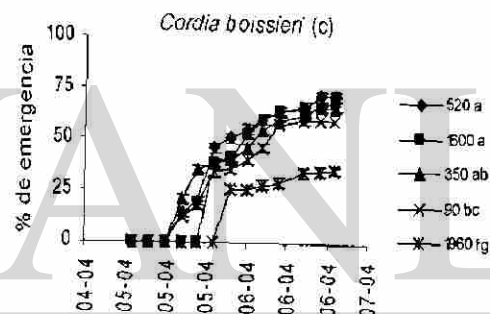
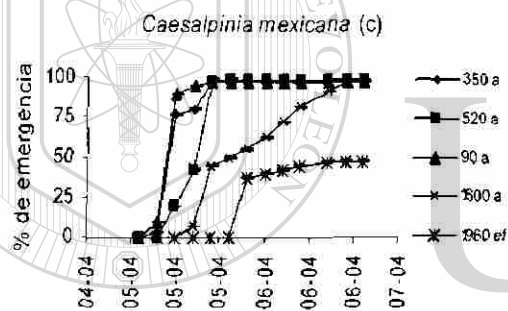
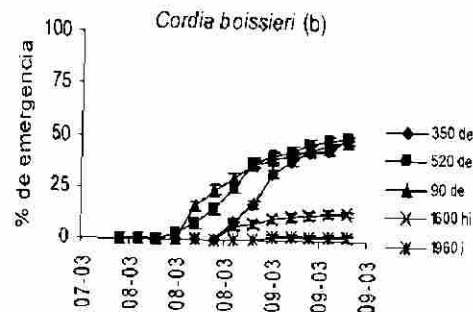
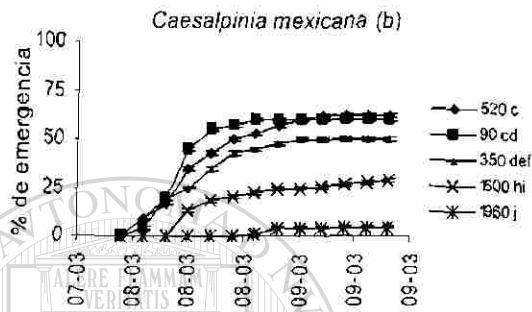
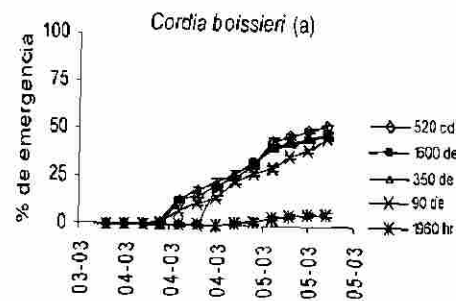
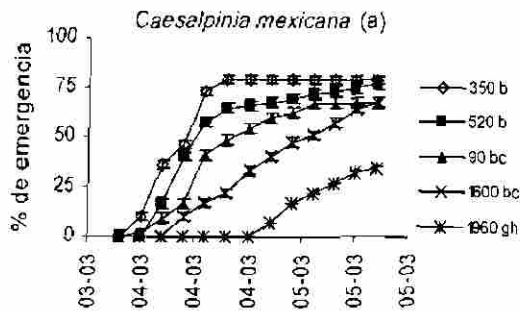


Fig. 2. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, a los 45 días para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican 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 ($\alpha = 0.05$).

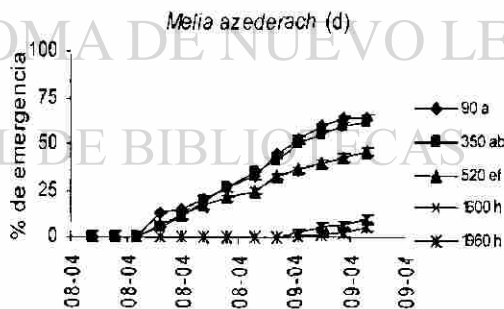
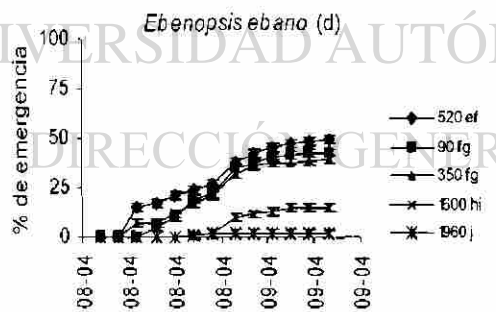
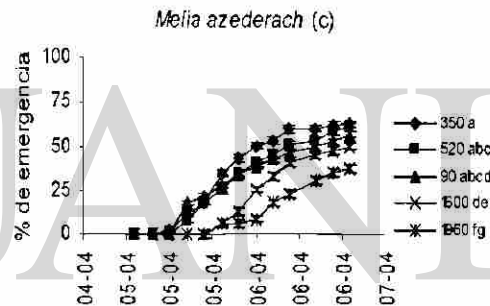
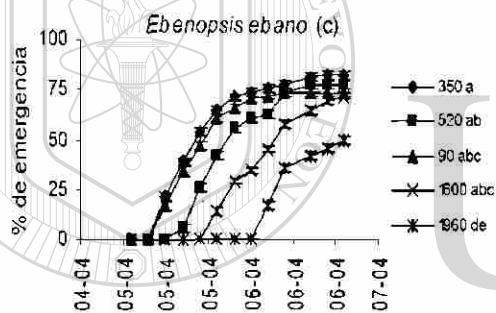
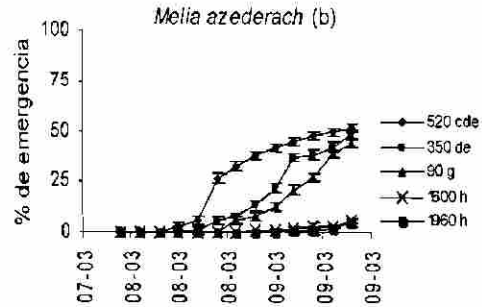
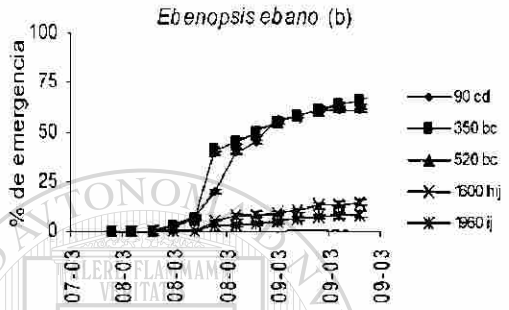
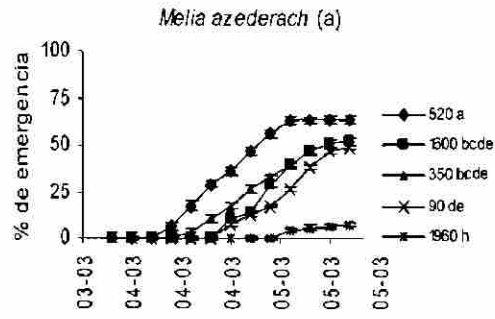
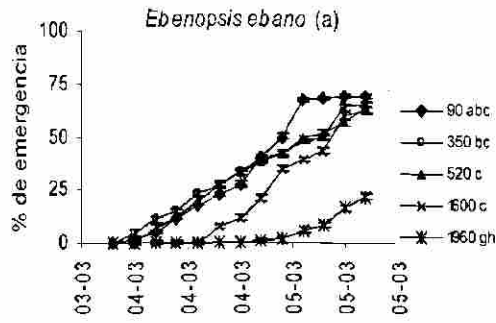


Fig. 4. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada, a los 45 días para *Ebenopsis ebano*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican 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).

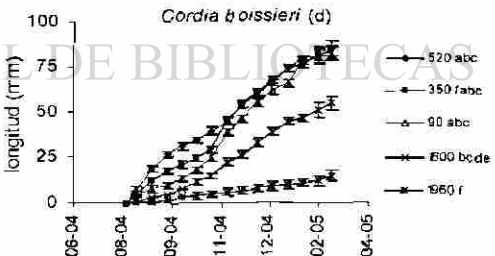
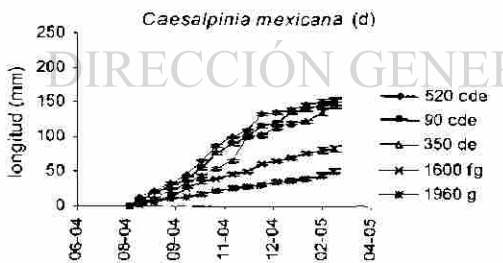
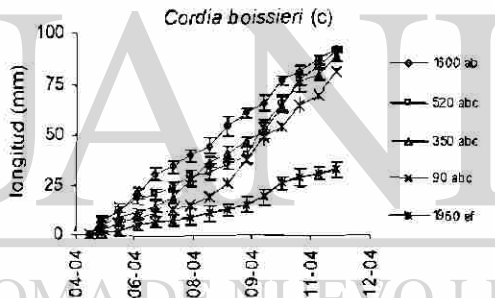
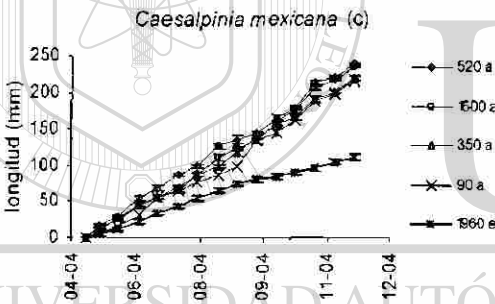
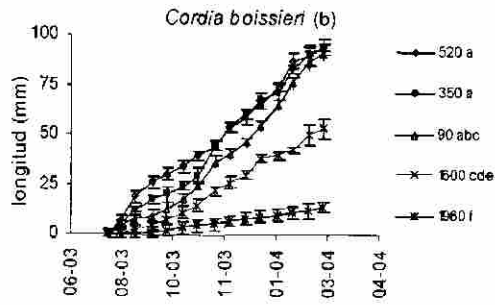
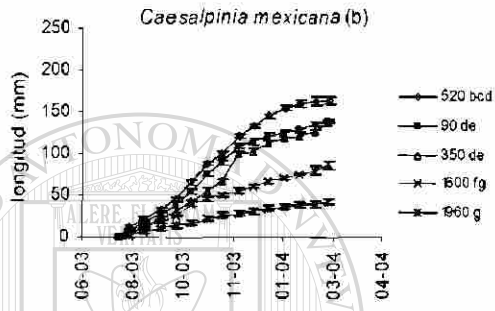
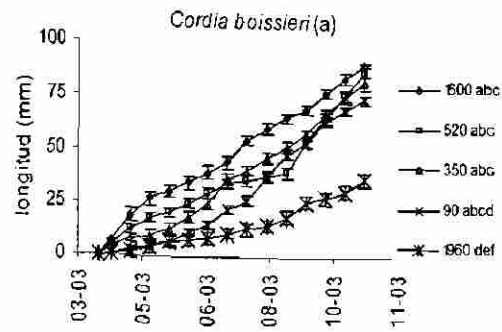
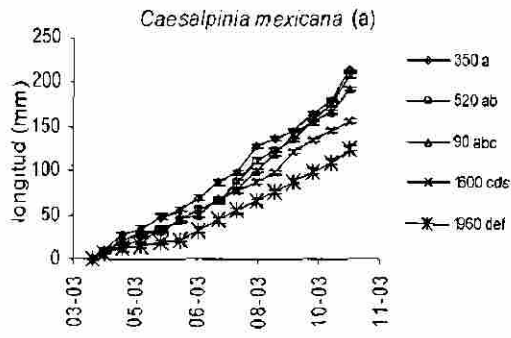


Fig. 6. Longitud de plantas (mm) para *Caesalpinia mexicana* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo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

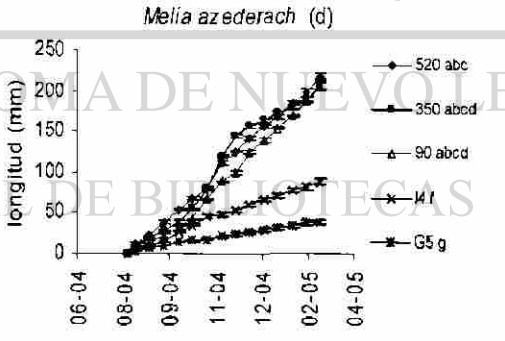
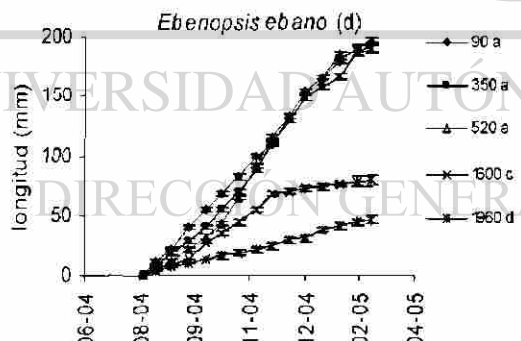
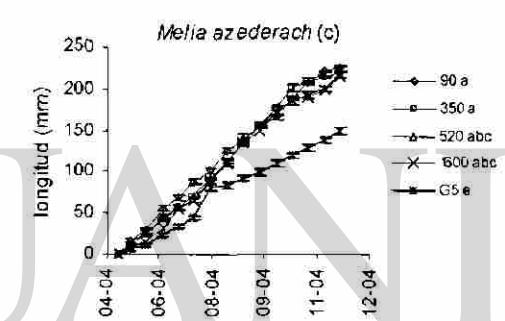
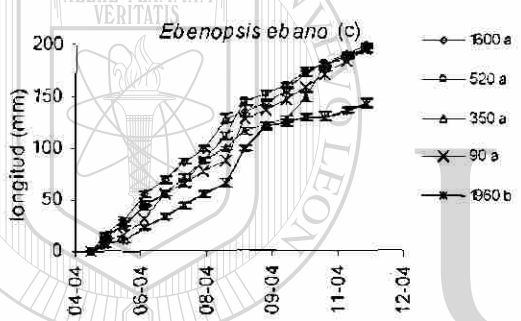
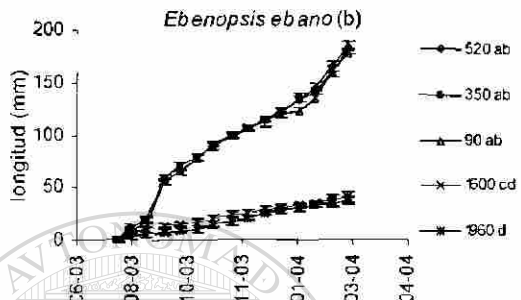
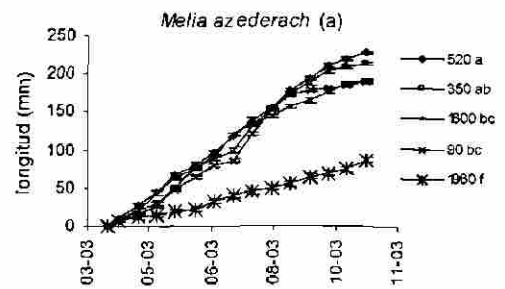
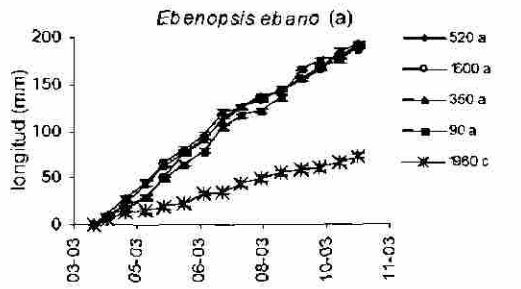


Fig. 8. Longitud de plantas (mm) para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas 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).

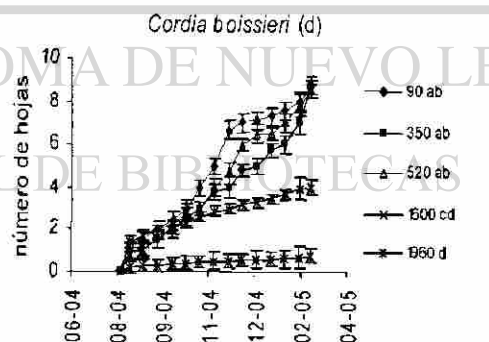
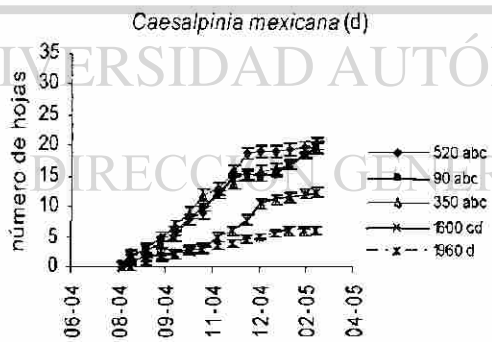
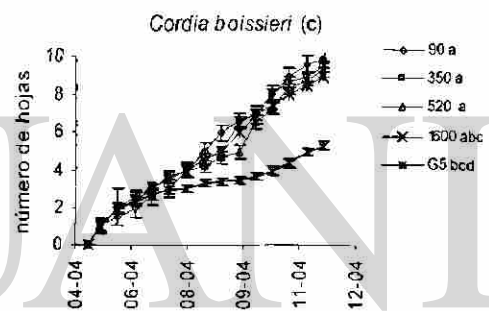
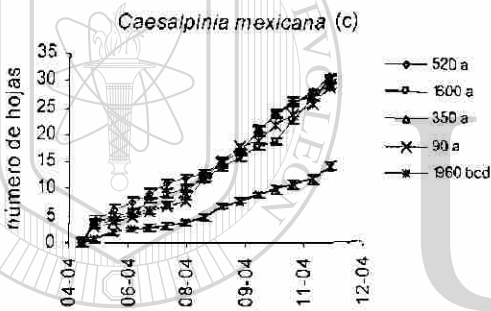
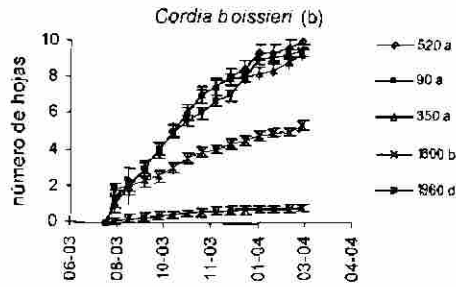
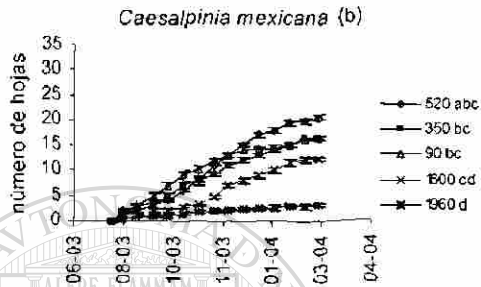
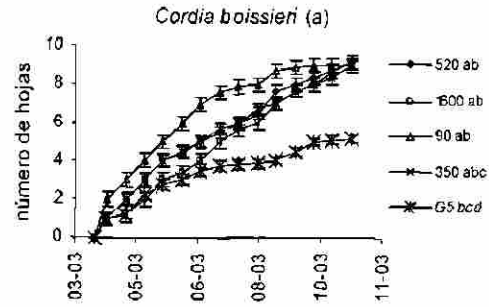
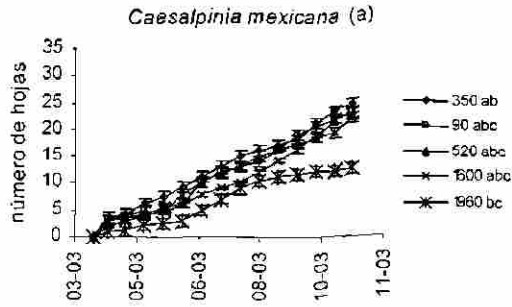


Fig. 10. Producción de hojas para *Caesalpinia mexicana* por cuatro temporadas de crecimiento (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa,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

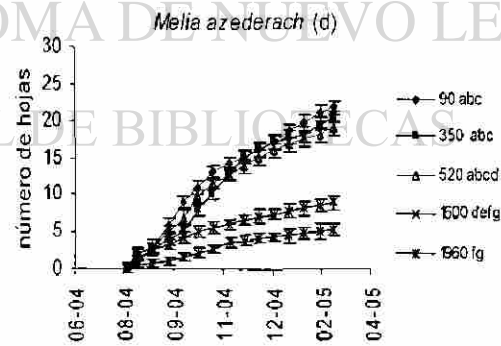
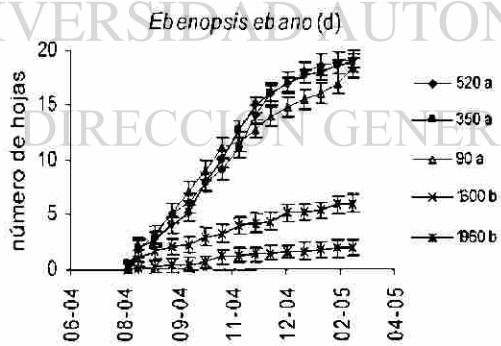
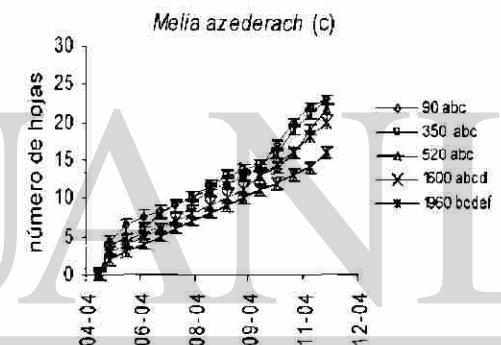
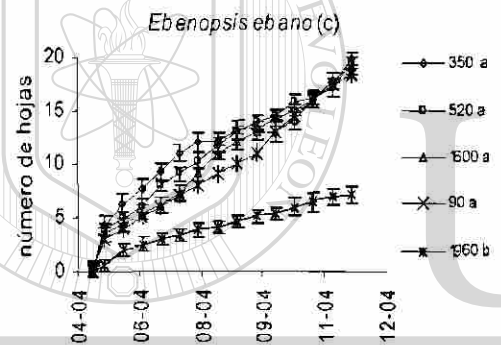
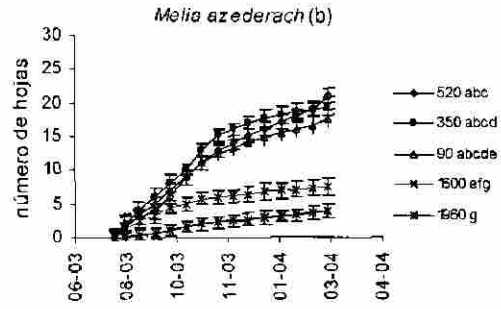
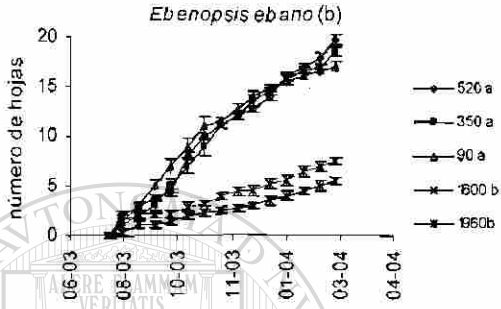
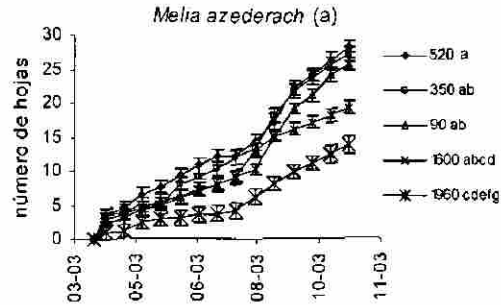
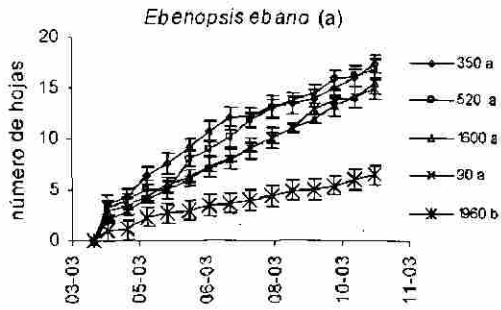


Fig. 12. Producción de hojas para *Ebenopsis ebano* por cuatro temporadas (a-d) en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en seis repeticiones de 20 semillas por repetición. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, de acuerdo a pruebas 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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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 m², 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 CO₂ atmosférico y demás gases de invernadero, y con ello un incremento en el promedio de temperatura en el mundo (Bazzaz 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 CO₂ 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 m². 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 ($\alpha = 0.05$).

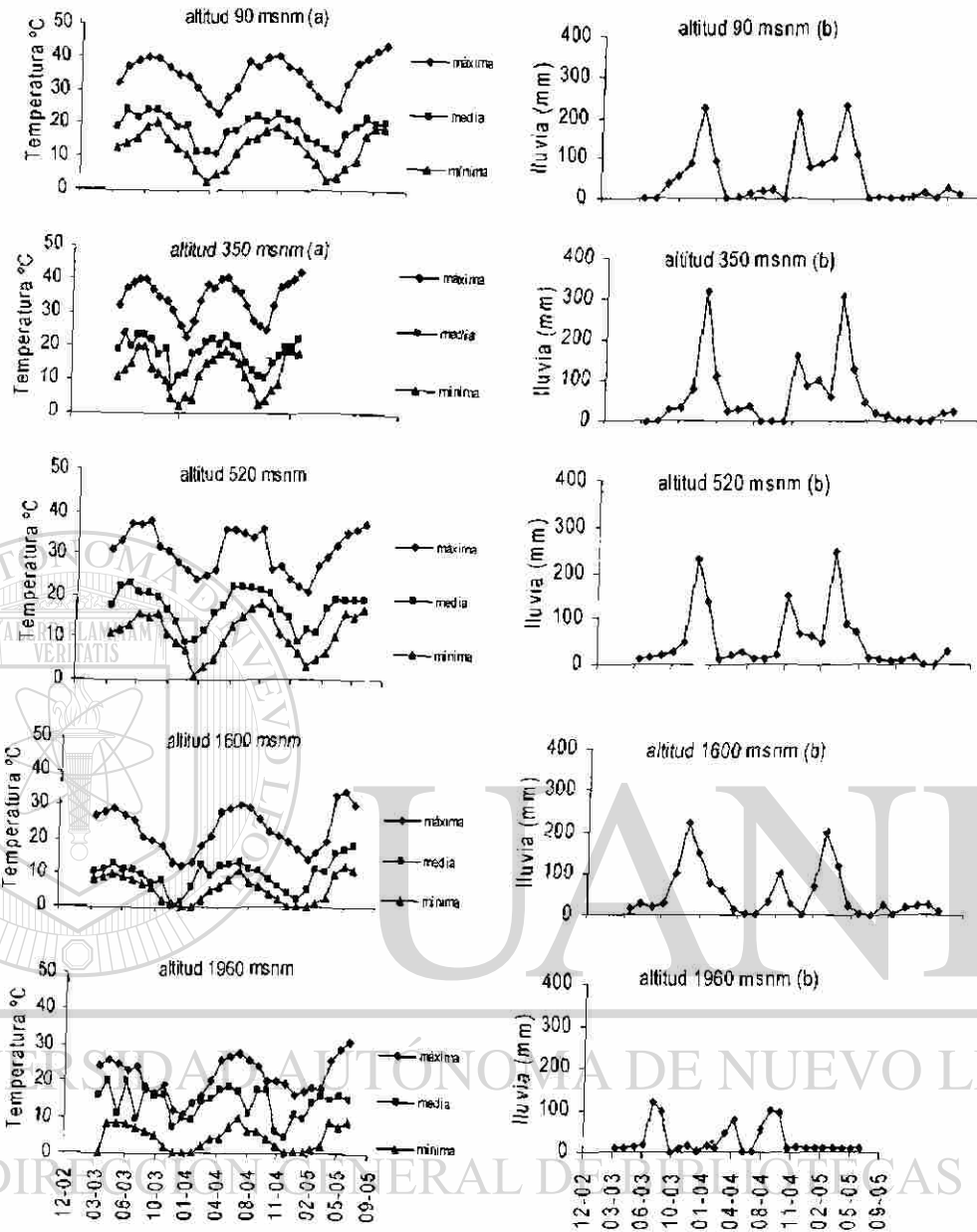


Fig. 14. (a) Promedios de temperaturas, (b) lluvias, encontrados en cinco sitios con diferentes elevaciones. Los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

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

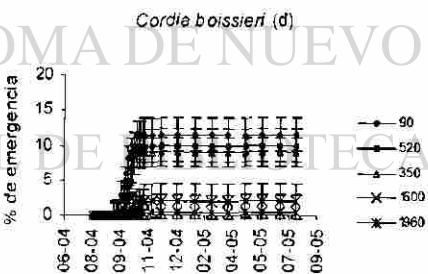
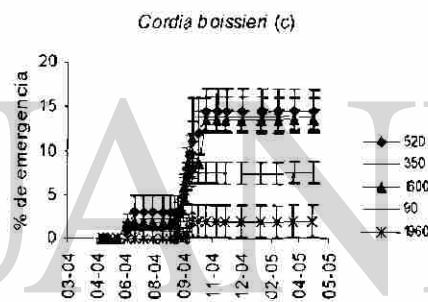
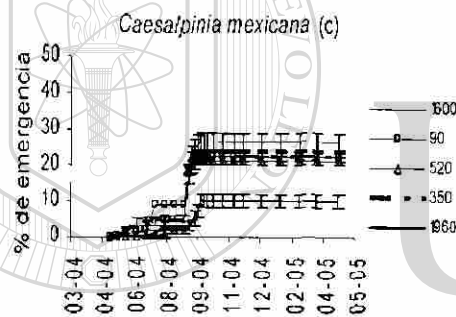
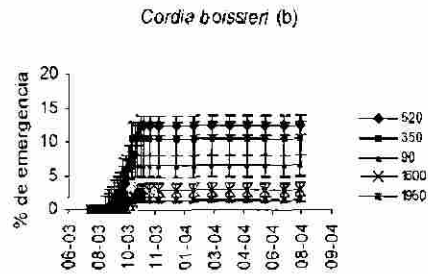
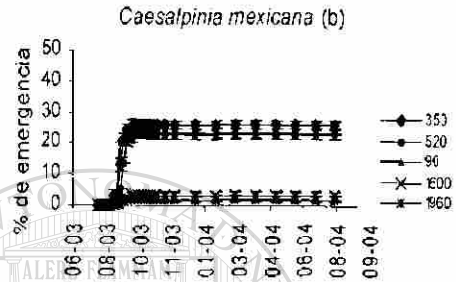
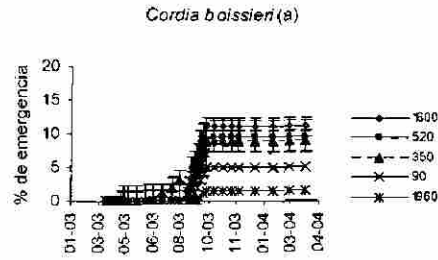
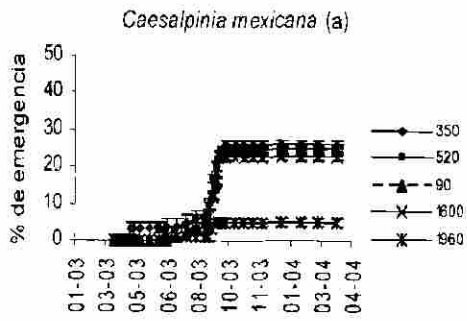


Fig. 15. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de emergencia acumulada, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan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

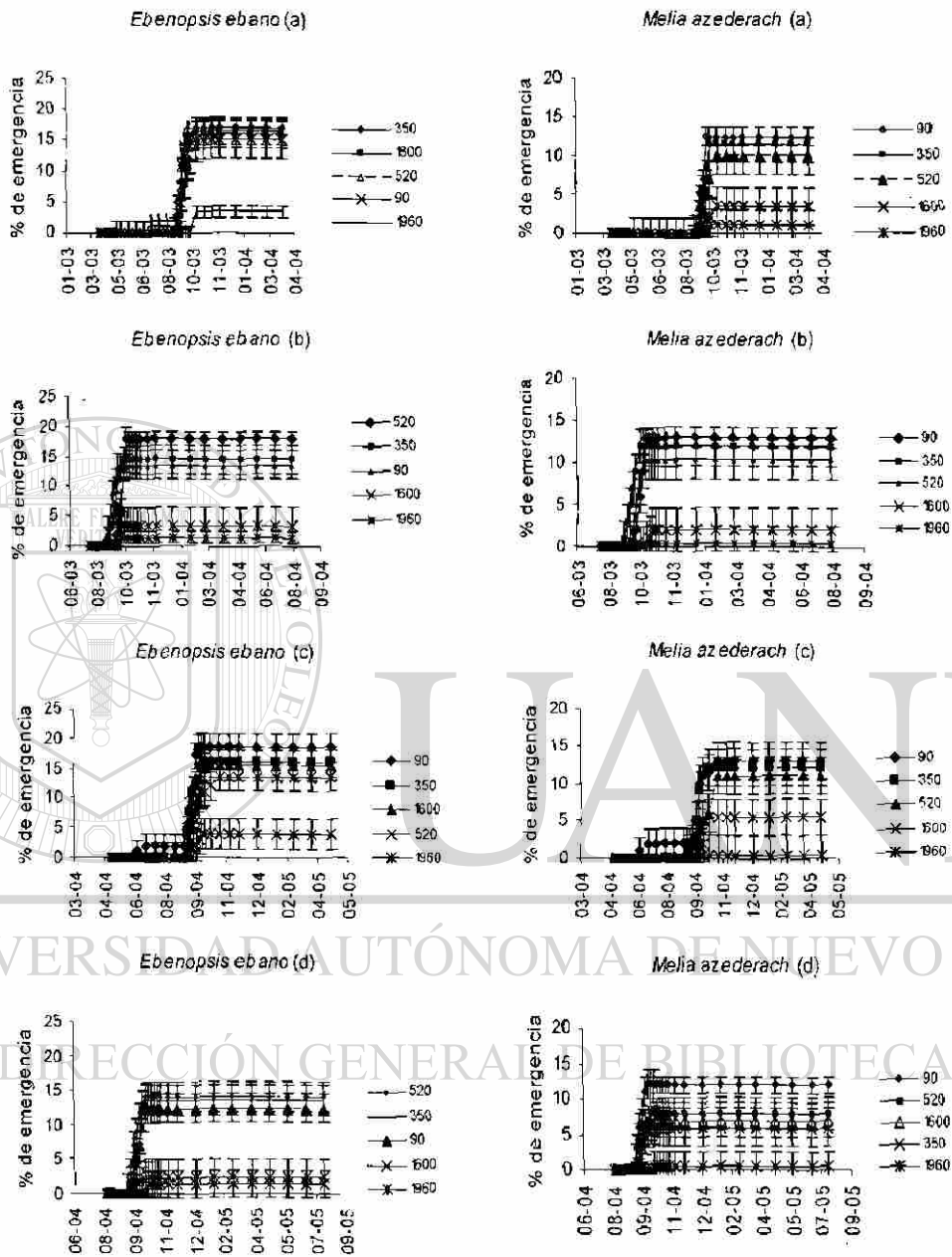


Fig. 17. Porcentaje de emergencia de plantas acumulada para *Ebenopsis ebano*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes, de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de germinación acumulada, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan 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; Hilhorst & 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	Otoño	Primavera	Otoño	Total
	2003	2003	2004	2004	
<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.

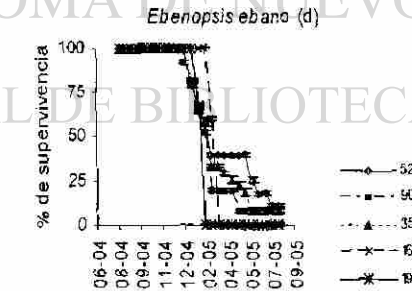
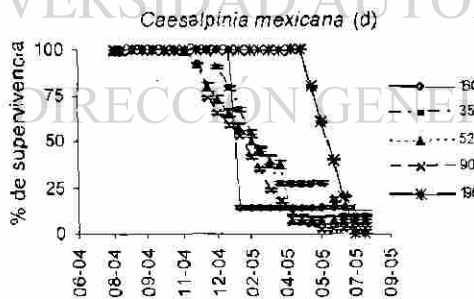
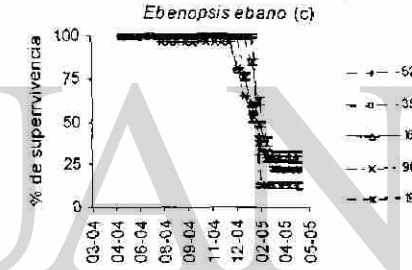
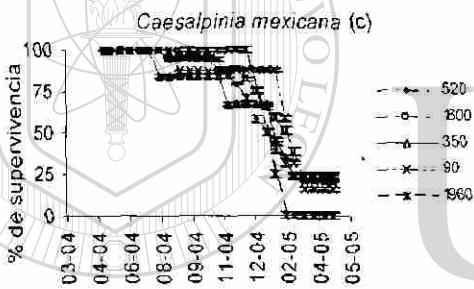
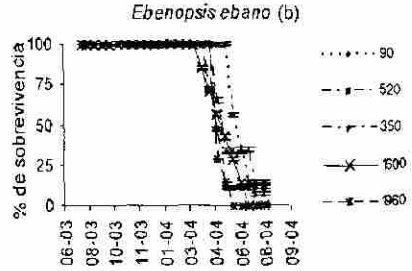
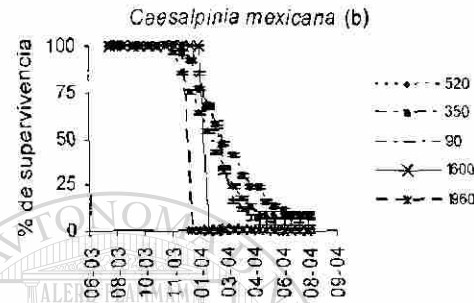
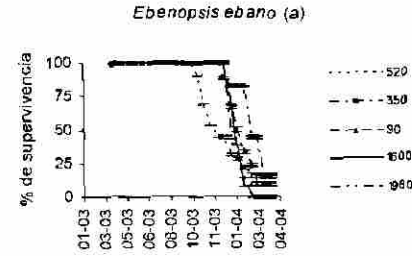
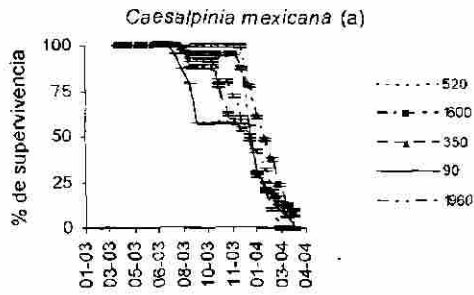


Fig. 19. Porcentaje de supervivencia de plantas para *Caesalpinia mexicana* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de supervivencia, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos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

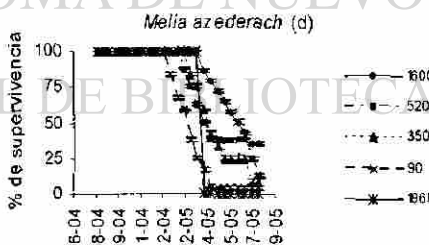
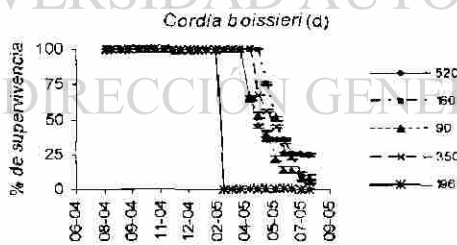
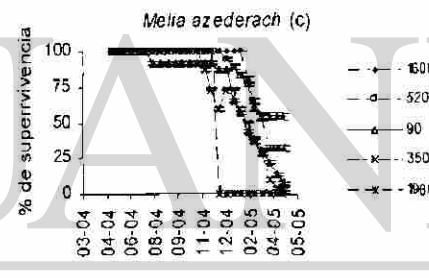
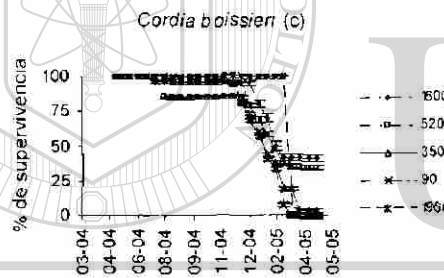
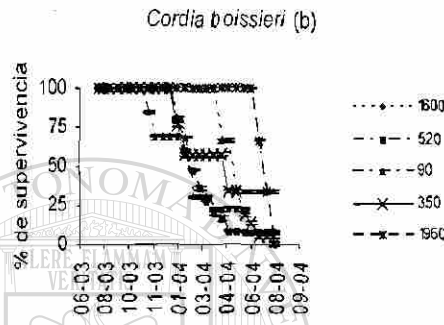
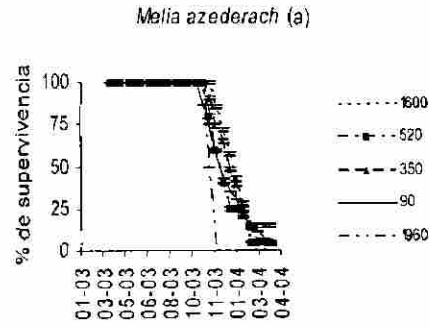
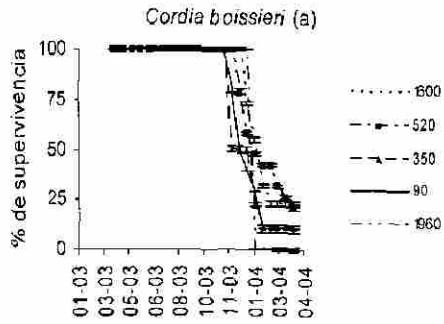


Fig. 21. Porcentaje de supervivencia de plantas para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de porcentaje de supervivencia, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de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

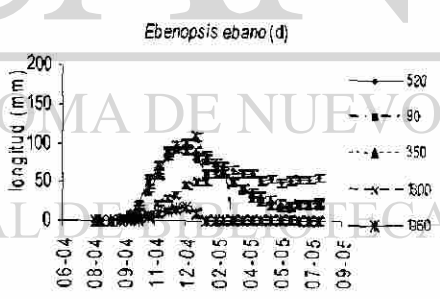
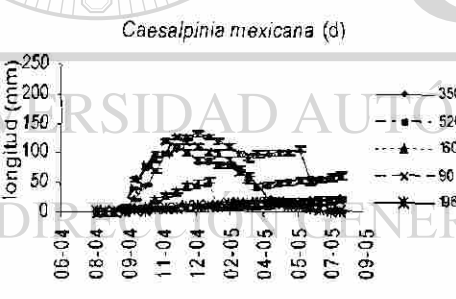
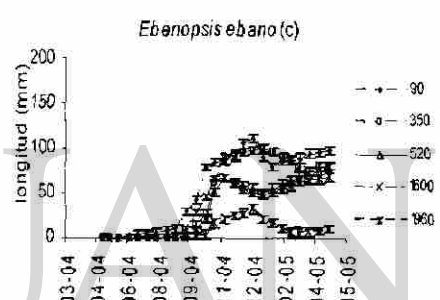
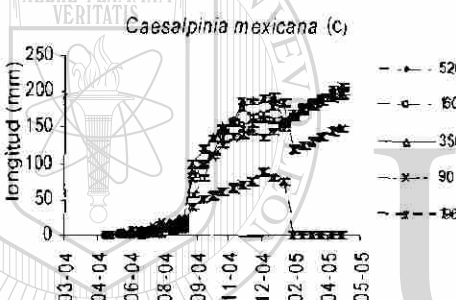
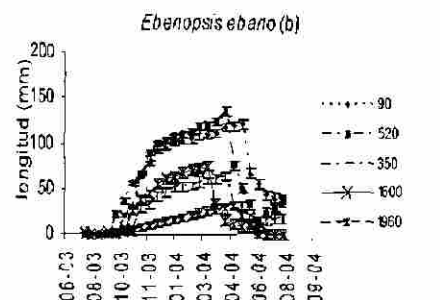
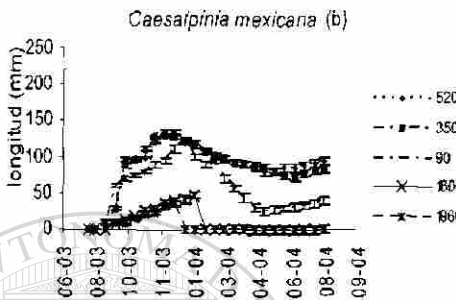
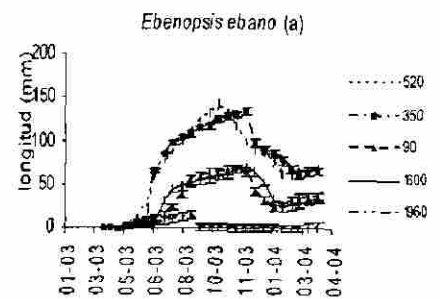
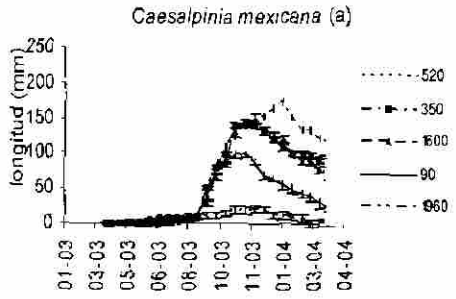


Fig. 23. Promedio de altura de plantas (mm) para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de longitud en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ($\alpha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

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 ($\alpha = 0.05$).

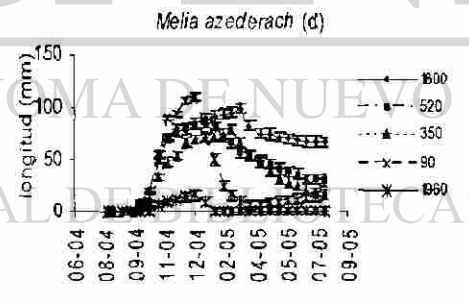
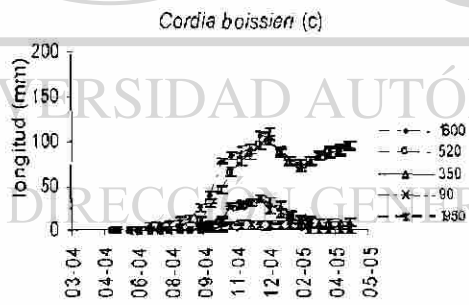
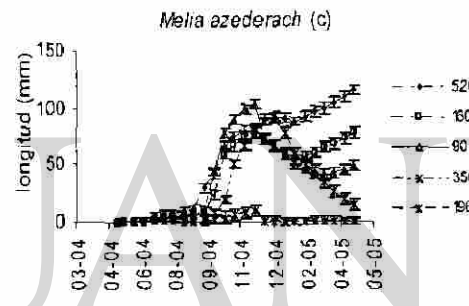
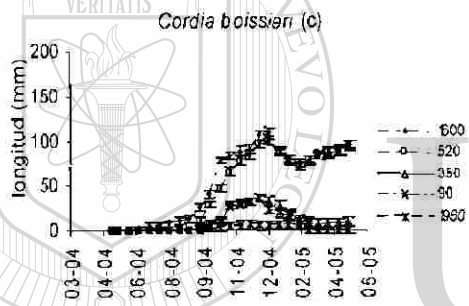
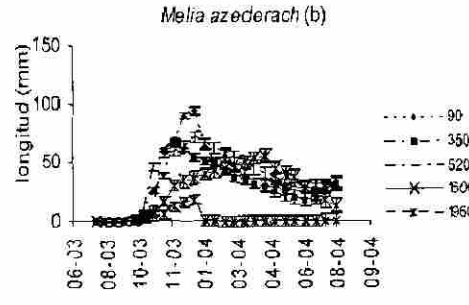
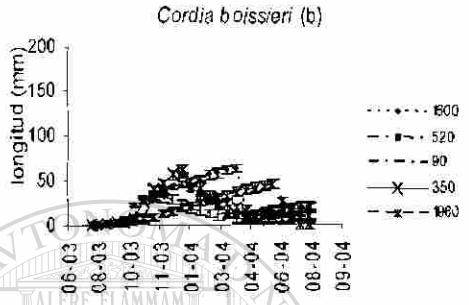
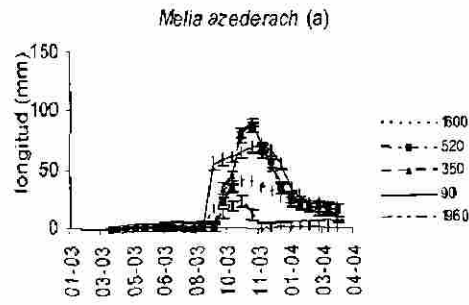
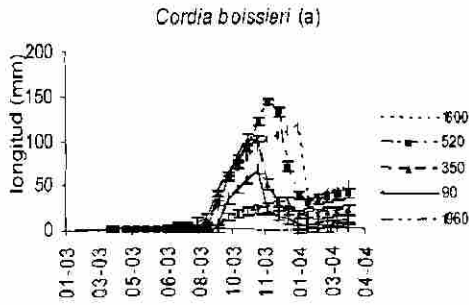


Fig. 25. Promedio de altura de plantas (mm) para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de longitud en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$)

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 ($\alpha = 0.05$).

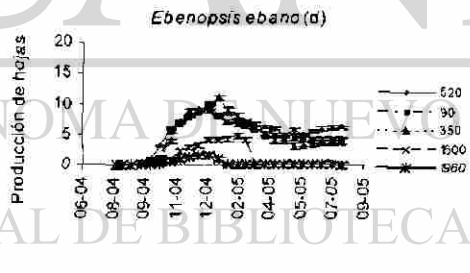
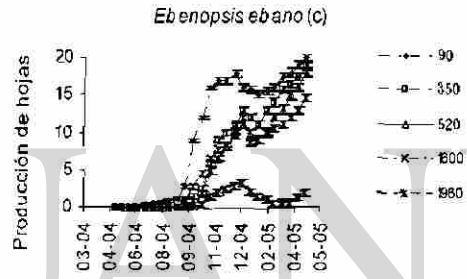
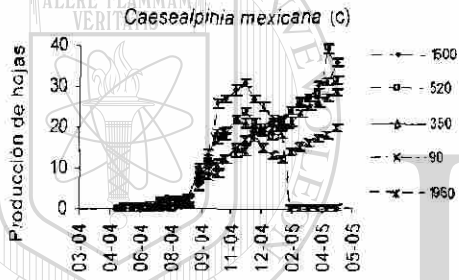
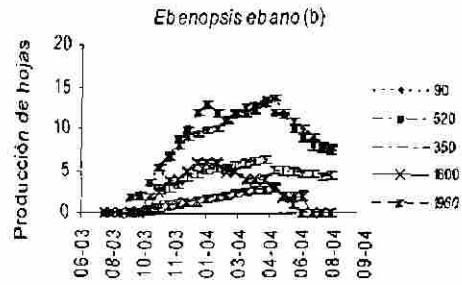
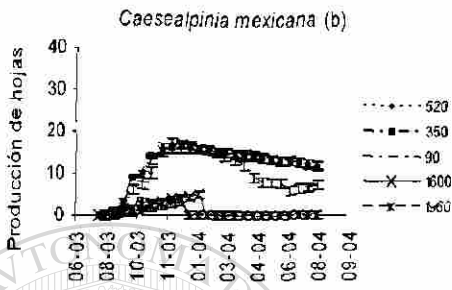
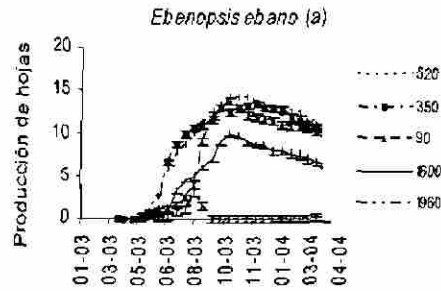
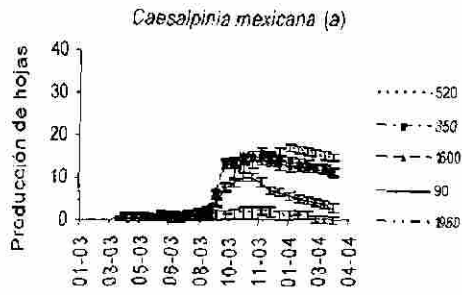


Fig. 27. Número de hojas para *Caesalpinia mexicana*, por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas, en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

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 CO₂ 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.

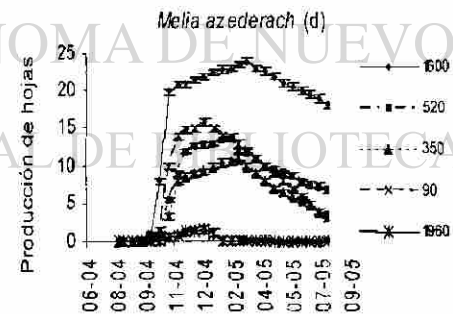
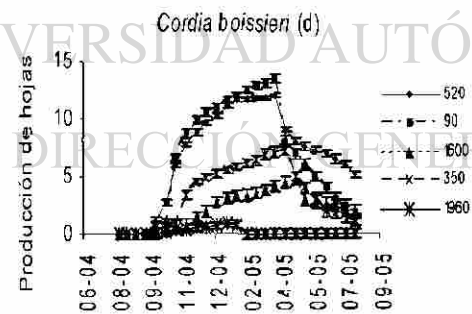
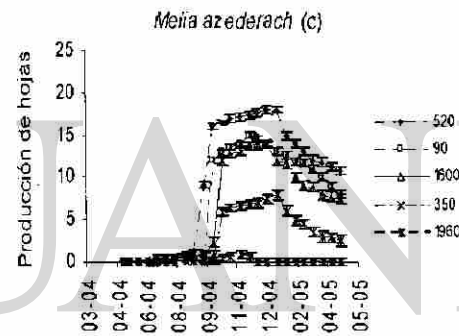
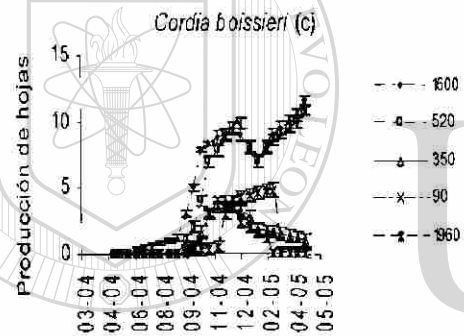
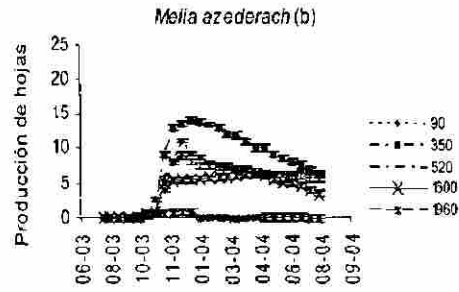
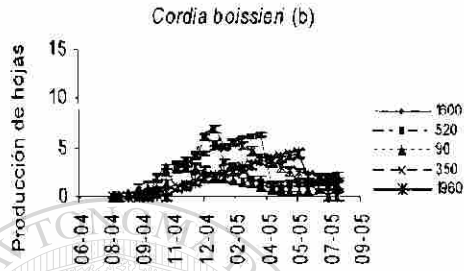
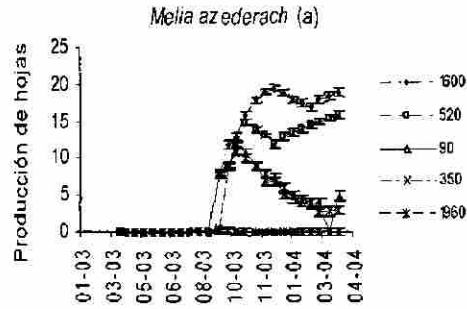
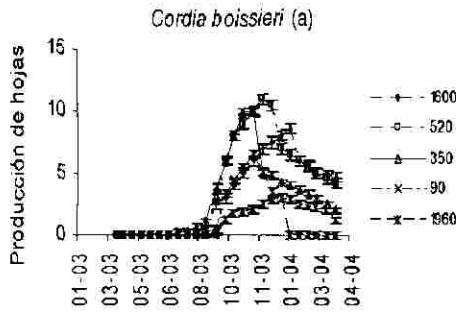


Fig. 29. Número de hojas para *Cordia boissieri* por cuatro temporadas (a-d), en cinco altitudes de 90 a 1960 m. Cada punto representa los promedios de número de hojas en diez repeticiones de 20 semillas por repetición. Las barras de error representan intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

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 CO₂. Mortensen (1997) no reportó diferencias de crecimiento en la respuesta de tres especies (*Phleum pratense*, *Lolium perenne* y *Festuca pratensis*) a elevados niveles de CO₂ 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 CO₂ 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.

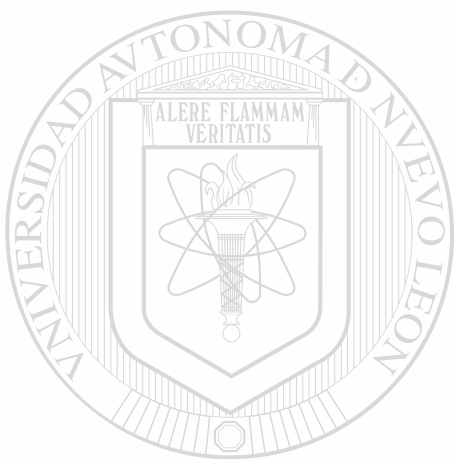
En general, la emergencia de plántulas de las cuatro especies se presentó en verano y otoño temprano, la mejor temporada de emergencia de plantas la presentaron las semillas que fueron sembradas durante la primavera de 2004, cuyas semillas registraron la mayor emergencia en verano y otoño temprano.

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

Introducción

El establecimiento de plántulas en ambientes áridos y semiáridos es un evento raro debido a las condiciones de estrés que imperan en estos ambientes, la regeneración ocurre solamente en años con períodos extraordinarios de precipitación; o bien, en sitios seguros bajo la copa de plantas nodriza, en donde se tiene un microambiente más benigno (temperaturas más bajas y mayor humedad en el suelo).

A las asociaciones de plántulas que se establecen bajo plantas adultas se les llama "interacciones nodriza-protegida", sugiriéndose que son comensalismos en los cuales las plántulas se benefician del microambiente creado por las plantas adultas, y sin efecto alguno para estas últimas (Niering *et al.* 1963; Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Pugnaire *et al.* 1996; Tewksbury & Lloyd 2001; Flores & Jurado 2003; Flores *et al.* 2004). Se piensa que este fenómeno es más frecuente en ambientes con alto estrés ambiental que en ambientes benignos, y que parece ocurrir más frecuentemente en biomas áridos y semiáridos (Pugnaire & Luque 2001; Tewksbury & Lloyd 2001; Flores & Jurado 2003). Se considera que este tipo de interacción es muy importante debido a que influye de forma decisiva en la estructura de las comunidades vegetales desérticas (Nobel *et al.* 1998; Hastwell & Facelli 2003; Armas & Pugnaire 2005).

Las plantas arbustivas son la forma de vida más común entre las nodrizas, debido a diversas causas como la capacidad que tienen para atrapar o detener semillas bajo sus copas, proporcionar nutrimentos, proveer humedad, proteger contra depredadores o contra pisoteo y proporcionar disponibilidad de soporte (Flores & Jurado 2003).

En el noreste de México, a pesar de que gran parte de su territorio es semiárido, no se han realizado estudios sobre el efecto de posibles plantas nodriza en el establecimiento de plántulas de especies nativas.

Sin embargo; de manera experimental se ha encontrado que la sombra, la estación del año y la cobertura, influyen fuertemente en la emergencia y supervivencia de plántulas (Flores & Jurado 1998; Jurado *et al.* 1998; García & Jurado 2003; Jurado *et al.* 2006). Así, con el fin de evaluar el efecto como plantas nodriza de especies arbustivas de esta región, se registró la emergencia y el porcentaje de supervivencia de plántulas bajo tres especies nativas de matorral (*Cordia boissieri* "anacahuita", *Ebenopsis ebano* "ébano" y *Caesalpinia mexicana* "árbol del potro"). Las plántulas se clasificaron en tres grupos: leñosas, gramíneas y otras herbáceas. El estudio fue realizado en cuatro altitudes 90, 350, 540 y 670 msnm. Dos altitudes (350 y 540 m) dentro del área de distribución actual de las especies nodrizas y dos elevaciones en el límite inferior (90 m) y superior (670 m). Las tres especies estudiadas son nativas del matorral espinoso tamaulipeco, y muestran diferencias en su crecimiento longitudinal. *Ebenopsis ebano* (Mimosaceae) es la especie con mayor altura, pues llega a crecer hasta 10 m (Estrada & Marroquín 1991); *Cordia boissieri* (Boraginaceae) presenta una altura de entre 6 y 8 m (Vines 1984) y *Caesalpinia mexicana* (Caesalpinaceae) es un árbol pequeño que crece entre 2 y 4.5 m (Estrada & Marroquín 1991). Las especies *Ebenopsis ebano* y *Caesalpinia mexicana* pertenecen al orden de las leguminosas, las cuales tienen la capacidad de fijar nitrógeno al suelo mediante la asociación de sus raíces con bacterias del género *Rhizobium* (Niembro 1986; Estrada & Marroquín 1991). Debido a que *Ebenopsis ebano* presenta mayor altura de crecimiento y probable mayor fertilización del suelo, en el presente estudio se plantea que bajo *Ebenopsis ebano* la emergencia y supervivencia de plántulas de los tres grupos funcionales será mayor que bajo *Caesalpinia mexicana* y *Cordia boissieri*.

Objetivos

Los objetivos de este estudio fueron: (i) determinar si la germinación de las semillas de los tres grupos de plantas bajo las tres

especies ocurre de manera similar en los cuatro ambientes; (ii) identificar temporadas de germinación de los tres grupos de plantas en las cuatro elevaciones (iii) determinar diferencias en la supervivencia de plántulas bajo las tres especies en los cuatro ambientes; (iv) identificar temporadas críticas para la supervivencia de plántulas en las cuatro elevaciones.

Métodos

Se registró la emergencia y supervivencia de plántulas bajo la cobertura de *Caesalpinia mexicana* Gray (árbol del potro); *Cordia boissieri* A. DC (anacahuita) y *Ebenopsis ebano* (Berl.) Barneby | J.W. Grimes (ebano), durante un período de dos años, de abril 2003 a marzo 2005, en cuatro sitios del noreste de México, siguiendo un gradiente altitudinal donde se distribuyen normalmente estas especies (Ver Tabla XII). En cada una de los sitios fueron seleccionados 10 árboles de cada especie en un área de cinco hectáreas, a cada árbol se le midió altura y cobertura (Ver Tabla XIII). La emergencia y supervivencia de plántulas fue registrada mensualmente bajo la cobertura de la copa de cada árbol. Las plantas que germinaron fueron identificadas y agrupadas en la categoría de leñosas gramíneas y otras herbáceas.

La toma de datos fue mensual. Las diferencias de los porcentajes de emergencia y porcentaje de supervivencia de plantas de las tres formas de vida bajo la cobertura de las tres especies, entre cada una de las elevaciones, fueron analizados usando un ANOVA ($\alpha= 0.05$) de dos vías y estas fueron elevación (4) y especie nodriza (3). Previo a los ANOVAs, los datos de porcentaje de emergencia y porcentaje de supervivencia de plantas fueron normalizados utilizando la transformación del arcoseno de la raíz cuadrada (Sokal & Rohlf 1995). Para realizar los análisis estadísticos de emergencia de plántulas se utilizaron los promedios mensuales de emergencia registrados en los cuatro ambientes (altitudes). El porcentaje de supervivencia de plantas fue evaluado con los datos

obtenidos en la última medición (a los 24 meses). Se utilizaron pruebas de comparación de medias de Tukey cuando los ANOVAs indicaron diferencias entre especies y altitudes. Se usaron intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$) para mostrar diferencias de emergencia y supervivencia de plántulas entre especies y altitudes.

Tabla XII. Localidades objeto de estudio en el noreste de México y vegetación más común en el estrato alto en los sitios de estudio.

Localidades	Coordenadas	Vegetación más común en el estrato alto
Altitud 90 m	22° 51' N, 98° 15' W	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray, <i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Barneby & Grimes, <i>Cordia boissieri</i> A. DC., <i>Havardia pallens</i> (Benth.) Brit & Rose, <i>Randia obcordata</i> Lindley
Altitud 350 m	24° 51' N, 99° 35' W	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray, <i>Acacia berlandieri</i> , <i>Celtis pallida</i> Torr., <i>Cordia boissieri</i> A. DC., <i>Ebenopsis ebano</i> (Benth.) Coult., <i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose, <i>Porlieria angustifolia</i>
Altitud 540 m	24° 39' N, 99° 40' W	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray, <i>Celtis pallida</i> Torr., <i>Cordia boissieri</i> A. DC., <i>Ebenopsis ebano</i> (Benth.) Coult., <i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose, <i>Porlieria angustifolia</i> , <i>Prosopis laevigata</i> (Humb & Bonpl. ex. Wild.) M.C. Johnston
Altitud 670 m	24° 39' N, 99° 45' W	<i>Bernardia myricaefolia</i> , <i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray, <i>Celtis pallida</i> Torr., <i>Cordia boissieri</i> A. DC., <i>Ebenopsis ebano</i> (Benth.) Coult., <i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose, <i>Zanthoxylum fagara</i>

Tabla XIII. Promedios \pm desviación estándar de altura y cobertura de 10 árboles de tres especies de matorral, en cuatro sitios.

Especies	<i>Caesalpinia mexicana</i>	<i>Cordia boissieri</i>	<i>Ebenopsis ebano</i>
Localidades	Altura-cobertura	Altura-cobertura	Altura-cobertura
Altitud 90 m	2.71 \pm 0.65-4.31 \pm 1.66	3.62 \pm 0.80-5.99 \pm 1.69	4.85 \pm 0.94-6.01 \pm 3.99
Altitud 350 m	3.12 \pm 0.61-5.21 \pm 1.89	3.58 \pm 0.94-6.01 \pm 1.93	4.90 \pm 0.73-7.22 \pm 4.11
Altitud 540 m	2.53 \pm 0.90-5.35 \pm 2.11	3.49 \pm 0.74-5.85 \pm 1.89	4.71 \pm 0.80-7.66 \pm 3.66
Altitud 670 m	2.62 \pm 0.95-4.99 \pm 1.77	3.51 \pm 0.95-6.05 \pm 2.11	4.05 \pm 0.87-5.89 \pm 2.89

Resultados y discusión

Emergencia de plántulas

La emergencia de plántulas de los tres grupos de plantas, se presentó posterior a las lluvias de primavera, finales de verano y otoño temprano (Fig. 31 a y b).

Las plántulas de gramíneas y herbáceas emergieron en primavera, en verano y en otoño temprano; las leñosas emergieron en mayor proporción en verano y otoño temprano.

Un total de 42 especies fueron identificadas bajo la cobertura de las tres especies en los cuatro ambientes. Bajo *Caesalpinia mexicana* germinaron 33 especies (Tabla XIV, 6 gramíneas, 20 herbáceas y 7 leñosas), bajo *Cordia boissieri* germinaron un total de 36 especies (Tabla XV, 6 gramíneas, 22 herbáceas y 8 leñosas), bajo *Ebenopsis ebano* germinaron 38 especies (Tabla XVI, 5 gramíneas, 23 herbáceas y 10 leñosas).

Los ANOVAs de dos vías para emergencia de plántulas de los tres grupos funcionales, mostraron diferencias estadísticas significativas entre especies nodrizas ($P < 0.001$; G.L. = 2) y entre altitudes ($P < 0.001$; G.L. = 3). En la interacción altitud X especie para los tres grupos de plantas no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P = 0.25$; G.L. = 6) lo que indica que las especies se comportaron de manera similar en las diferentes elevaciones.

Tabla XIV. Especies que germinaron bajo la copa de *Caesalpinia mexicana* de abril 2003 a marzo 2005 en cuatro altitudes, con el promedio del número de plántulas germinadas y su desviación estándar.

Especies	90 m	350 m	540 m	670 m
PLANTAS				
GRAMÍNEAS				
<i>Aristida</i> sp.	31 ± 12.3	11 ± 6.7	24 ± 10.8	26 ± 13.7
<i>Bouteloua trifida</i> Thurb	21 ± 8.9	32 ± 17.9	29 ± 12.6	0
<i>Botriochloa</i> sp.	25 ± 13.7	0	19 ± 9.9	12 ± 6.5
<i>Cenchrus incertus</i> M.A. Curtis	49 ± 24.8	74 ± 43.7	44 ± 22.1	0
<i>Pennisetum ciliare</i> (L.)Link	38 ± 16.5	31 ± 14.5	35 ± 15.6	15 ± 7.1
<i>Tridens</i> sp.	19 ± 8.2	21 ± 5.0	42 ± 19.7	19 ± 10.4
PLANTAS				
HERBÁCEAS				
<i>Abutilon</i> sp.	61 ± 12.3	41 ± 6.7	34 ± 10.8	26 ± 13.7
<i>Amaranthus</i> sp.	21 ± 8.9	32 ± 17.9	29 ± 12.6	30 ± 18.9
<i>Argemone echinata</i> Ownb.	49 ± 24.8	74 ± 43.7	44 ± 22.1	0
<i>Botriochloa</i> sp.	38 ± 16.5	31 ± 14.5	35 ± 15.6	15 ± 7.1
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	19 ± 8.2	21 ± 5.0	42 ± 19.7	19 ± 10.4
<i>Chenopodium album</i> L.	31 ± 12.3	11 ± 6.7	24 ± 10.8	26 ± 13.7
<i>Chloris submutica</i> H.B.K.	21 ± 8.9	32 ± 17.9	39 ± 17.9	0
<i>Clamatis drummondii</i> T.d G.	125 ± 63.7	0	59 ± 29.9	12 ± 6.5
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	89 ± 44.8	74 ± 43.7	44 ± 22.1	40 ± 15.5

<i>Croton torreyanus</i> Muell. Arg.	38 ± 16.5	31 ± 14.5	35 ± 15.6	35 ± 16.1
<i>Evolvulus alsinoides</i> L.	19 ± 8.2	21 ± 5.0	42 ± 19.7	39 ± 20.4
<i>Helianthus annuus</i> L.	31 ± 12.3	11 ± 6.7	44 ± 13.8	46 ± 23.7
<i>Heliotropium Currassavicum</i> L.	21 ± 8.9	32 ± 17.9	39 ± 17.6	26 ± 13.9
<i>Hibiscus cardiophyllus</i> Gray.	35 ± 23.7	18 ± 7.9	29 ± 11.9	15 ± 7.5
<i>Solanum rostratum</i> Dunn.	38 ± 16.5	31 ± 14.5	35 ± 15.6	25 ± 9.1
<i>Tragia ramosa</i> Torr.	29 ± 9.5	31 ± 5.0	52 ± 29.7	32 ± 12.4
<i>Urtica dioica</i> L.	33 ± 13.3	14 ± 3.7	34 ± 10.8	31 ± 18.7
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Gray.	23 ± 8.9	34 ± 15.9	19 ± 13.6	26 ± 11.6
<i>Verbesina</i> sp.	28 ± 15.7	15 ± 5.9	23 ± 11.9	16 ± 9.5
<i>Viguiera stenoloba</i> Blake.	39 ± 24.8	74 ± 43.7	44 ± 22.1	9 ± 4.9
PLANTAS LEÑOSAS				
<i>Acacia berlandieri</i> , Benth	0	9	6	0
<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray	0	11	7	0
<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	4 ± 0.5	6 ± 0.9	3 ± 0.4	2 ± 0.4
<i>Celtis pallida</i> Torr.	10 ± 15	36 ± 9.5	32 ± 7.9	11 ± 4.5
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Barneby & Grims.	3 ± 0.4	8 ± 0.8	9 ± 1.2	2 ± 0.4
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	7	5 ± 3.8	6 ± 1.9	8 ± 1.6
<i>Randia obcordata</i> Lindley.	12 ± 4.8	0	0	0

Tabla XV. Especies que germinaron bajo cobertura de *Cordia boissieri* de abril 2003 a marzo 2005 en cuatro altitudes, con el promedio del número de plántulas germinadas y su desviación estándar.

Especies	90 m	350 m	540 m	670 m
PLANTAS GRAMÍNEAS				
<i>Aristida</i> sp.	41 ± 17.3	19 ± 7.7	29 ± 12.9	36 ± 15.9
<i>Bouteloua trifida</i> Thurb	21 ± 8.9	32 ± 17.9	29 ± 12.6	12 ± 9.2
<i>Botriochloa</i> sp.	45 ± 17.8	13 ± 6.9	31 ± 11.6	22 ± 9.5
<i>Cenchrus incertus</i> M.A. Curtis	166 ± 64.7	134 ± 65.7	121 ± 60.1	89 ± 59.5
<i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link.	138 ± 46.5	131 ± 14.5	135 ± 15.6	115 ± 57.1
<i>Tridens</i> sp.	119 ± 18.2	121 ± 5.0	142 ± 19.7	119 ± 50.4
PLANTAS HERBÁCEAS				
<i>Abutilon</i> sp.	61 ± 12.3	41 ± 6.7	34 ± 10.8	26 ± 13.7
<i>Amaranthus</i> sp.	21 ± 8.9	32 ± 17.9	29 ± 12.6	30 ± 18.9
<i>Argemone echinata</i> Ownb.	49 ± 24.8	74 ± 43.7	44 ± 22.1	28 ± 7.6
<i>Botriochloa</i> sp.	38 ± 16.5	31 ± 14.5	35 ± 15.6	15 ± 7.1
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	19 ± 8.2	21 ± 5.0	42 ± 19.7	19 ± 10.4
<i>Chenopodium album</i> L.	31 ± 12.3	11 ± 6.7	24 ± 10.8	26 ± 13.7
<i>Chloris submutica</i> H.B.K.	21 ± 8.9	32 ± 17.9	39 ± 17.9	45 ± 23.7
<i>Desmanthus virgatus</i> (L.) Will	51 ± 42.3	61 ± 43.7	34 ± 20.8	46 ± 23.7
<i>Justicia runyonii</i> Small	81 ± 9.9	52 ± 27.9	69 ± 37.9	79 ± 23.7
<i>Physalis pubescens</i> L.	99 ± 35.7	92 ± 57.9	109 ± 55.9	112 ± 76.5
<i>Rhynchelitrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	99 ± 54.9	84 ± 53.7	44 ± 22.1	60 ± 35.5

<i>Ruelia corzoitharp</i> & Barkl.	88 ± 26.5	51 ± 24.5	35 ± 15.6	55 ± 26.1
<i>Ruelia rudiflora</i> (Gray) Urban.	19 ± 8.2	21 ± 5.0	42 ± 19.7	59 ± 30.4
<i>Salvia coccinea</i> Juss.	31 ± 12.3	11 ± 6.7	44 ± 13.8	66 ± 43.9
<i>Sanvitalia ocymoides</i> DC.	21 ± 8.9	32 ± 17.9	39 ± 17.6	46 ± 23.9
<i>Sida neomexicana</i> Gray.	35 ± 23.7	18 ± 7.9	29 ± 11.9	35 ± 9.5
<i>Solanum eleagnifolium</i> Cav.	38 ± 16.5	31 ± 14.5	35 ± 15.6	45 ± 14.1
<i>Tragia ramosa</i> Torr.	29 ± 9.5	31 ± 5.0	52 ± 29.7	82 ± 42.4
<i>Urtica dioica</i> L.	33 ± 13.3	14 ± 3.7	34 ± 10.8	61 ± 28.7
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Gray.	23 ± 8.9	34 ± 15.9	19 ± 13.6	56 ± 31.6
<i>Verbesina</i> sp.	28 ± 15.7	15 ± 5.9	23 ± 11.9	16 ± 9.5
<i>Viguiera stenoloba</i> Blake.	88 ± 44.9	66 ± 34.5	78 ± 39.8	69 ± 22.3
PLANTAS LEÑOSAS				
<i>Acacia shaffneri</i> (Wats.) Herm.	5 ± 1.5	11 ± 1.9	6 ± 0.7	2 ± 0.3
<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele) Wats.	6 ± 1.8	13 ± 2.1	7 ± 0.5	3 ± 0.4
<i>Bumelia celastrina</i> Kunth	7 ± 0.5	9 ± 0.9	3 ± 0.4	2 ± 0.4
<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray	3 ± 0.5	13 ± 2.5	10 ± 7.9	11 ± 4.5
<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	13 ± 0.4	8 ± 0.8	9 ± 1.2	2 ± 0.4
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	11 ± 1.3	5 ± 3.8	6 ± 1.9	8 ± 0.9
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Barneby & Grimes.	7 ± 1.1	5 ± 0.8	6 ± 0.9	9 ± 1.2
<i>Randia obcordata</i> Lindley	9 ± 0.9	5 ± 0.5	4 ± 0.5	0

Tabla XVI. Especies que germinaron bajo la copa de *Ebenopsis ebano* de abril 2003 a marzo 2005 en cuatro altitudes, con el promedio del número de plántulas germinadas y su desviación estándar.

Especies	90 m	350 m	540 m	670 m
PLANTAS GRAMÍNEAS				
<i>Aristida</i> sp.	141 ± 67.6	109 ± 58.9	88 ± 37.8	26 ± 35.7
<i>Bouteloua trifida</i> Thurb	131 ± 76.9	152 ± 67.6	99 ± 52.9	22 ± 17.2
<i>Cenchrus incertus</i> M.A. Curtis	266 ± 95.7	254 ± 75.7	91 ± 40.4	49 ± 59.5
<i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link.	238 ± 89.5	171 ± 74.5	95 ± 45.6	65 ± 57.1
<i>Tridens</i> sp.	219 ± 99.2	181 ± 50.0	92 ± 49.7	79 ± 30.8
PLANTAS HERBÁCEAS				
<i>Abutilon</i> sp.	81 ± 32.3	71 ± 19.7	44 ± 20.9	36 ± 13.9
<i>Amaranthus</i> sp.	41 ± 10.9	42 ± 19.9	39 ± 22.9	25 ± 18.3
<i>Argemone echinata</i> Ownb.	69 ± 44.8	84 ± 53.7	54 ± 22.5	22 ± 9.4
<i>Botriochloa</i> sp.	58 ± 36.5	41 ± 19.5	55 ± 25.6	35 ± 9.1
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	39 ± 10.2	51 ± 13.9	52 ± 29.7	29 ± 10.4
<i>Chenopodium album</i> L.	51 ± 14.3	33 ± 16.7	44 ± 20.8	36 ± 16.9
<i>Chloris submutica</i> H.B.K.	41 ± 28.9	50 ± 27.9	49 ± 27.9	35 ± 12.7
<i>Desmanthus virgatus</i> (L.) Will	71 ± 52.3	69 ± 33.7	64 ± 20.8	36 ± 16.7
<i>Justicia runyonii</i> Small	81 ± 59.9	72 ± 28.8	69 ± 37.9	48 ± 20.7
<i>Lantana vellutina</i> Torr	66 ± 29.9	55 ± 18.8	49 ± 20.9	30 ± 10.7
<i>Physalis pubescens</i> L.	109 ± 55.7	99 ± 67.9	129 ± 65.9	0
<i>Rhynchelitrum repens</i> (Willd) C.E. Hubb.	119 ± 74.9	94 ± 59.7	94 ± 52.1	0

<i>Ruelia corzoitharp</i> & Barkl.	108 ± 46.5	91 ± 54.5	105 ± 55.2	35 ± 16.1
<i>Ruelia rudiflora</i> (Gray) Urban.	49 ± 8.2	39 ± 15.0	62 ± 29.1	49 ± 10.4
<i>Salvia coccinea</i> Juss.	61 ± 32.6	44 ± 16.7	33 ± 13.3	26 ± 5.9
<i>Sanvitalia ocymoides</i> DC.	51 ± 11.6	46 ± 27.9	35 ± 17.4	16 ± 4.9
<i>Sida neomexicana</i> Gray.	65 ± 33.6	48 ± 27.9	39 ± 11.6	30 ± 9.5
<i>Solanum eleagnifolium</i> Cav.	68 ± 36.5	51 ± 24.5	35 ± 15.6	40 ± 14.9
<i>Tragia ramosa</i> Torr.	59 ± 29.5	41 ± 15.0	52 ± 29.7	49 ± 16.4
<i>Urtica dioica</i> L.	63 ± 33.3	44 ± 13.7	44 ± 11.9	41 ± 18.7
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Gray.	53 ± 18.9	54 ± 20.9	69 ± 23.6	36 ± 11.5
<i>Viguiera stenoloba</i> Blake.	108 ± 64.9	109 ± 54.5	98 ± 49.8	49 ± 11.3

PLANTAS LEÑOSAS

<i>Acacia rigidula</i> Benth	3 ± 0.2	12 ± 1.8	9 ± 0.9	3 ± 0.3
<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele) Wats.	4 ± 0.2	15 ± 1.8	8 ± 0.9	3 ± 0.4
<i>Bumelia celastrina</i> Kunth	3 ± 0.3	11 ± 1.9	6 ± 1.4	3 ± 0.4
<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray	4 ± 0.5	12 ± 2.0	12 ± 1.3	2 ± 0.3
<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	5 ± 0.4	9 ± 1.0	11 ± 1.2	2 ± 0.2
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	6 ± 0.3	9 ± 1.1	8 ± 1.3	6 ± 0.8
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Barneby & Grimes.	5 ± 0.4	8 ± 0.9	9 ± 1.2	4 ± 0.5
<i>Portieria angustifolia</i> Engelm. A. Gray	7 ± 0.9	9 ± 1.2	8 ± 0.8	3 ± 0.4
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb & Bonpl. ex. Wild.) M.C. Johnston	9 ± 1.5	11 ± 1.3	9 ± 0.9	3 ± 0.4
<i>Randia obcordata</i> Lindley.	8 ± 1.3	7 ± 0.8	8 ± 0.9	0
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	9 ± 1.2	5 ± 0.7	7 ± 0.8	7 ± 0.5

Los mayores promedios de emergencia de plántulas gramíneas (Tabla XVII, Fig. 32 a-c), se presentaron bajo *Ebenopsis ebano* y *Cordia boissieri* en altitudes de 90, 350 y 540 msnm, los más bajos promedios de emergencia de plántulas fueron registrados bajo *Caesalpinia mexicana* a 540 y 670 m.

Tabla XVII. Promedios de emergencia de plántulas gramíneas herbáceas y leñosas bajo tres especies de matorral.

Especies	<i>Caesalpinia mexicana</i>	<i>Cordia boissieri</i>	<i>Ebenopsis ebano</i>
gramíneas			
Altitud 90 m	10.42 b	15.44 a	17.72 a
Altitud 350 m	10.22 b	15.77 a	16.65 a
Altitud 540 m	7.13 c	14.99 a	15.14 a
Altitud 670 m	7.14 c	10.95 b	8.77 c
otras herbáceas			
Altitud 90 m	29.69 c	39.51 b	46.17 a
Altitud 350 m	27.11 c	37.15 b	44.35 a
Altitud 540 m	26.02 c	35.68 b	44.41 a
Altitud 670 m	18.79 d	34.11 b	22.33 d
plantas leñosas			
Altitud 90 m	1.34 b	2.07 a	2.25 a
Altitud 350 m	1.26 b	2.05 a	2.00 a
Altitud 540 m	0.86 c	2.09 a	2.39 a
Altitud 670 m	0.76 c	2.11 a	1.29 b

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

Los más altos promedios de emergencia de plántulas herbáceas (Tabla XVII, Fig. 33 a-c) se presentaron bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540), fueron intermedios los promedios bajo *Cordia boissieri* y menores bajo *Caesalpinia mexicana*.

Los promedios de emergencia de plantas leñosas (Tabla XVII, Fig. 34 a-c) fueron mayores bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540) y *Cordia boissieri* (altitudes de 90, 350, 540 y 670 m), que bajos bajo *Caesalpinia mexicana* a en las cuatro altitudes.

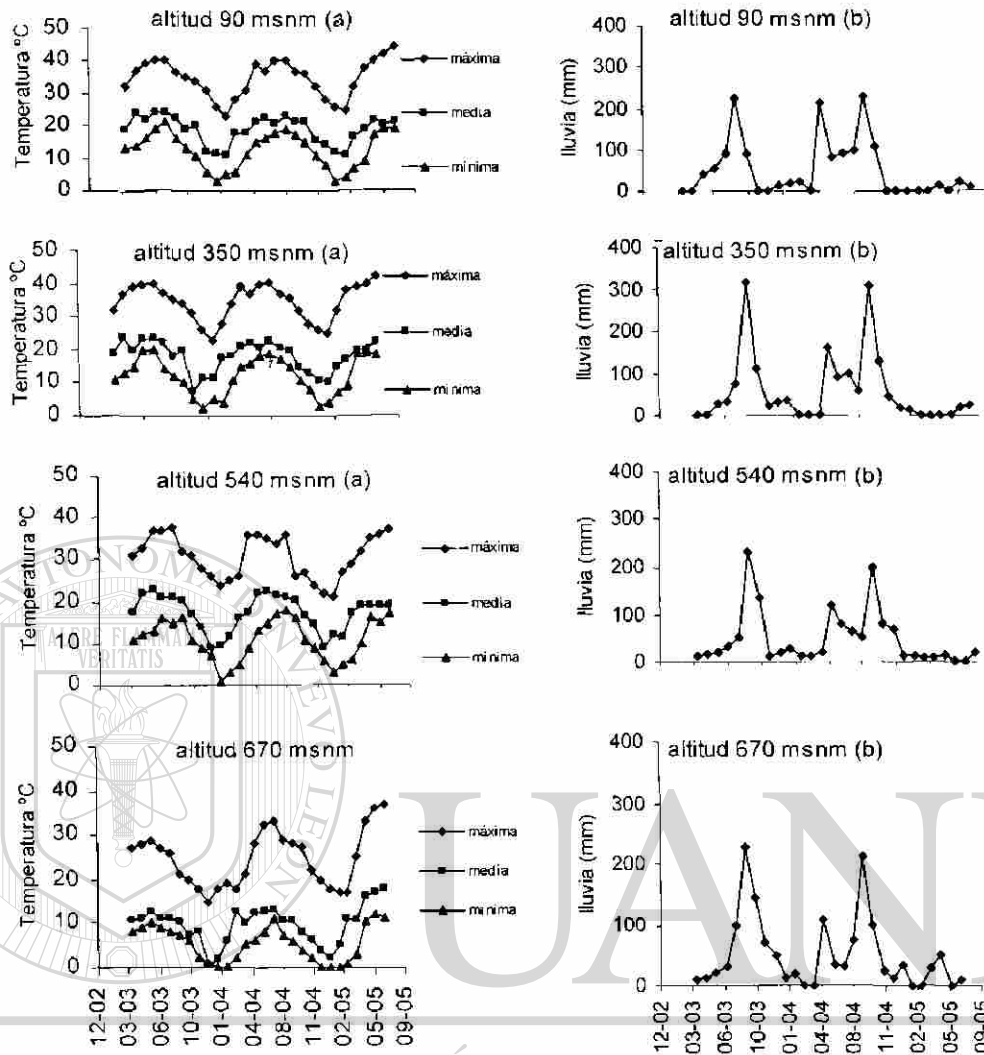


Fig. 31. (a) Promedios de temperaturas, (b) lluvias encontrados en cuatro sitios por dos años, de abril de 2003 a marzo de 2005. Los sitios estuvieron a 90, 350 540 y 700 msnm. Los datos de temperaturas y lluvias fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Los promedios de emergencia de plántulas de los tres grupos funcionales fueron mayores bajo *Ebenopsis ebano*, estos resultados son acordes a la hipótesis planteada en la presente investigación. La alta emergencia de gramíneas y leñosas bajo *Cordia boissieri* puede ser el resultado de interacciones (alta densidad de especies vecinas) que esta especie presenta con otras especies del matorral tamaulipeco.

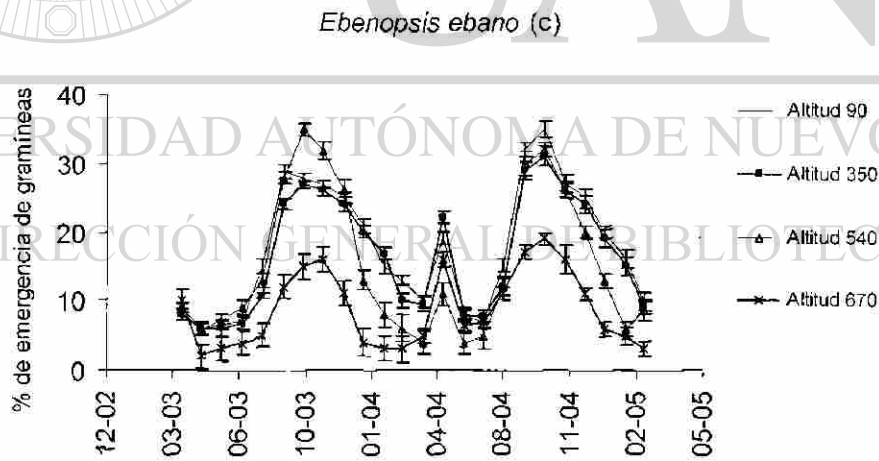
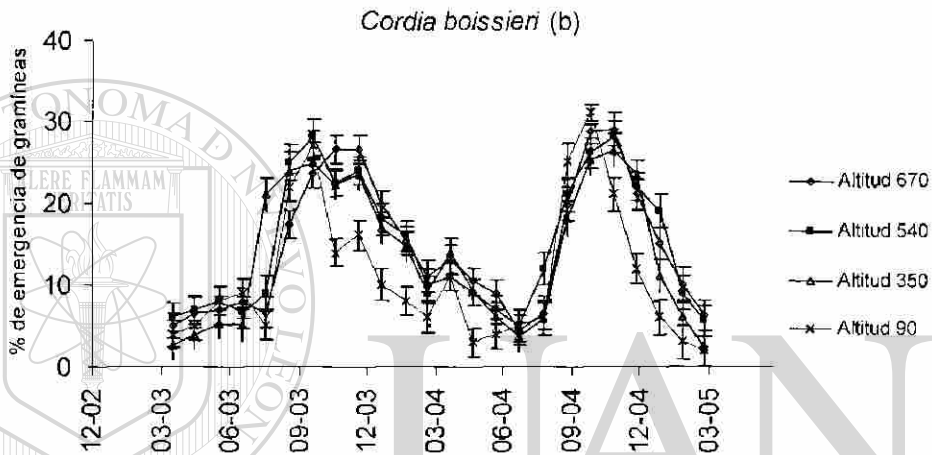
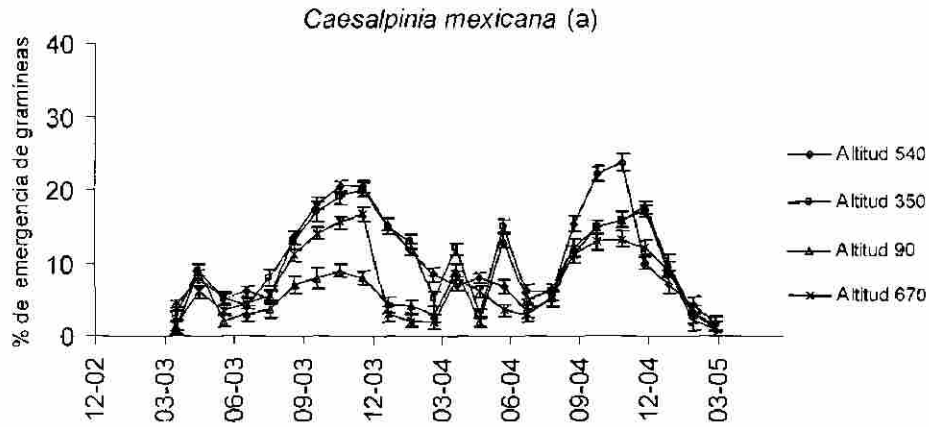


Fig. 32. Porcentaje de emergencia de plántulas gramíneas bajo: (a) *Caesalpinia mexicana*; (b) *Cordia boissieri* y (c) *Ebenopsis ebano*, registrados en cuatro altitudes de 90 a 670 m. Cada punto representa el promedio bajo 10 árboles de cada especie. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

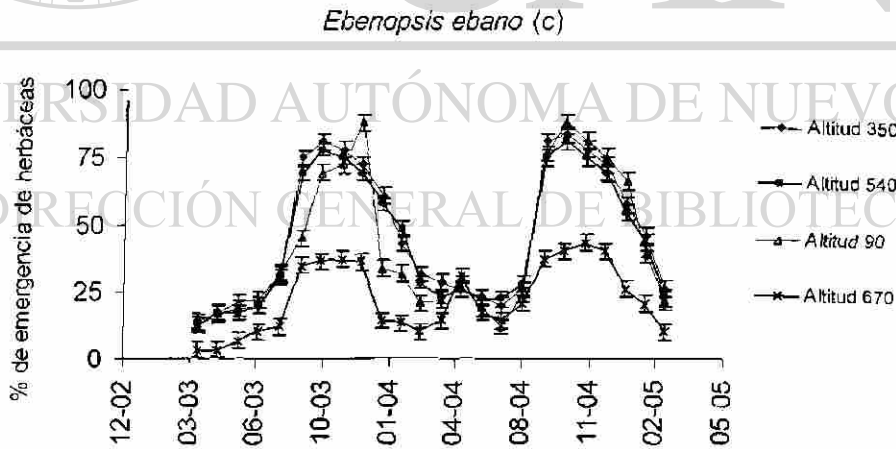
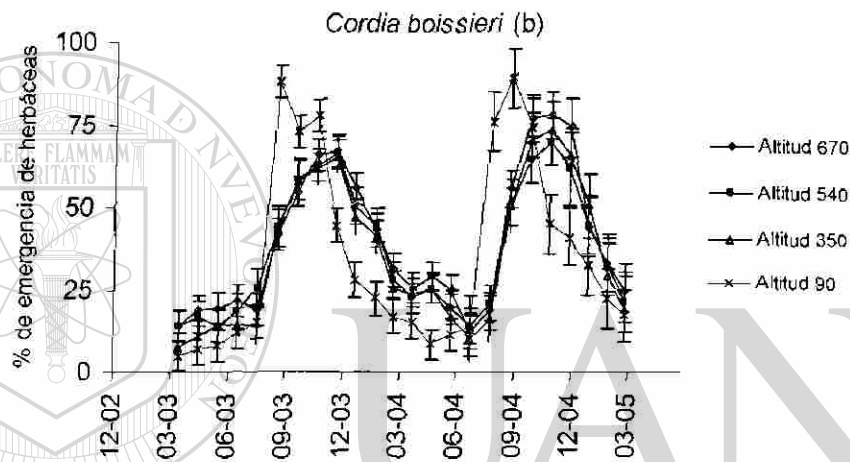
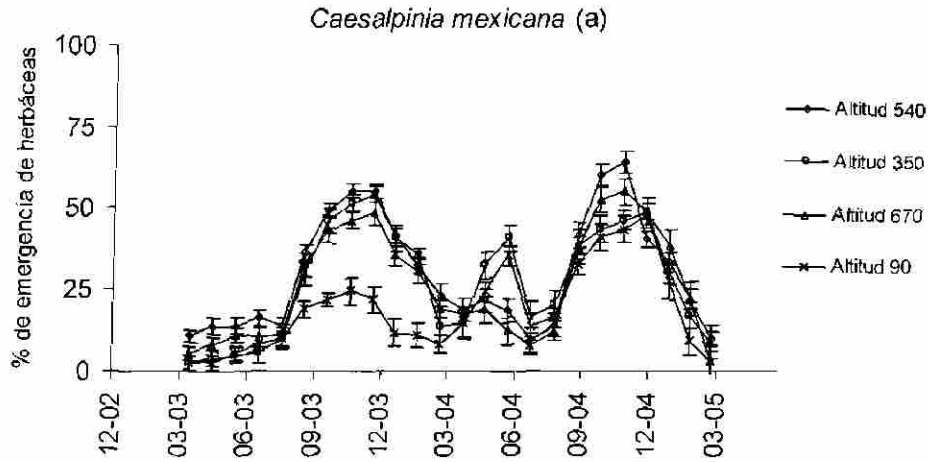


Fig. 33. Porcentaje de emergencia de plántulas herbáceas bajo: (a) *Caesalpinia mexicana*; (b) *Cordia boissieri* y (c) *Ebenopsis ebano*, registrados en cuatro altitudes de 90 a 670 m. Cada punto representa el promedio bajo cobertura de 10 árboles de cada especie. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

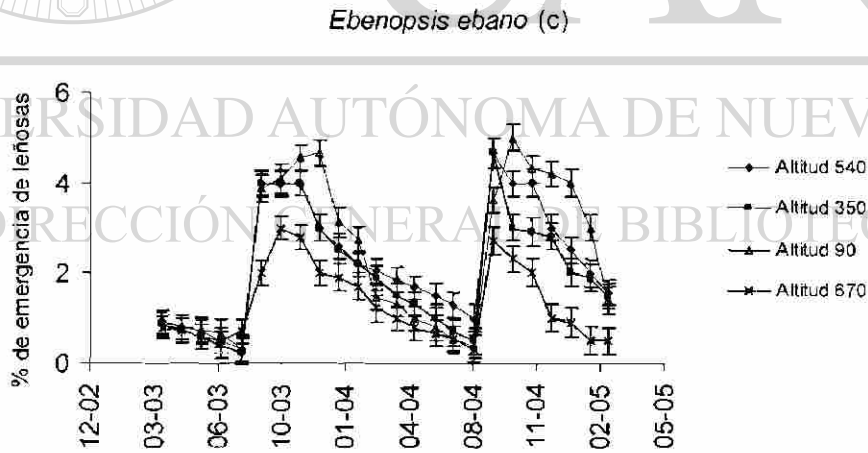
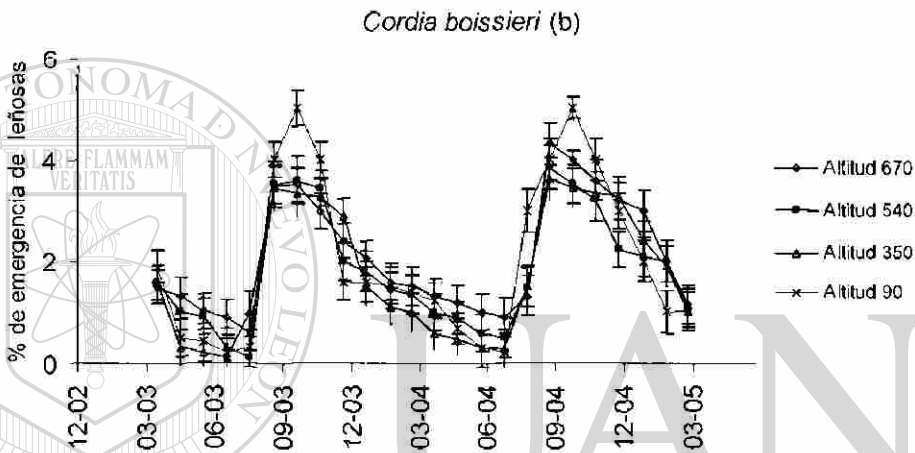
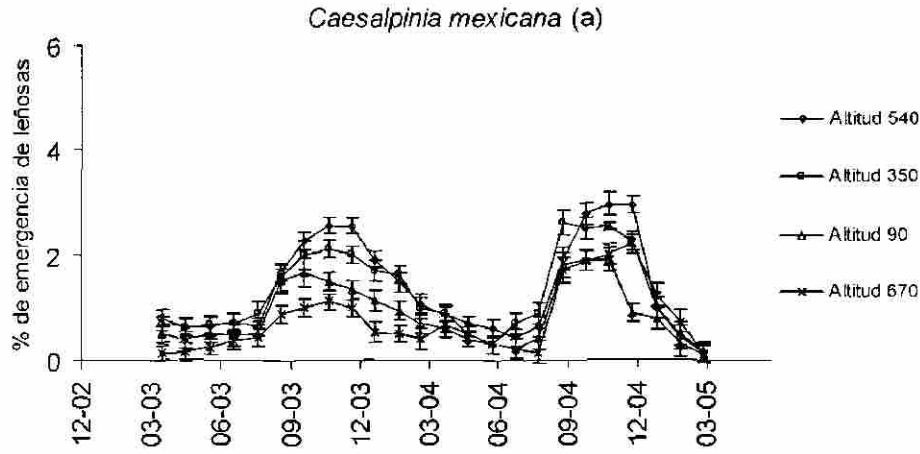


Fig. 34. Porcentaje de emergencia de plántulas leñosas bajo: (a) *Caesalpinia mexicana*; (b) *Cordia boissieri* y (c) *Ebenopsis ebano*, registrados en cuatro altitudes de 90 a 670 m. Cada punto representa el promedio bajo cobertura de 10 árboles de cada especie. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

La emergencia de plántulas gramíneas y otras herbáceas ocurrió principalmente en primavera y a finales del verano y otoño temprano, posterior a los periodos de alta precipitación (Fig. 31a y b). Las figuras (Fig. 32, 33 a-c) muestran baja emergencia de plántulas en primavera, y una alta emergencia de plántulas en verano y otoño temprano. La emergencia de plántulas leñosas (Fig. 34 a-c) se presentó principalmente a finales del verano y principios del otoño.

La emergencia de plántulas de los tres grupos de plantas pudo haber sido favorecida por la cobertura de los arbustos. De acuerdo a Vieira *et al.* (1994) los arbustos proveen nutrientes y mejores condiciones microclimáticas para el establecimiento de plántulas. Según el estudio de Jones & Esler (2004) el dosel de la vegetación estimula la germinación de semillas. Además, Armas & Pugnaire (2005) mencionan que en ambientes semiáridos el arbusto *Cistus clusii* favorece el establecimiento de *Stipa tenacissima*.

Los ANOVAs de dos factores para porcentaje de supervivencia de plántulas gramíneas, otras herbáceas y leñosas, mostraron diferencias estadísticas significativas entre nodrizas ($P < 0.001$; G.L. = 2), entre altitudes ($P < 0.001$; G.L. = 3) y en la interacción altitud X especie para los tres grupos de plantas ($P = 0.004$; G.L. = 6) lo que indica que la supervivencia de plantas bajo las tres especies se comportó de modo diferente en altitudes distintas. Las diferencias entre especies, ambientes e interacción fueron determinadas con la prueba de comparación de medias de Tukey.

Los mayores porcentajes de supervivencia de plántulas gramíneas (Tabla XVIII, Fig. 35 a-c) se presentaron bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540), los porcentajes bajo *Cordia boissieri* fueron intermedios y los más bajos porcentajes se presentaron bajo *Caesalpinia mexicana* a 90 y 350 m.

Tabla XVIII. Porcentajes de supervivencia de plántulas gramíneas herbáceas y leñosas bajo tres especies de matorral.

Especies	<i>Caesalpiniamexicana</i>	<i>Cordia boissieri</i>	<i>Ebenopsis ebano</i>
gramíneas			
Altitud 90 m	4.2 d	6.0 c	28.0 a
Altitud 350 m	6.3 d	8.0 c	26.0 a
Altitud 540 m	7.1 c	18.0 b	24.0 a
Altitud 670 m	3.8 c	20.1 b	8.9 c
otras herbáceas			
Altitud 90 m	4.10 c	19.1 b	25.0 a
Altitud 350 m	4.70 c	21.3 a	29.4 a
Altitud 540 m	15.7 b	23.6 a	26.1 a
Altitud 670 m	12.5 b	26.9 a	11.7 b
Plantas leñosas			
Altitud 90 m	3.38 c	19.9 b	28.0 a
Altitud 350 m	4.40 c	20.8 a	29.8 a
Altitud 540 m	5.10 c	21.6 a	31.4 a
Altitud 670 m	3.50 c	22.6 a	10.0 b

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

Los porcentajes de supervivencia de plántulas herbáceas (Tabla XVIII, Fig. 36 a-c) fueron mayores bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m), *Caesalpinia mexicana* mostró los más bajos porcentajes de supervivencia de plántulas a 90 y 350 m.

Los mayores porcentajes de supervivencia de plantas leñosas (Tabla XVIII, Fig. 37 a-c) se presentaron bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m), los menores promedios los tuvo *Caesalpinia mexicana* en las cuatro elevaciones estudiadas.

Los resultados de supervivencia de plántulas gramíneas, otras herbáceas y leñosas, fueron mayores bajo *Ebenopsis ebano*; estos resultados son acordes a la hipótesis planteada en la presente investigación. La especie *Cordia boissieri* presentó también altos valores de supervivencia de plántulas herbáceas y leñosas debido probablemente a la influencia de la especie y a las condiciones modificadas que provocan la alta densidad de arbustos en su vecindad.

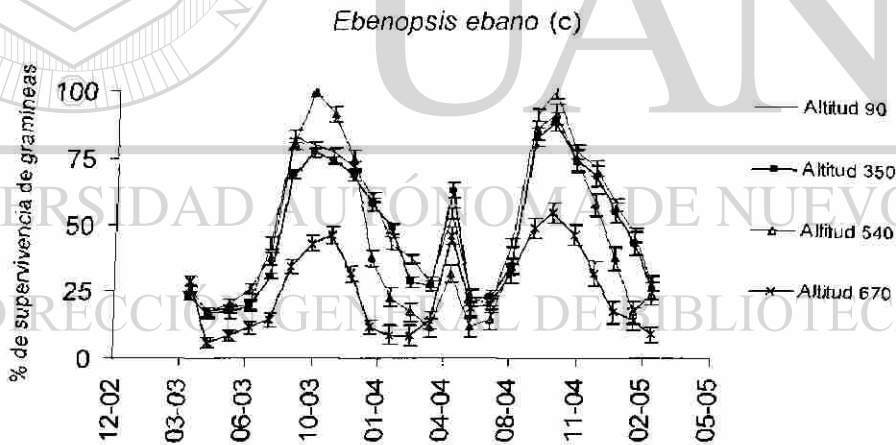
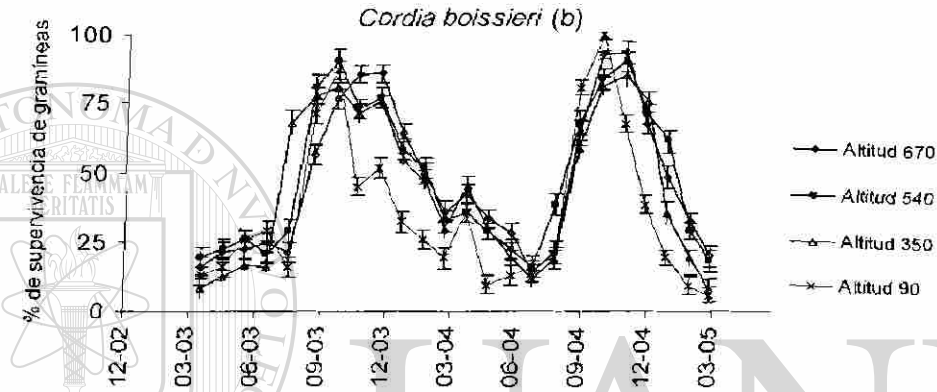
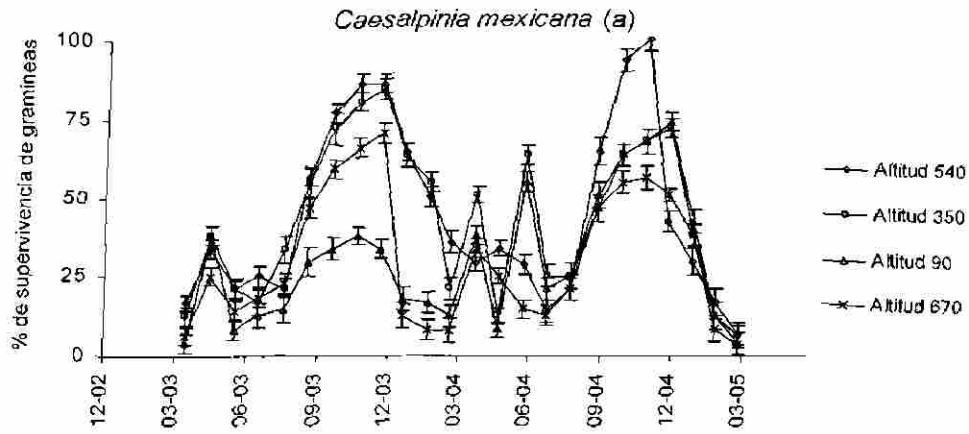


Fig. 35. Porcentaje de supervivencia de plántulas gramíneas bajo: (a) *Caesalpinia mexicana*; (b) *Cordia boissieri* y (c) *Ebenopsis ebano*, registrados en cuatro altitudes de 90 a 670 m. Cada punto representa el promedio bajo cobertura de 10 árboles de cada especie. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

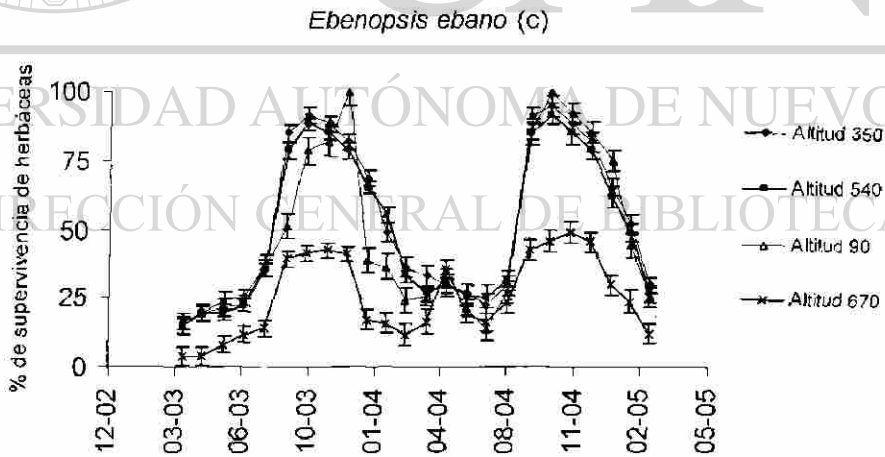
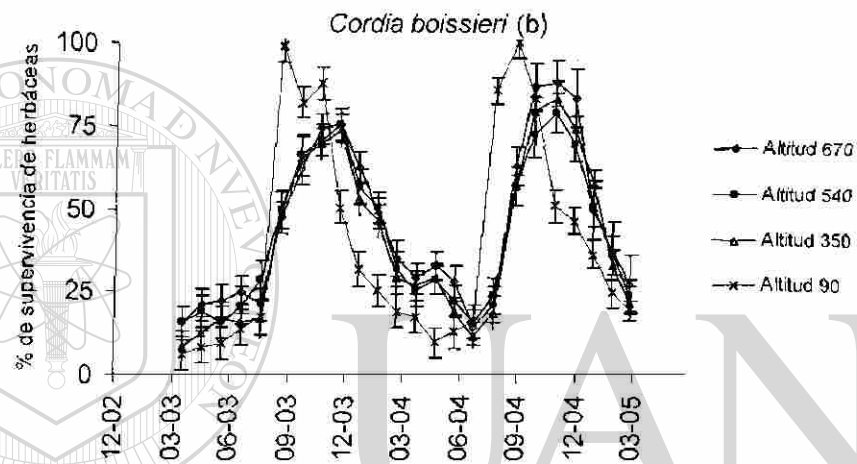
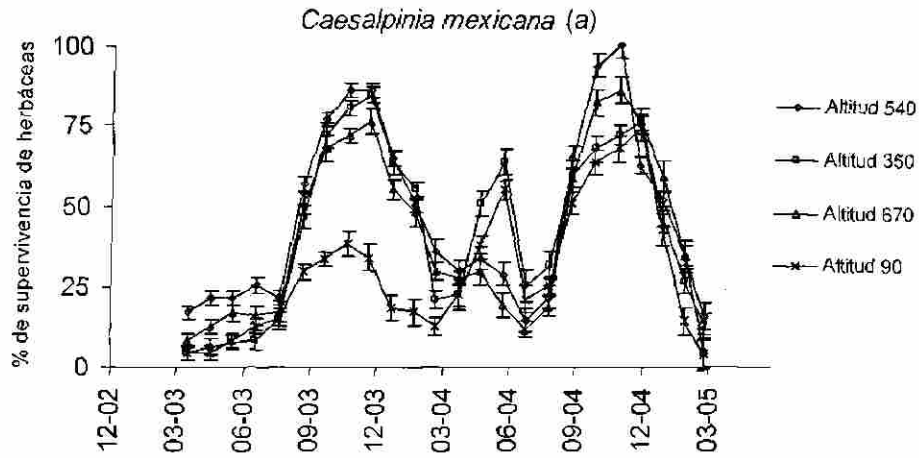


Fig. 36. Porcentaje de supervivencia de plántulas herbáceas bajo: (a) *Caesalpinia mexicana*; (b) *Cordia boissieri* y (c) *Ebenopsis ebano*, registrados en cuatro altitudes de 90 a 670 m. Cada punto representa el promedio bajo cobertura de 10 árboles de cada especie. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

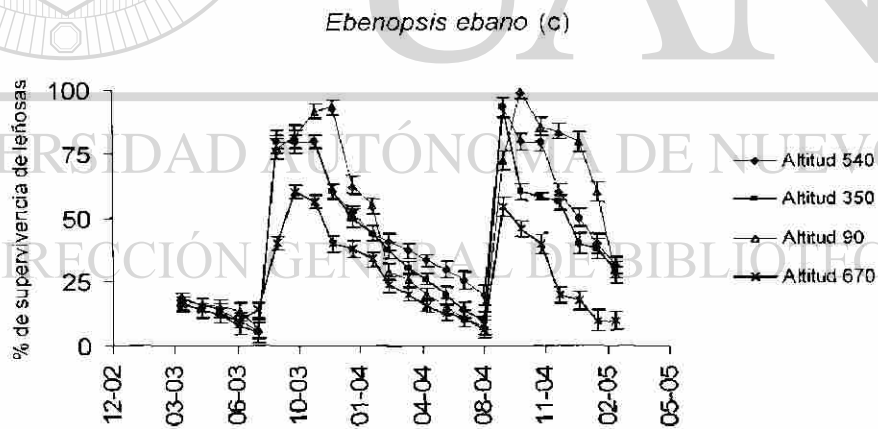
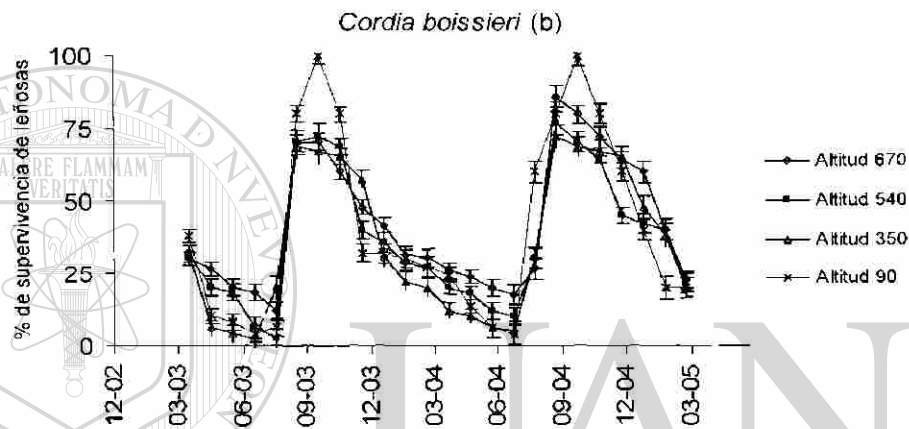
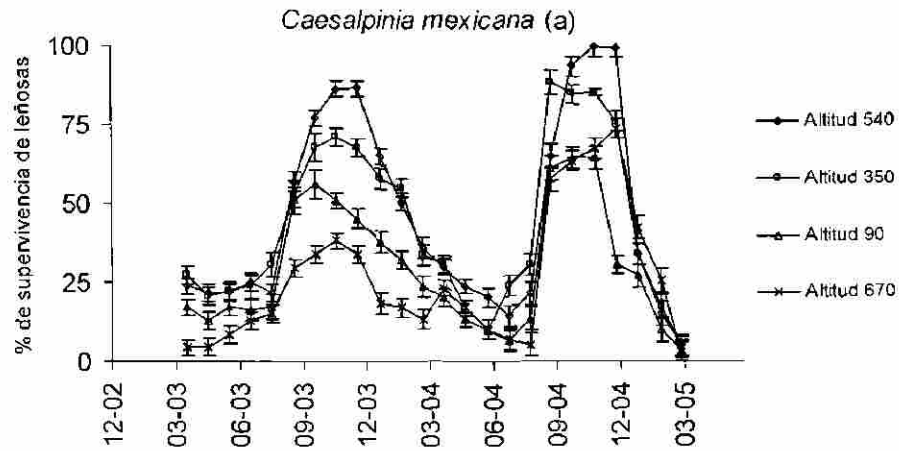


Fig. 37. Porcentaje de supervivencias de plántulas leñosas bajo: (a) *Caesalpinia mexicana*; (b) *Cordia boissieri* y (c) *Ebenopsis ebano*, registrados en cuatro altitudes de 90 a 670 m. Cada punto representa el promedio bajo cobertura de 10 árboles de cada especie. Las barras de error representan los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$).

Las líneas de tendencia de los porcentajes de supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas muestran (Fig. 35, 36, 37 a-c) que

la mortalidad de plantas se presentó en invierno, pero principalmente en verano (Fig. 31a y b), a consecuencia probablemente del estrés abiótico (temperaturas extremas y baja humedad del terreno). De acuerdo con Maestre *et al.* (2005) el estrés abiótico reduce la supervivencia y crecimiento de las plantas. De acuerdo a los estudios de Nobel & Bobich (2002), Castro *et al.* (2004a) y Flores *et al.* (2004) los efectos del estrés abiótico pueden ser reducidos por las plantas nodrizas, los autores mencionan que las plantas nodrizas reducen la mortalidad de plantas debido a que amortiguan los efectos de altas temperaturas y altos niveles de radiación solar. Además el estudio de Fuentes *et al.* (1986) concluyó que en climas secos las plantas nodrizas evitan la desecación del verano y juegan un papel importante para el establecimiento de plantas.

Comparación entre especies nodrizas y elevaciones

Los resultados de emergencia y supervivencias de plántulas gramíneas, herbáceas y leñosas bajo *Caesalpinia mexicana* (Tabla XVII y XVIII) fueron los más bajos de este estudio, debido probablemente a la menor cobertura de planta (Tabla XIII), lo que pudiera provocar mayor incidencia de radiación solar y más estrés ambiental para las plántulas emergidas bajo su cobertura.

La mayor emergencia de plántulas gramíneas bajo *Ebenopsis ebano* y *Cordia boissieri* en las altitudes de 90, 350 y 540 m, sugieren que la cobertura de estos arbustos facilita el establecimiento de este grupo de plantas; sin embargo las especies mostraron diferencias en la supervivencia de plántulas, siendo mayor bajo *Ebenopsis ebano*. Además las plantas gramíneas también juegan el papel de nodrizas. En zonas desérticas facilitan el establecimiento de plántulas (Franco & Nobel 1990). En tierras de pastizales Mandujano *et al.* (1998) mencionan ayudan al establecimiento de *Opuntia rastrera*. Por otra parte el estudio de Jankju-Borzelabad & Griffiths (2006) en tierras áridas mostró que la densidad

inicial de plantas adultas de *Panicum antidotale* favoreció el establecimiento de plántulas de esta especie. Por lo tanto, establecer el papel nodriza-protégido entre gramíneas y arbustos en el noreste de México es complicado.

Los resultados de emergencia y supervivencia de plántulas herbáceas mostraron los más altos valores bajo *Ebenopsis ebano* a 90, 350 y 540 m. Al respecto Tewksbury & Lloyd (2001) mencionan que las plantas nodrizas pueden jugar un papel de facilitador de recursos y una interacción positiva en la estructura de las comunidades de plantas y el crecimiento de la diversidad biológica. La supervivencia de plántulas fue también alta bajo *Cordia boissieri* a 350, 540 y 670 m. A 670 m la supervivencia de plántulas herbáceas bajo *Cordia boissieri* fue mayor que la de *Ebenopsis ebano*, debido probablemente al efecto sobre esta especie de cambios en las interacciones bióticas y abióticas en esta elevación. De acuerdo con Hastwell & Facelli (2003) los cambios en el medioambiente pueden producir modificaciones en las interacciones de las plantas.

Los resultados de emergencia y supervivencia de leñosas muestran altos valores bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes 350, 540 y 670 m) y los más bajos valores para *Caesalpinia mexicana*. Al respecto Castro *et al.* (2004b) menciona que bajo la copa de *Salvia lavandulifolia* se mejoró el establecimiento de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, aún cuando los arbustos son comúnmente considerados competidores para el establecimiento de estas especies.

La cobertura de arbustos probablemente favoreció la emergencia y supervivencia de plántulas, pero otro factor importante fue el suelo bajo la copa de cada arbusto. Dadas las diferencias entre los tres arbustos se esperaría que la condición del suelo entre cada especie de arbusto

presentara diferencias, que pudieran reflejarse en mayor eficiencia como arbusto nodriza.

Las diferencias de emergencia y supervivencia entre las tres especies estudiadas entre elevaciones, muestran probables diferencias entre especies nodrizas, como la que reportaron Rousset y Lepart (2000), quienes mencionan que los arbustos nodrizas *Buxus sempervirens* y *Juniperus communis* favorecen el establecimiento y supervivencia de *Quercus humilis*, pero *Juniperus communis* favorece mayor establecimiento y crecimiento de plantas.

Conclusiones

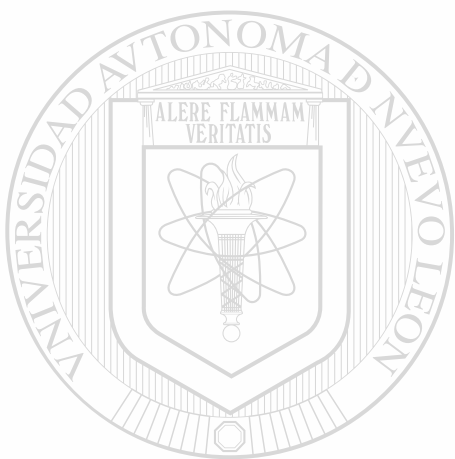
Los mayores promedios de emergencia de plántulas gramíneas se registraron bajo *Cordia boissieri* y *Ebenopsis ebano* a 90, 350 y 540 msnm. La emergencia de plántulas herbáceas fue mayor bajo *Ebenopsis ebano* altitudes de 90, 350 y 540 msnm. La emergencia de plántulas leñosas fue mayor bajo *Cordia boissieri* (altitudes de 90, 350, 540 y 670 m) y *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540).

La emergencia de plántulas gramíneas y herbáceas se presentaron en dos temporadas, primavera y al término del verano y principios de otoño, las plántulas leñosas emergieron principalmente a finales de verano y otoño temprano.

La supervivencia de plántulas gramíneas fue mayor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m). Las plántulas herbáceas sobrevivieron mejor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m). La supervivencia de

plántulas leñosas fue mejor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m).

Las temporadas críticas para la supervivencia de los tres grupos de plantas, en las cuatro altitudes, se presentaron a lo largo del verano y en invierno.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo V

Discusión general y conclusiones

Discusión general

En el primer experimento, la humedad y las altas temperaturas que se presentaron al inicio de primavera y que persistieron hasta otoño tardío en el área de distribución natural de las especies (a 90, 350 y 520 m), y hasta el final del verano en los sitios localizados a 1600 y 1960 m, estimularon la germinación y el crecimiento de plantas. Lo que provocó que las especies *Caesalpinia mexicana*, *Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* y *Melia azederach* presentaran altos promedios de emergencia de plántulas, de crecimiento y de producción de hojas, dentro de su área de distribución natural (a 90, 350 y 520 m) y por encima de ésta (a 1600 m) principalmente en el ensayo de primavera del 2004. En contraste a nuestros resultados de germinación, los estudios de Pérez-García *et al.* (1995), Escudero *et al.* (1997), y Pérez-García & González-Benito (2005); encontraron que las bajas temperaturas (alrededor de 15° C), estimularon la germinación de semillas de especies de plantas del Mediterráneo.

Para los ensayos con riego se pronosticaban altos promedios de germinación, crecimiento de plantas y producción de hojas en los cinco sitios de nuestra investigación, en los cuatro ensayos; acorde a los pronósticos del calentamiento global, los cuales mencionan desplazamiento altitudinal del clima. Sin embargo, las bajas temperaturas, que se presentaron al final del verano a 1600 m pero principalmente a 1960 m fueron el principal factor que limitó la germinación, el crecimiento y la producción de hojas en estas dos elevaciones. Estas dos elevaciones se encuentran fuera del área de distribución natural de las especies. Con

respecto al crecimiento de plantas y producción de hojas, los estudios de Gifford (1992), Myneni *et al.* (1997) y Morison & Lawlor (1999), mencionan que a bajas temperaturas, el crecimiento de la planta podría no ser estimulado por incrementos de CO₂.

De acuerdo a Chuine *et al.* 2000, Chuine & Beaubien (2001) y Phoenix *et al.* (2001), el crecimiento de las plantas y la producción de hojas, son funciones de la fenología, la cual es una característica de las plantas que determina el área de distribución de especies. Por lo tanto; la germinación de plantas, el crecimiento y la producción de hojas de las plantas, dentro de su área de distribución natural (a 90, 350 y 520 m) y por encima de ésta (a 1600 m), muestran el potencial de estas especies para ampliar sus áreas de distribución.

En el segundo experimento, las semillas dependieron de condiciones naturales para su germinación y supervivencia. Por lo tanto; la emergencia de plántulas se presentó asociada a las lluvias de temporada, que se presentaron principalmente a finales del verano y otoño temprano, aunque unas pocas semillas germinaron en primavera.

Los mayores porcentajes de emergencia de plantas 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. Los resultados de emergencia de plántulas en altitudes (90, 350 y 520 m), bajo el área de distribución natural de las especies, coinciden con lo resultados de los estudios de Flores & Jurado (1998), Jurado *et al.* (1998), Jurado *et al.* (2000), García & Jurado (2003), Jurado *et al.* (2006), los cuales mencionan que una gran proporción de especies de matorral germinan en verano y otoño temprano y algunas en primavera, coincidiendo con los meses de mayor precipitación pluvial. Al respecto Smith *et al.* (2000) menciona que la cantidad de lluvias y duración

determina la emergencia de plántulas. Las temporadas de otoño 2003 y otoño 2004, presentaron menores porcentajes de emergencia de plántulas en todas las elevaciones pero principalmente a 1600 y 1960 m. En estas altitudes las bajas temperaturas inhibieron la germinación, lo que coincide con lo reportado por Thompson & Grime (1983), Hilhorst & Karssen (2000) y Flores & Briones (2001).

Después de la emergencia, las plántulas deberán transitar hacia su establecimiento. El periodo de tiempo entre germinación de semilla y establecimiento de planta, es considerado uno de los más vulnerables en el ciclo de vida de las plantas (Harper 1977; Kitajima & Fenner 2000), debido a factores abióticos y bióticos que pueden afectar el establecimiento de especies, tales como: sitios seguros en el hábitat (Harper 1977; Grime 1979; Oswald & Neuenschwander 1993; Flores *et al.* 2004); variación del ambiente (Tilman 1982; Davis 1991), cantidad de mantillo (Facelli & Pickett 1991; Molofsky & Augspurger 1992), luz (Kobe *et al.* 1995; Nicotra *et al.* 1999), temperatura y agua aprovechable (Collingham *et al.* 2000), microtopografía (Augspurger 1984; Huenneke & Sharitz 1986), características físicas y químicas del suelo (Herrera 2002), arribo de semillas (Dalling *et al.* 2002; Russo & Augspurger 2004), presión por herbívoros (Ostfeld & Canham 1993; Gómez *et al.* 2003; Valiente-Banuet & Ezcurra 1991) y patógenos (Augspurger 1983; Packer & Clay 2000), competencia con herbáceas (De Steven 1991), cantidad de lluvias y duración (Smith *et al.* 2000).

De acuerdo a Hulme (2005), se espera que bajo los efectos del cambio climático los ecosistemas semiáridos (como el noreste de México) sean especialmente sensibles a cambios en los regimenes de lluvias; pues en estos ecosistemas el agua aprovechable determina la productividad de la vegetación (Mwalyosi 1992; O'Connor 1994; Robertson *et al.* 2001). El establecimiento de plántulas es un suceso raro y ocasional, debido principalmente a las rigurosas condiciones del

ambiente, como temperaturas extremas, alta intensidad de la radiación solar y bajas precipitaciones (Nobel 1980, 1988; Franco & Nobel 1989; Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Flores & Jurado 2003), además de la depredación por herbívoros (Suzán *et al.* 1994; Mandujano *et al.* 1998; Flores *et al.* 2004) y a la competencia con otras plantas (McAuliffe 1984; Van Auken & Bush 1990; Swank & Oechel 1991; Callaway & Walker 1997). Todo lo anterior convierte la supervivencia de plántulas en una etapa crítica para el establecimiento de la planta. Nuestros resultados muestran mayor supervivencia de plántulas de las semillas sembradas durante la primavera de 2004; debido principalmente a que en esta temporada se presentaron mayores precipitaciones. En nuestro estudio la supervivencia de plántulas estuvo limitada por las altas temperaturas y la probable falta de humedad en el terreno en el verano, y la combinación de bajas temperaturas y carencia de humedad en invierno. Según Clark *et al.* (1998) y Beckage & Clark (2005), la falta de precipitaciones limitan la supervivencia de plantas. Además; Schupp & Frost (1989), Notman *et al.* (1996), Flores *et al.* (2004), mencionan que la supervivencia de plántulas es altamente dependiente del hábitat, aunque las preferencias de hábitat difieren entre especies, lo que pudiera explicar las diferencias de supervivencia entre las especies del presente estudio. Los resultados del presente estudio muestran que además del agua (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Flores *et al.* 2004), otros factores que determinaron la supervivencia de plántulas de este estudio y al mismo tiempo limitaron el establecimiento de plantas fueron: las altas temperaturas (Nobel 1980; Potter *et al.* 1986; Baskin & Baskin 1998), y la alta radiación solar (Salisbury 1942, 1974; Baker 1972; Nobel 1980, 1988; McAuliffe 1984; Franco & Nobel 1989; Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Jurado & Westoby 1992; Flores *et al.* 2004).

En la década de los 80s, los estudios publicados mostraban que el enriquecimiento del CO₂ atmosférico tendría un impacto benéfico en el

crecimiento y desarrollo de las plantas (Kimball 1983; Sionit & Kramer 1986; Eamus & Jarvis 1989). En contraste, estudios posteriores han reportado que las plantas no pueden mantener las aceleradas tasas de la fotosíntesis por largos periodos de tiempo, y reducciones sustanciales de la fotosíntesis, pueden ocurrir días o semanas después de la exposición inicial a altos niveles de CO₂ (Arp 1991; Bowes 1991; Thomas & Strain 1991; Sage 1994). Además, los estudios realizados por Bazzas (1990) y Julkunen *et al.* (1993), mostraron que las elevadas concentraciones de CO₂, alteran la composición de los tejidos de las plantas y sus secreciones, y causan modificaciones en las características fisiológicas de las plantas.

En el presente estudio, el crecimiento de plantas y la producción de hojas de las especies estudiadas presentaron altos promedios en las áreas de distribución de las especies (90, 350 y 520 m) en los cuatro ensayos, pero principalmente en el ensayo de primavera de 2004. Por otra parte, el crecimiento y la producción de hojas fueron limitados por las bajas temperaturas, que afectaron principalmente las plántulas que germinaron en otoño de 2003 y 2004, en las altitudes de 1600 y 1960 m. Con relación a lo anterior, los estudios de Gifford (1992), Pinter *et al.* (1996, 1997), Myneni *et al.* (1997), mencionan que los efectos del cambio climático pueden afectar la longitud del crecimiento estacional y de acuerdo a lo encontrado por Callaway *et al.* (1994) y Jitla *et al.* (1997), afectar también los patrones de asignación de biomasa. Nuestros resultados muestran altos promedios de crecimiento y producción de hojas de las cuatro especies estudiadas a 1600 m, en el ensayo de primavera de 2004, debido probablemente a la combinación de lluvias de verano y altas temperaturas que fueron declinando hasta que se presentaron temperaturas templadas, que de acuerdo a Rawson (1988), estimulan el crecimiento y la producción de hojas.

Nuestras expectativas de los dos experimentos anteriores fueron: encontrar mayores promedios de emergencia de plántulas, supervivencia,

crecimiento y producción de hojas por encima de las áreas de distribución natural de las especies estudiadas. Tales expectativas, de acuerdo a los resultados encontrados en ambos experimentos, no se cumplieron. No obstante; los promedios de germinación, supervivencia, crecimiento y producción de hojas a 1600 m de las especies nativas, indican que el desplazamiento de las especies hacia mayores elevaciones es probable. Sin embargo, los bajos porcentajes de germinación registrados, y la alta mortalidad de plántulas del segundo estudio, sugieren que no es recomendable el establecimiento de plantaciones por semillas directamente sembradas en el suelo, en las cinco elevaciones estudiadas.

Las interacciones entre las plantas determinan en gran proporción la composición y estructura de las comunidades de plantas (Roughgarden & Diamond 1986). Estas interacciones incluyen una serie de efectos positivos y negativos que ejercen las plantas en forma simultánea (Aguiar *et al.* 1992; Pugnaire *et al.* 1996; Holzapfel & Mahall 1999). La magnitud de las interacciones puede cambiar de acuerdo al estadio de vida de la planta (Valiente-Banuet *et al.* 1991; Aguiar *et al.* 1992; Rousset & Lepart 2000), o por la intensidad de severos factores abióticos del ecosistema (Bertness & Callaway 1994; Holzapfel & Mahall 1999; Tielbörger & Kadmon 2000; Tewksbury & Lloyd 2001; Callaway *et al.* 2002), como los que se presentan en ambientes áridos y semiáridos. En estos ambientes, el establecimiento de plántulas está limitado por las condiciones extremas del ambiente; o bien, el establecimiento de plántulas sucede en sitios seguros bajo la copa de plantas nodriza, en donde se tiene un microambiente más benigno (Tielbörger & Kadmon 2000; Tewksbury & Lloyd 2001). Este fenómeno parece ocurrir más frecuentemente en ambientes áridos y semiáridos (Pugnaire & Luque 2001; Tewksbury & Lloyd 2001; Flores & Jurado 2003) como los del noreste de México.

En el tercer experimento, la emergencia de los tres grupos de plantas bajo las tres plantas nodrizas presentó dos tendencias. En la primera, la emergencia para plántulas gramíneas y otras herbáceas

ocurrió principalmente en primavera y a finales del verano y otoño temprano, posterior a los periodos de alta precipitación. En la segunda, la emergencia de plántulas leñosas se presentó principalmente a finales del verano y principios del otoño, similar a la emergencia de plántulas del capítulo III de esta tesis. Esto indica al menos dos estrategias entre las tres formas de vida para iniciar su germinación y establecimiento. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Jurado *et al.* (1998) y García & Jurado (2003), para estas tres formas de vida del matorral tamaulipeco.

El efecto nodriza-protégida favoreció la mayor emergencia de plántulas leñosas, gramíneas y otras herbáceas bajo la copa de la planta nodriza *Ebenopsis ebano* en las altitudes de 90, 350 y 540 m. El arbusto probablemente favoreció el desarrollo y el crecimiento de las plántulas que germinaron bajo su copa. De acuerdo al estudio de Franco & Nobel (1988), las plantas adultas facilitan la germinación y establecimiento de otra especie debido a que los suelos bajo plantas nodrizas comúnmente tienen más nutrientes que en áreas abiertas, lo que genera condiciones benignas para emergencia y supervivencia de plantas (García-Moya & McKell 1970; Pugnaire *et al.* 2004; Tirado & Pugnaire 2003). Además, la sombra bajo la planta nodriza reduce la temperatura y la evaporación de agua del suelo (Domingo *et al.* 1999; Nobel 1980; Fuentes *et al.* 1984; Vetaas 1992; Moro *et al.* 1997; Flores *et al.* 2004).

La alta emergencia de gramíneas (altitudes de 90, 350 y 540 m) y leñosas (altitudes de 90, 350, 540 y 670 m) bajo *Cordia boissieri* pudo ser el resultado de asociaciones con otras especies del matorral, lo que provocó traslape de follaje en el espacio aéreo (observación personal), con probables interacciones bajo el suelo. Estas asociaciones pudieron incrementar la cantidad de agua o los nutrientes aprovechables (Bertness & Callaway 1994; Callaway & Walker 1997; Brooker & Callaghan 1998), y generar condiciones favorables en el terreno para la germinación y el establecimiento de plántulas.

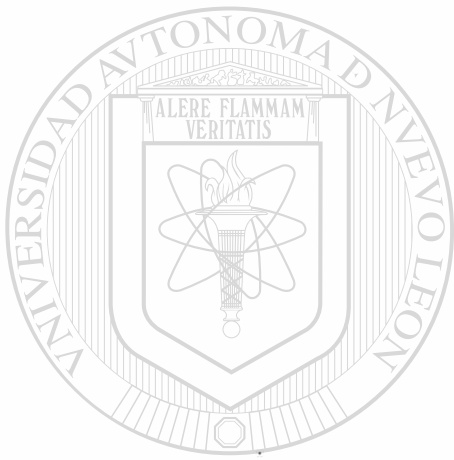
Los más bajos promedios de emergencia y supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas se presentaron bajo *Caesalpinia mexicana*, debido probablemente a menor cobertura y altura de planta, lo que pudiera provocar mayor incidencia de radiación solar y más estrés ambiental para las plántulas emergidas bajo su copa.

La supervivencia de plántulas gramíneas fue mayor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m). Las plántulas herbáceas sobrevivieron mejor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m). La supervivencia de plántulas leñosas fue mejor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m). Las variaciones del ambiente y la sequía principalmente fueron los factores involucrados en la mortalidad de plántulas, lo cual coincide con los resultados de los estudios de Turner (1990), Canham (1989), Briede & McKell (1992), Jones & Sharitz (1998) y Escudero *et al.* (1999). La mortalidad de plántulas de los tres grupos de plantas pudo ser limitada por los efectos positivos de germinar bajo la copa de plantas nodrizas arbustivas, debido probablemente a los efectos positivos de las plantas nodrizas sobre la supervivencia de plántulas (Egerton *et al.* 2000; Tewksbury & Lloyd 2001; Pugnaire *et al.* 1996, Holzappel & Mahall 1999).

Las diferencias mostradas entre *Ebenopsis ebano* y *Cordia boissieri*, para favorecer la emergencia y supervivencia de plantas de los tres grupos de plantas entre elevaciones, muestran probables diferencias entre especies nodrizas, como la que encontró Rousset & Lepar (2000), entre los arbustos *Buxus sempervirens* y *Juniperus communis*.

Se esperaba que bajo *Ebenopsis ebano*, por su gran aporte de materia orgánica del suelo, se presentara mayor germinación y supervivencia de los tres grupos de plantas, sin embargo esto no sucedió

principalmente a 670 m. Los bajos promedios de emergencia de plántulas gramíneas, otras herbáceas y leñosas bajo *Ebenopsis ebano* a 670 m, pudieron deberse a menores promedios de altura y cobertura que esta especie presentó en esta altitud.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Conclusiones

Capítulo II

¿La germinación de semillas de las cuatro especies a los 45 días ocurre de manera similar en sus áreas de distribución actual y en altitudes superiores a estas?

Se encontraron diferencias entre especies. Para *Caesalpinia mexicana* los mayores promedios de emergencia de plántulas se presentaron a 90, 350, 520 y 1600 msnm. La especie *Cordia boissieri* alcanzó mayores promedios de emergencia de plántulas a 520 y 1600 m. El mayor promedio de emergencia de plántulas de *Ebenopsis ebano* se presentó a 350 msnm. Mientras que *Melia azederach* presentó mayores promedios de emergencia de plántulas a 90 y 520 msnm.

¿El crecimiento y la producción de hojas por especie, se presenta de manera similar en todas las elevaciones?

Se encontraron diferencias entre especies. La especie *Caesalpinia mexicana* presentó los más altos valores de crecimiento y producción de hojas a 90, 350, 520 y 1600 msnm. Las plantas de *Cordia boissieri* fueron más altas a 350 y 520 m, y produjeron más hojas a 90, 350, 520 y 1600 m. El crecimiento de plántulas de *Ebenopsis ebano* fue mayor en las altitudes de 90, 350, 520 y 1600 m, y la producción de hojas de esta especie fue alta en las cinco elevaciones estudiadas. El crecimiento de plántulas de *Melia azederach* fue superior a 90, 350 y 520 m, y la producción de hojas fue mayor a 520 m. En general el crecimiento de plántulas y la producción de hojas se presentaron principalmente dentro del área de distribución natural de las especies (altitudes de 90, 350 y 520 m) y por encima a 1600 m.

¿Cuáles son las altitudes con potencial para el establecimiento de plantaciones de estas especies?

Las altitudes dentro del área de distribución de especies (90, 350 y 520 m), presentaron condiciones aptas para la producción de plantas, las cuales pudieran utilizarse en programas de reforestación y restauración de ecosistemas. La producción de plantas puede iniciar en primavera hasta verano. A 1600 m es recomendable el inicio de producción de plantas en primavera. A 1960 m no se recomienda la producción de plantas de estas especies como plantaciones forestales.

Capítulo III

¿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? ¿Cuál es la temporada de emergencia de plántulas de las cuatro especies en las cinco elevaciones?

Se encontraron diferencias entre especies. Para *Cordia boissieri* los mayores porcentajes de germinación se presentaron en las elevaciones de 90, 350, 520 y 1600 msnm. Las especies *Caesalpinia mexicana* y *Ebenopsis ebano* presentaron mayor germinación a 90, 350, 520 y 1600 msnm, y *Melia azederach* presentó mayores promedios de germinación a 90, 350 y 520 msnm. Los menores porcentajes de emergencia de plántulas 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 de plántulas en verano y otoño temprano.

¿Dónde se presentan mayores porcentajes de sobrevivencia de plántulas de las cuatro especies? ¿En sus áreas de distribución actual? ¿En elevaciones superiores a sus áreas actuales de distribución?

Se encontraron diferencias entre especies. 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. Las cuatro especies presentaron mayor supervivencia de plántulas en sus áreas actuales de distribución. Las especies *Cordia boissieri* y *Melia azederach* presentaron también alta supervivencia a 1600 m.

¿Dónde se presenta mayor crecimiento de plantas y producción de hojas por especie? ¿En sus áreas de distribución actual? ¿En elevaciones superiores a sus áreas actuales de distribución?

Se encontraron diferencias entre especies. Para *Caesalpinia mexicana* el crecimiento fue mayor a 90, 350, 520 y 1600 msnm, y presentó mayor producción de hojas a 520 y 1600 m. La especie *Cordia boissieri* alcanzó mayor longitud a 1600 m y produjo más hojas a 520 y 1600 m. El crecimiento y la producción de hojas de *Ebenopsis ebano* fueron mayores a 90, 350, 520 y 1600 msnm, mientras que *Melia azederach* presentó mayores promedios de longitud de planta y producción de hojas a 520 y 1600 msnm.

¿Es conveniente realizar plantaciones de las especies estudiadas con semillas sembradas? ¿En sus áreas de distribución originales? ¿O por encima de sus elevaciones originales?

Los porcentajes de germinación registrados y la alta mortalidad de plántulas del presente estudio sugieren que el establecimiento de plantaciones por semilla sembrada al suelo, en las cinco elevaciones estudiadas, en condiciones de campo, no es recomendable.

Capítulo IV

¿La emergencia de semillas de los tres grupos funcionales de plantas (gramíneas, otras herbáceas y leñosas) ocurre de manera similar bajo la cobertura de las tres especies en las cuatro elevaciones?

Se encontraron diferencias entre especies. Los mayores promedios de emergencia de plántulas gramíneas se registraron bajo *Cordia boissieri* y *Ebenopsis ebano* a 90, 350 y 540 msnm. La emergencia de plántulas herbáceas fue mayor bajo *Ebenopsis ebano* en altitudes de 90, 350 y 540 msnm. La emergencia de plántulas leñosas fue mayor bajo *Cordia boissieri* (altitudes de 90, 350, 540 y 670 m) y *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540).

¿Cuáles son las temporadas de emergencia de plántulas de los tres grupos de plantas en las cuatro elevaciones?

La emergencia de plántulas gramíneas y otras herbáceas se presentó en dos temporadas, en primavera y al término del verano y principios de otoño. Las plántulas leñosas emergieron principalmente a finales de verano y otoño temprano.

¿La supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas ocurre de manera similar bajo la cobertura de las tres especies, en los cuatro ambientes?

Se encontraron diferencias entre especies. La supervivencia de plántulas gramíneas fue mayor bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m). La supervivencia de plántulas herbáceas fue más alta bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m). La mayores porcentajes de supervivencia de plántulas leñosas se presentaron bajo *Ebenopsis ebano* (altitudes de 90, 350 y 540 m) y *Cordia boissieri* (altitudes de 350, 540 y 670 m).

¿Cuales son las temporadas críticas de supervivencia de plántulas de los tres grupos de plantas?

Las temporadas críticas para la supervivencia de los tres grupos funcionales de plantas bajo las tres especies en las cuatro altitudes, se presentaron a lo largo del verano y en invierno.

Referencias

- Abu-Asab, M.S., Peterson, P.M., Shetler, S.G. & Orli, S.S. (2001) Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington, DC, area. *Biodiversity and Conservation*. 10 (4), 597-612.
- Aguiar, M.R., Soriano, A. & Sala, O.E. (1992) Competition and facilitation in the recruitment of seedlings in Patagonian steppe. *Functional Ecology*, 6, 66 –70.
- Alanís, G. (1981) Aprovechamiento de la flora nativa en el estado de Nuevo León. In: González Vicente, C.E., Casas Días, I. & Padilla Ibarra, R. (Editores). Memoria de la Primera Reunión sobre Ecología, Manejo y Domesticación de Plantas Útiles del Desierto. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, SARH, Monterrey. Publicación Especial 31:220-227.
- Alig, R.J., Adams, D.M. & McCarl, B.A. (2002) Projecting impacts of global climate change on the US forest and agricultural sectors and carbon budgets. *Forest Ecology and Management*, 169, 3–14.
- Alvarado, M.A., Foroughbakhch, P.R., Jurado, E. & Rocha, A. (2002) El cambio climático y la fenología de las plantas. *Ciencia UANL*. V, (4), 493–500.
- Anónimo, (2000) Fires in the Southern Cape Peninsula, Western Cape Province, South Africa January 2000. *IFFN*, 22, April: 69-75.
- Anónimo, (1995) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate change 1995: The Science of Climate Change Houghton, J.T. et al. eds) Cambridge University Press.
- Armas, C. & Pugnaire, F.I. (2005) Plant interactions govern population dynamics in a semi-arid plant community. *Journal of Ecology* 93 (5), 978-989.
- Arntzen, J., Downing, T., Leemans, R., Malcolm, J., Reynard, N., Ringrose, S. & Rogers, D. (1996) Climate Change and Southern Africa: An exploration of some potential impacts in the SADC region. 104 pp. World Wildlife Fund, Climatic Research Unit.
- Arp, W.J. (1991) Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. *Plant Cell and Environment* 14, 869–875.

Arrhenius, S. (1896) on the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground *Philosophy Magazine* 41, 237-276.

Augspurger, C. (1984) Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light-gaps, and pathogens. *Ecology*, 65, 705–1712.

Augspurger, C. (1983) Seed dispersal of the tropical tree, *Platypodium elegans*, and the escape of its seedlings from fungal pathogens. *Journal of Ecology*, 71, 759–771.

Baker, H.G. (1972) Seed weight in relation to environmental conditions in California. *Ecology* 53, 997-1010.

Bannister, P., Maegli, T., Dickinson, K.J.M., Halloy, S.R.P., Knight, A., Lord, J.M., Mark, A.F. & Spencer, K.L. (2005) Will loss of snow cover during climatic warming expose New Zealand alpine plants to increased frost damage? *Oecologia* (144), 2, 245-256.

Barry, J., Baxter, C., Sagarin, R. & Gilman, S. (1995) Climate related, long-term faunal changes in a Californian rocky intertidal community. *Science* 267, 672-675.

Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (1998) *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego: Academic Press. 666 pp.

Bazzas, F.A. (1990) The response of natural ecosystems to the rising global CO₂ levels. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 167-196.

Bazzas, F.A., Jasiensky, M., Thomas, S.C. & Wayne, P. (1995) Microevolutionary responses in experimental populations of plants to CO₂-enriched environments: parallel results from two model systems. *Proceedings of the national Academy of Science USA*, 92, 8161-8165.

Beckage, B. & Clark, J.S. (2005) Does predation contribute to tree diversity? *Oecologia*, 143, 458–469.

Beebee, T. (1995) Amphibian breeding and climate. *Nature* 374, 219-220.

Beerling, D.J. & Woodward, F.I. (1996) In situ gas exchange responses of boreal vegetation to elevated CO₂ and temperature: first season results. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 5, 117–127.

- Beniston, M. (1997) Variations of snow depth, and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in the large scale climatic forcings. *Climatic Change*, 36, 281-300.
- Bertness, M.D. & Callaway, R.M. (1994) Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 9, 191– 193.
- Boer, M.M., Koster, E.A. & Lundberg, H. (1990) Greenhouse impact in Fennoscandia – preliminary findings of a European workshop on the effects of climatic change. *Ambio*, 19, 2 –10.
- Bowes, G. (1991) Growth at elevated CO₂: photosynthetic responses mediated through Rubisco. *Plant, Cell and Environment* 14, 795–806.
- Bret-Harte, M.S., Garcia, E.A., Sacré, V.M., Whorley, JR., Wagner J.L., Lippert, S.C. & Chapin III, S. (2004) Plant and soil responses to neighbour removal and fertilization in Alaskan tussock tundra. *Journal of Ecology*, 92:635–647.
- Briede, J.W., & McKell, C.M. (1992) Germination of seven perennial arid land species, subjected to soil moisture stress, *Journal of Arid Environments*, 23, 263-270.
- Brooker, R.W. & Callaghan, T.V. (1998) The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos*, 81, 196 –207.
- Callaghan, T.V. & Jonasson, S. (1995) Arctic terrestrial ecosystems and environmental change. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 352, 259–276.
- Callaway, R.M., Brooker, R.W., Choler, P., Kikvidze, Z., Lortie, C.J., Michalet, R., Paolini, L., Pugnaire, F.I., Newingham, B., Aschehoug, E.T., Armas, C., Kikodze, D. & Cook, B.J. (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 417, 844–848.
- Callaway, R.M. & Walker, L.R. (1997) Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78, 1958–1965.
- Callaway, R.M., DeLucia, E.H., Thomas, E.M. & Schlesinger, W.H. (1994) Compensatory responses of CO₂ exchange and biomass allocation and their effects on the relative growth rate of ponderosa pine in different CO₂ and temperature regimes. *Oecologia* 98, 159-166.

- Canham, C.C. (1989) Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology*, 70, 548-550.
- Carter, D.R. & Peterson, K.M. (1983) Effect a CO₂-enriched atmosphere on the growth and competitive interaction of a C₃ and C₄ grass. *Oecologia*, 58, 188-193.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A. & Gómez, J.M. (2004a) Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *Journal of Ecology*, 92, 266-277.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M. & Gómez-Aparicio, L. (2004b) Benefits of Using Shrubs as Nurse Plants for Reforestation in Mediterranean Mountains: A 4-Year Study. *Restoration Ecology* 12 (3), 352-358.
- Ceulemans, R. & Mousseau, M. (1994) Tansley review no. 71: effects of elevated atmospheric CO₂ on woody plants. *New Phytologist* 127, 425-446.
- Chuine, I. & Beaubien, E.G. (2001) Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters* 4 (5), 500-510.
- Chuine, I., Belmonte, J. & Mignot, A. (2000) A modelling analysis of the genetic variation of phenology between tree populations. *Journal of Ecology* 88 (4), 561-570.
- Clark, J.S. (1998) Why trees migrate so fast: confronting theory with dispersal biology and the paleorecord. *American Naturalist* 152, 204-224.
- Clark, J.S., Macklin, E. & Wood, L. (1998) Stages and spatial scales of recruitment limitation in southern Appalachian forests. *Ecological Monographs*, 68, 213-235.
- Coats, R., Perez-Losada, J., Schladow, G., Richards, R. & Goldman, C. (2006) The Warming of Lake Tahoe. *Climatic Change* (76), 1-2, 121-148.
- Coe, M.T. & Foley, J.A. (2001) Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin, *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 106, D4; 3349-3356.
- Coley, P.D. (1998) Possible Effects of Climate Change on Plant/Herbivore Interactions in Moist Tropical Forests. *Climatic Change*, (39), 2-3, 455-472.

- Collingham, Y.C., Wadsworth, R.A., Willis, S.G., Huntley, B. & Hulme, P.E. (2000) Predicting the spatial distribution of alien riparian species: issues of spatial scale and extent. *Journal of Applied Ecology*, 37 (Supplement 1), 13–27.
- Cornelissen, J.H.C., Callaghan, T.V., Alatalo, J. M., Michelsen, A., Graglia, E., Hartley, A.E., Hik, D.S., Hobbie, S.E., Press, M.C., Robinson, C.H., Henry, G.H.R., Shaver, G.R., Phoenix, G.K., Gwynn Jones, D., Jonasson, S., Chapin, F.S., Molau, U., Neill, C., Lee, J.A., Melillo, J.M., Sveinbjörnsson, B. & Aerts, R. (2001) Global change and arctic ecosystems: is lichen decline a function of increases in vascular plant biomass? *Journal of Ecology*, 89 (6), 984–994.
- Crick, H.C., Dudley, D.G. & Thomson, D. (1997) UK birds are laying eggs earlier. *Nature* 388, 526.
- Cullen, L.E., Stewart, G.H., Duncan, R.P. & Palmer, J.G. (2001) Disturbance and climate warming influences on New Zealand *Nothofagus* tree-line population dynamics. *Journal of Ecology*, 89 (6), 1061–1071.
- Curtis, P.S. & Wang, X. (1998) A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia* 113, 299–313.
- Curtis, P.S. (1996) A meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. *Plant, Cell and Environment* 19, 127–137.
- Curtis, P.S., Drake, B.G., Leadley, P.W., Arp, W.J. & Whigham, D.F. (1989) Growth and senescence in plant communities exposed to elevated CO₂ concentrations on an estuarine marsh. *Oecologia*, 78, 20–26.
- Dalling, J.W., Muller-Landau, H.C., Wright, S.J. & Hubbell, S.P. (2002) Role of dispersal in the recruitment limitation of neotropical pioneer species. *Journal of Ecology*, 90, 714–727.
- Davis, M., Pritchard, S., Mitchell, R., Prior S., Rogers, H. & Runion, B. (2002) Elevated atmospheric CO₂ affects structure of a model regenerating longleaf pine community. *Journal of Ecology*, 90, 130–140.
- Davis, M.B. (1986) Climatic instability, time lags and community disequilibrium. *Community Ecology* (eds J. Diamond & T. J. Case), pp. 269–284. Harper & Row, New York.
- Davis, S. D. (1991) Lack of niche differentiation in adult shrubs implicates the importance of the regeneration niche.- *Trends in Ecology and Evolution*. 6: 272-274.

- De Steven, D. (1991) Experiments on mechanisms of tree establishment in old-field succession: seedling survival and growth. *Ecology*, 72, 1076–1088.
- Díaz, S., Fraser, L.H., Grime, J.P. & Falczuk, V. (1998) The impact to elevated CO₂ on plant-herbivore interactions: experimental evidence of moderating effects at the community level. *Oecologia* 117, 177-186.
- Dirnböck, T., Dullinger, S. & Grabherr, G. (2003) A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30, 401-417.
- Domingo, F., Villagarcía, L., Brenner, A.J. & Puigdefábregas, J. (1999) Evapotranspiration model for semi-arid shrub-lands tested against data from SE Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95, 67–84.
- Dorrepaal, E., Cornelissen, J.H.C., Aerts, R., Wallén, B. & Van Logtestijn, R.S.P. (2005) Are growth forms consistent predictors of leaf litter quality and decomposability across peatlands along a latitudinal gradient. *Journal of Ecology*, 93 (4), 817-828.
- Eamus, D. & Jarvis, P.G. (1989) The direct effects of increase in the global atmospheric CO₂ concentration on natural and commercial temperate trees and forests. *Advances in Ecological Research* 19, 1–55.
- Egerton, J.J.G., Banks, J.C.G., Gibson, A., Cunningham, R.B. & Ball, M.C. (2000) Facilitation of seedling establishment: Reduction in irradiance enhances winter growth of *Eucalyptus pauciflora*. *Ecology* 81, 1437–1449.
- Epstein, P., Diaz, H., Elías, S.G., Grabherr, G., Graham, N., Martens, W., Thompson, E.M. & Susskind, J. (1998) Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79, 409-417.
- Epstein, P. (1997) Climate, ecology and human health. *Consequences* 3, 319.
- Escudero, A., Somolinos, R.C., Olano, J.M. & Rubio, A. (1999) Factors controlling the establishment of *Hellianthemum squamatum* and edemic gypsophile of semi-arid Spain. *Journal of Ecology*, 87, 290-302.

- Escudero, A., Carnes, L.F. & Pérez-García, F. (1997) Seed germination of gypsophytes and gypsums in semi-arid central Spain. *Journal of Arid Environment* 36, 487-497.
- Estrada, E. & Marroquín, J. (1991) Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Rep. Cient. No. 10 (especial), Linares N.L. México, 258 pp.
- Facelli, J.M. & Pickett, S.T.A. (1991) Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *Botanical Review*, 57, 1-25.
- Fenner, M. & Thompson, K. (2005) *The Ecology of Seeds*. Cambridge University Press, Cambridge. 250 pp.
- Fischer, M., Matthies, D. & Schmidet, B. (1997) Responses of rare calcareous grassland plants to elevated CO₂: a field experiment with *Gentianella germanica* and *Gentiana cruciata*. *Journal of Ecology* 85, 681-691.
- Flores, J., Briones, O., Flores, A. & Sánchez-Colón, S. (2004) Effect of predation and solar exposure on the emergence and survival of desert seedlings of contrasting life-forms. *Journal of Arid Environments*. 58, 1-18.
- Flores, J. & Jurado, E. (1998) Germination and early growth traits of 14 plant species native to northern Mexico. *Southwestern Naturalist* 43, 40-46.
- Flores, J. & Jurado, E. (2003) Are nurse-protége interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science*, 14, 911-916.
- Flores, J. & Briones, O. (2001) Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environment* 47, 485-497.
- Floros, C.D., Samways, M.J. & Armstrong, B. (2004) Taxonomic patterns of bleaching within a South African coral assemblage. *Biodiversity and Conservation* 13 (6), 1175 - 1194.
- Foroughbakhch, P.R. (1989) Tratamiento a la semilla de catorce especies de uso múltiple de zonas de matorral y su influencia en la germinación. Rep. Cient. No. 11, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares N.L. México. 20 pp.
- Fowbert, J.A. & Smith, R.I.L. (1994) Rapid population increases in native vascular plants in the Argentine Islands, Antarctic Peninsula. *Arctic and Alpine Research*, 26, 3, 290-296.

Franco, A.C. & Nobel, P.S. (1988) Interactions between seedlings of *Agave deserti* and the nurse plant *Hilaria rigida*. *Ecology*, 69, 1731–1740.

Franco, A.C. & Nobel, P.S. (1989) Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77, 870-886.

Franco, A.C. & Nobel, P.S. (1990) Influences of root distribution and growth on predicted water uptake and interspecific competition. *Oecologia* 82 (2), 151 – 157.

Frenot, Y., Gloaguen, J.C., Picot, G., Bougère, J. & Benjamin, D. (1993) Azorella selago Hook. used to estimate glacier fluctuations and climatic history in the Kerguelen Islands over the last two centuries. *Oecologia* (95), 1, 140-144.

Fuentes, E.R., Otaiza, R.D., Alliende, M.C., Hoffmann, A. & Poiani, A. (1984) Shrub clumps of the Chilean matorral vegetation: structure and possible maintenance mechanisms. *Oecologia*, 62, 405–411.

Fuentes, E.R., Hoffmann, A.J., Poiani, A. & Alliende, M.C. (1986) Vegetation change in large clearings: Patterns in the Chilean matorral. *Oecologia* 68 (3), 358 – 366.

Gamache, I. & Payette, S. (2005) Latitudinal response of subarctic tree lines to recent climate change in eastern Canada. *Journal of Biogeography* 32 (5), 849-862.

Gamache, I. & Payette, S. (2004) Height growth response of tree line black spruce to recent climate warming across the forest-tundra of eastern Canada. *Journal of Ecology* 92 (5), 835-845.

García, J. & Jurado, E. (2003) Influence of plant cover on germination in matorral in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 177, 11-16.

García-Moya, E. & McKell, C.M. (1970) Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology*, 51, 81– 88.

Ghannoum, O., Von Caemmerer, S., Barlow, E.W.R. & Conroy, J.P. (1997) The effect of CO₂ enrichment and irradiance of the growth morphology and gas exchange of a C₃ (*Panicum laxum*) and a C₄ (*Panicum antidotale*) grass. *Australian Journal of Plant Physiology* 24, 227-237.

Gifford, R.M. (1992) Interaction of carbon dioxide with growth limiting environmental factors in vegetation productivity: implications for the global carbon cycle. *Advances in Bioclimatology* 1, 24-58.

Gómez, J.M., García, D. & Zamora, R. (2003) Impact of vertebrate acorn- and seedling-predators on a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. *Forest Ecology and Management*, 180, 125–134.

González, M., Jurado E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J. & Navar, J. (2003) Cambio climático mundial, origen y consecuencias. *Ciencia UANL* VI, (3), 377–385.

Grabherr, G., Gottfried, M., Gruber, A. & Pauli, H. (1995) Patterns and current changes in alpine plant diversity. In: Chapin FS III, Körner Ch (eds) *Arctic and Alpine Biodiversity*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 167–181.

Grabherr, G., Gottfried, M. & Pauli, H. (1994) Climate effects on mountain plants. *Nature* 369, 448.

Grace, J. (1997) The oceanic tree-line and the limit for tree growth in Scotland. *Botanical Journal of Scotland*, 49, 223–236.

Graetz, R.D. (1991) The nature and significance of the feedback of changes in terrestrial vegetation on global atmospheric and climatic change. *Climatic Change*, (18), 2-3, 147-173.

Grime, J.P. (1979) *Plant strategies and vegetation processes*. Chichester/NY: Wiley. 222 pp.

Gunderson, C.A. & Wullschleger, S.D. (1994) Photosynthetic acclimation in trees to rising atmospheric CO₂: a broader perspective. *Photosynthesis Research* 39, 369–388.

Haeberly, W. & Beniston, M. (1998) Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the alps. *Ambio* 27, 258-265.

Hanley, M.E. & Fenner, M. (1997) Seedling growth of four fire-following Mediterranean plant species deprived of single mineral nutrients. *Functional Ecology* 11 (3), 398-405.

Harper, J.L. (1977) *Population Biology of Plants*. Academic Press, London.

Harrington, R., Wolwood, L.I. & Sparks, T. (1999) Climate change and trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution* 14, 146-150.

- Hastwell, G.T. & Facelli, J.M. (2003) Differing effects of shade-induced facilitation on growth and survival during the establishment of a chenopod shrub. *Journal of Ecology* 91, (6), 941-950.
- Heiseke, D. & Foroughbakhch, R. (1985) El Matorral Como Recurso Forestal. Reporte Científico No. 1. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Naturales, U.A.N.L., Linares N.L. México, 31 pp.
- Hepper, F.N. (2003) Phenological records of English garden plants in Leeds (Yorkshire) and Richmond (Surrey) from 1946 to 2002. An analysis relating to global warming. *Biodiversity and Conservation*, 12 (12), 2503 – 2520.
- Herrera, C.M. (2002) Topsoil properties and seedling recruitment: stage-dependence and spatial decoupling of influential parameters. *Oikos*, 97, 260 –270.
- Hewitt, N. & Kellman, M. (2002) Tree seed dispersal among forest fragments: I. Conifer plantations as seed traps. *Journal of Biogeography* 29, 337–349.
- Higgins, S.I., Clark, J.S., Nathan, R., Hovestadt, T., Schurr, F., Fragoso, J.M.V., Aguiar, M.R., Ribbens, E. & Lavorel, S. (2003) Forecasting plant migration rates: managing uncertainty for risk assessment. *Journal of Ecology* 91, 341-347.
- Hilhorst, H.W.M. & Karssen, C.M. (2000) Effect of chemical environment on seed germination. En: M. Fenner (Editor), *Seeds: the Ecology of Regeneration in plant communities*, 2nd edn, pp.293-310. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Hofgaard, A. (1997) Inter-relationships between treeline position, species diversity, land use and climate change in the central Scandes Mountains of Norway. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6, 357– 368.
- Holten, J.I. & Carey, P.D. (1992) Responses of climate change on natural terrestrial ecosystems in Norway. NINA Forskningsrapport, 29, 1–59.
- Holtmeier, F.K. & Broll, G. (2005) Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology & Biogeography* 14 (5), 395-410.

Holzapel, C. & Mahall, B.E. (1999) Bidirectional facilitation and interference between shrubs and annuals in the Mojave desert. *Ecology*, 80, 1747–1761.

Houghton, J.T., Callander, B.A. & Varney, S.K. (1990) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 365.

Houghton, J.T., Callander, B.A. & Varney, S.K. (1992) *Climate Change 1992: The Supplemental Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 200.

Houghton, J.E.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguera, M., Van Der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C.A. (2001) *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Huenneke, L.F. & Sharitz, R.R. (1986) Microsite abundance and distribution of woody seedlings in a South Carolina cypress-tupelo swamp. *American Midland Naturalist*, 115, 328–335.

Hughes, L. (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15, 56-61.

Hulme, P.E. (2005) Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42, 784–794.

Hunt, R., Hand, D.W., Hannah, M.A. & Neal, A.M. (1993) Further responses to CO₂ enrichment in British herbaceous species. *Functional Ecology*, 7, 661-668.

Idso, K.E. & Idso, S.B. (1994) Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years' research. *Agricultural and Forest Meteorology* 69, 153–203.

Jankju-Borzelabad, M. & Griffiths, H. (2006) Competition for pulsed resources: an experimental study of establishment and coexistence for an arid-land grass. *Oecologia*. 148 (4) 555-563.

Jensen, M.W. (2003) Consensus on ecological impacts remains elusive. *Science* 299:38.

Jifon, J.L., Friend, A.L. & Berrang, P.C. (1995) Species mixture and soil-resource availability affect the root growth response of tree seedling to elevated atmospheric CO₂. *Canadian Journal of Forest Research*, 25, 824-832.

Jitla, D.S., Rogers, G.S., Seneweera, S.P., Oldfield, R.F. & Conroy, J.P. (1997) Accelerated early growth of rice at elevated CO₂- Is it related to developmental changes in the shoot apex? *Plant Physiology* 115, 15-22.

Johnson, S.L. & Stefan, H.G. (2006) Indicators of Climate Warming in Minnesota: Lake ICE Covers and Snowmelt Runoff. *Climate Change* 75 (4), 421-453.

Jones, R.H. & Sharitz, R.R. (1998) Survival and growth of woody plant seedlings in the understory of floodplain forest in South Carolina. *Journal of Ecology*, 86: 574-587.

Jones, F.E. & Esler, K.J. (2004) Relationship between soil-stored seed banks and degradation in eastern Nama Karoo rangelands (South Africa). *Biodiversity and Conservation* 13 (11), 2027-2053.

Julkunen-Tiitto, R., Tahvanainen, J. & Silvola, J. (1993) Increased CO₂ and nutrient status changes affect phytomass and the production of plant defensive secondary chemicals in *Salix myrsinifolia* (Salisb.). *Oecologia*, 95, 495-498.

Jurado, E., García, J.F., Flores, J. & Estrada, E. (2006) Leguminous seedling establishment in Tamaulipan thornscrub of Northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 221, 133-139.

Jurado, E., Aguirre, O., Flores, J., Navar, J., Jiménez, J., Villalón, H. & Wester, D. (2000) Germination in Tamaulipan thornscrub of northeastern México. *Journal of Arid Environments*, 46, 413-424.

Jurado, E., Flores, J., Navar, J. & Jiménez, J. (1998) Seedling establishment under native tamaulipan thornscrub and *Leucaena leucocephala* plantation. *Forest Ecology and Management*, 105, 151-157.

Jurado, E. & Westoby, M. (1992) Seedling growth in relation to seed size among species of arid Australia. *Journal of Ecology*, 80, 407-416.

Jump, A.S. & Peñuelas, J. (2005) Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*, 8, 1010-1020.

Kart, T.R. & Night, R.W. (1998) Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 231-241.

Kattenberg, A., Giorgi, F., Grassl, H., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R.J., Tokioka, T., Weaver, A.J. & Wigley, T.M.L. (1996) *Climate models – projections of future climate*. In *Climate Change 1995* (eds J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callendar, N. Harris, A. Kattenberg y K. Maskell.) pp. 285-357, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.

Kimball, B.A. (1983) Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal* 75, 779–788.

Kirschbaum, M.U.F. (1994) The sensitivity of C₃ photosynthesis to increasing CO₂ concentration: a theoretical analysis of its dependence on temperature and background CO₂ concentration. *Plant, Cell and Environment* 17, 747–754.

Kitajima, K. & Fenner, M. (2000) Ecology of seedling regeneration. *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd edn (ed. M. Fenner), pp. 331–359. CAB International, Wallingford.

Klanderud, K. & Totland, Ø. (2005) The relative importance of neighbours and abiotic environmental conditions for population dynamic parameters of two alpine plant species. *Journal of Ecology* 93 (3), 493-501.

Klanderud, K. (2005) Climate change effects on species interactions in an alpine plant community. *Journal of Ecology* 93 (1), 127-137.

Kobe, R.K., Pacala, S.W., Silander, J.A. & Canham, C.D. (1995) Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. *Ecological Applications*, 5, 517–532.

Kocin, P.W., Gartner, W. & Graf, D. (1998) The 1996-97 snow season. Pages 47-54. *Weatherwise*.

Koike, T., Lei, T.T., Maximov, T.C., Tabuchi, R., Takahashi, K. & Ivanov, B.I. (1996) Comparison of the photosynthetic capacity of Siberian and Japanese birch seedlings grown in elevated CO₂ and temperature. *Tree Physiology* 16, 381–385.

Körner, C. (1998) Tropical Forests in a CO₂-Rich World *Climatic change* (39), 2-3, 297-315.

Körner, C. (1993) CO₂ fertilization: The great uncertainty in future vegetation development. *Vegetation Dynamics. Vegetation Dynamics and Global Change* pp 53-70. Chapman & Hall New York.

- Kullman, L. (2002) Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology*, 90 (1), 68-77.
- Kuokkanen, K., Niemelä, P., Matala, J., Julkunen-Tiitto, R., Heinonen, J., Rousi, M., Henttonen, H., Tahvanainen, J. & Kellomäki, S. (2004) The effects of elevated CO₂ and temperature on the resistance of winter-dormant birch seedlings (*Betula pendula*) to hares and voles. *Global Change Biology* 10 (9), 1504-1512.
- Leadley, P.W. & Körner, C. (1996) Effects to elevated CO₂ on plant species dominance in a highly diverse calcareous grassland. *Carbon Dioxide. Populations, and Communities*. pp. 159-173. Academic Press, San Diego.
- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Thomas, H.T. & Frank, K.F. (2006) Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. *Climatic Change*, 75 (3), 273-299.
- Lenton, T.M. (2006) Climatic Change to the End of the Millennium. *Climatic Change* 76 (1-2), 7-29.
- Levitus, J., Antonov, I., Boyer, T.P. & Stephens, C. (2000) Warming of the World Ocean. *Science*, 287: 2225-2229.
- Lilley, J.M., Bolger, T.P. & Gifford, R.M. (2001) Productivity of *Trifolium subterraneum* and *Phalaris aquatica* under warmer, high CO₂ conditions. *New Phytologist* 150 (2), 371-383.
- Lindroth, R.L., Kinney, K.K. & Platz, C.L. (1993) Responses of deciduous trees to elevated atmospheric carbon dioxide: productivity phytochemistry and insect performance. *Ecology*, 74, 763-777.
- Lloret, F., Peñuelas, J. & Estiarte, M. (2004) Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology* 10 (2), 248-258.
- Loik, M.E., Redar, S.P. & Harte, J. (2000) Photosynthetic responses to a climate-warming manipulation for contrasting meadow species in the Rocky Mountains, Colorado, USA. *Functional Ecology* 14 (2), 166-175.
- Long, S.P. (1991) Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant, Cell and Environment* 14, 729-739.

- Luckman, B.H. & Kavanagh, T. (2000) Impact of climate fluctuations on mountain environments in the Canadian Rockies. *Ambio*, 29, 371–380.
- Maestre, F.T., Valladares, F. & Reynolds, J.F. (2005) Is the change of plant–plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *Journal of Ecology*, 93 (4), 748-757.
- Mandujano, M.C., Montaña, C. Mendez, I. & Golubov, J. (1998) The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology*, 86: 911-921.
- McAuliffe, J.R. (1984) Sahuaro nurse tree associations in the Sonoran Desert: competitive effects of sahuaros. *Oecologia*, 64, 319-321.
- McLeman, R. & Smith, B. (2006) Migration as an Adaptation to Climate Change. *Climatic Change* (76), 1-2, 31-53.
- Mohan, J.E., Clark, J. & Schlesinger, W.H. (2004) Genetic variation in germination, growth, and survivorship of red maple in response to subambient through elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 10, 233-247.
- Molau, U. & Larsson, E.L. (2000) Seed rain and seed bank along an alpine altitudinal gradient in Swedish Lapland. *Canadian Journal of Botany*, 78, 728 –747.
- Molofsky, J. & Augspurger, C.K. (1992) The effect of leaf litter on early seedling establishment in a tropical forest. *Ecology*, 73, 68 –77.
- Morison, J.I.L. & Lawlor, D.W. (1999) Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell and Environment*, 22:659-682.
- Moro, M.J., Pugnaire, F.I., Haase, P. & Puigdefábregas, J. (1997) Effect of the canopy of *Retama sphaerocarpa* on its understorey in a semiarid environment. *Functional Ecology*, 11, 425–431.
- Morse, S.R. & Bazzas, F.A. (1994) Elevated CO₂ and temperature alter recruitment and size hierarchies in C₃ and C₄ annuals. *Ecology* 75, 966-975.
- Mortensen, L.M. (1997) Effects of carbon dioxide concentrations on three grass species grown in mixture in two soil types at different ozone concentrations or temperatures. *Acta Agriculturae Scandinavica* 47, 14-19.

Mousseau, M. & Saugier, B. (1992) The direct effect of increased CO₂ on gas exchange and growth of forest tree species. *Journal of Experimental Botany* 43, 1121–1130.

Mwalyosi, R.B.B. (1992) Influence of livestock grazing on range condition in south-west Masailand, Northern Tanzania. *Journal of Applied Ecology*, 29, 581–588.

Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., Asrar, G. & Nemani, R.R. (1997) Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1996. *Nature* 386, 698–702.

Naeem, S., Thompson, L.J., Lawler, S.P., Lawton, J.H. & Woodfin, R.M. (1994) Declining biodiversity can alter recruitment and size hierarchies in C₃ and C₄ annuals. *Ecology*, 75, 966–975.

Nicotra, A.B., Chazdon, R.L. & Iriarte, S.V.B. (1999) Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology*, 80, 1908–1926.

Niembro, R.A. (1986) Árboles y Arbustos Útiles de México. Limusa. 206 p.

Niering, W.A., Whittaker, R.H. & Lowe, C.H. (1963) The saguaro: a population in relation to environment. *Science* 142 (3588), 15–23.

Nobel, P.S. (1988) *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. Cambridge. 270 pp.

Nobel, P.S. (1980) Morphology, nurse plant, and minimum apical temperatures for young *Carnegiea gigantea*. *Botanical Gazette*, 141, 188–191.

Nobel, P.S., Zhang, H., Sharifi, R., Castaneda, M. & Greenhouse, B. (1998) Leaf expansion, net CO₂ uptake, Rubisco activity, and efficiency of long-term biomass gain for the common desert shrub *Encelia farinosa*. *Photosynthesis Research* 56, 67–73.

Nobel, P.S., & Bobich, E.G. (2002) Plant frequency, stem and root characteristics, and CO₂ uptake for *Opuntia acanthocarpa*: elevational correlates in the northwestern Sonoran Desert. *Oecologia*, 130 (2), 165 – 172.

Norby, R.J., Wullschleger, S.D., Gunderson, C.A., Johnson, D.W. & Ceulemans, R. (1999) Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. *Plant, Cell and Environment* 22, 683–714.

Norby, R.J., Wullshleger, S.D. & Gunderson, C.A. (1996) Tree responses to elevated CO₂ and implication for forests. In *Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems* (eds G.W. Koch & H.A. Moony), pp. 1–21. Academic Press, New York.

Notman, E., Gorchov, D.L. & Cornejo, F. (1996) Effect of distance, aggregation, and habitat on levels of seed predation for two mammal-dispersed neotropical rain forest tree species, *Oecologia*, 106, 221–227.

O'Connor, T.G. (1994) Composition and population responses of an African savanna grassland to rainfall and grazing. *Journal of Applied Ecology*, 31, 155–171.

Osborne, C.P., Chuine, I., Viner, D. & Woodward, F.I. (2000) Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell and Environment* 23 (7), 701–710.

Ostfeld, R.S. & Canham, C.D. (1993) Effects of meadow vole population density on tree seedling survival in old fields. *Ecology*, 74, 1792–1801.

Oswald, B.P. & Neuenschwander, L.F. (1993) Microsite variability and safe site description for western larch germination and establishment. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 120, 148–156.

Packer, A. & Clay, K. (2000) Soil pathogens and spatial patterns of seedling mortality in a temperate tree. *Nature*, 404, 278–281.

Parmesan, C. (1996) Climate and species' range. *Nature* 382, 765–766.

Parmesan, C. & Yohe, G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37–42.

Pérez-García, F. & González-Benito, M.E. (2005) Seed germination of five Helianthemum species: Effect of temperature and presowing treatments. *Journal of Arid Environment* 65 (4), 688–693.

Pérez-García, F., Iriondo, J.M., González-Benito, M.E., Carnes, L.F., Tapia, J., Prieto, C., Plaza, R. & Pérez, C. (1995) Germination studies in endemic plant species of the Iberian Peninsula. *Israel Journal of Plant Science* 43, 239–247.

Peterson, D., Rochefort, R., Little, R. & Woodward, A. (1994) Changes in sub-alpine tree distribution in western North America: a review of climatic and other causal factors. *The Holocene* 4: 89–100.

- Phoenix, G.K., Gwynn-Jones, D., Callaghan, T.V., Sleep, D. & Lee, J.A. (2001) Effects of global change on a sub-Arctic heath: effects of enhanced UV-B radiation and increased summer precipitation. *Journal of Ecology* 89 (2), 256-267.
- Pinter, P.J.Jr., Kimball, B.A., Garcia, R.L., Wall, G.W., Hunsaker, D.J. & LaMorte, R.L. (1996) Free-air CO₂ enrichment of cotton and wheat crops. In: *Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems* (eds G.W. Koch & H.A. Mooney), pp. 215-250. Academic Press, San Diego, CA.
- Pinter, P.J.Jr., Kimball, B.A., Wall, G.W., LaMorte, R.L., Adamsen, F. & Hunsaker, D.J. (1997) Effect of elevated CO₂ and soil nitrogen fertilizer on final grain yields of spring wheat. Annual Research Report, pp. 71-74. US Water Conservation Laboratory, Phoenix, AZ.
- Polunin, O. & Stainton, A. (1984) *Flowers of the Himalayas*. Oxford University Press, Oxford 547 p.
- Poorter, H. (1993) Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration. *Vegetation*, 104/105, 77-97.
- Postel, S.L., Daily, G.C. & Ehrlich, P.R. (1996) Human appropriation of renewable fresh water. *Science*, 271, 785-788.
- Potter, R.J., Ueckert, D.N., Peterson, J.L. & McFarland, M.L. (1986) Germination of fourwing saltbush seeds: interaction of temperature, osmotic potential, and pH. *Journal of Range Management*, 39, 43-46.
- Pounds, J.A., Fogden, M.P.L. & Campbell, J.H. (1999) Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398, 611-615.
- Pugnaire, F.I., Armas, C. & Valladares, F. (2004) Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *Journal of Vegetation Science*, 15, 85-92.
- Pugnaire, F.I. & Luque, M. (2001) Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos*, 93, 42-49.
- Pugnaire, F.I., Haase, P. & Puigdefábregas, J. (1996) Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology*, 77, 1420-1426.
- Rawson, H.M. (1988) Effect of high temperatures on the development and yield of wheat and practices to reduce deleterious effects. In *Wheat*

Productions Constraints in Tropical Environments (ed. A.R. Klatt)
pp 44-63. CIMMYT, México D.F.

Recckie, E.G. & Bazzas, F.A. (1989) Competition and patterns of resource use among seedlings of five tropical trees grown at ambient and elevated carbon dioxide. *Oecologia*, 79, 212-222.

Rehfeldt, G.E., Tchebakava, N.M., Parfenova, Y.I., Wykoff, W.R., Kuzmina, N.A. & Milyutin, L.I. (2002) Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology* 8, 912-929.

Reid, N., Marroquín, J. & Beyer-Münzel, P. (1990) Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, Northeastern México. *Forest Ecology and Management* 36, 61-79.

Robertson, A.I., Bacon, P. & Heagney, G. (2001) The responses of floodplain primary production to flood frequency and timing. *Journal of Applied Ecology*, 38, 126 -136.

Rodo, X., Pascual, M., Fuchs, G. & Faruque, A.S.G. (2002) ENSO and cholera: A nonstationary link related to climate change? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 20: 12901-12906.

Roughgarden, J. & Diamond, J. (1986) The role of species interactions in community ecology. *Community Ecology* (eds Diamond, J. & Case, T.J.), pp. 333 -343. Harper & Row Publishers Inc, New York.

Rousset, O. & Lepart, J. (2000) Positive and negative interactions at different life stages of a colonizing species (*Quercus humilis*). *Journal of Ecology*, 88, 401- 412.

Russo, S.E. & Augspurger, C.K. (2004) Aggregated seed dispersal by spider monkeys limits recruitment to clumped patterns in *Virola calophylla*. *Ecology Letters*, 7, 1058- 1067.

Saebo, A. & Mortensen, L.M. (1995) Growth and regrowth of *Phleum pratense*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* and *Trifolium pratense* at normal and elevated atmospheric CO₂ concentration. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 55, 29-35.

Sage, R.F. (1994) Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO₂: the gas exchange perspective. *Photosynthesis Research*, 39, 351-368.

Salisbury, E.J. (1942) *The Reproductive Capacity of Plants*. Bell, London.

- Salisbury, E.J. (1974) Seed size and mass in relation to environment. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B.* 186: 83-88
- Schlesinger, W.H. (1991) *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change.* Academic Press, San Diego.
- Serreze, M.C., Walsh, J.E., Chapin III, F.S., Osterkamp, T., Dyurgerov, M., Romanovsky, M.V., Oechel, V.W.C., Morison, J., Zhang, T. & Barry, R.G. (2000) Observational Evidence of Recent Change in the Northern High-Latitude Environment. *Climatic change*, (46), 1-2, 159-207.
- Schupp, E.W. & Frost, E.J. (1989) Differential predation on *Welfia georgii* seeds in trefall gaps and the forest understory. *Biotropica*, 21, 200-203.
- Sionit, N. & Kramer, P.J. (1986) Woody plants reactions to carbon dioxide enrichment. In: *Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops* (eds H.Z. Enoch & B.A. Kimball), pp. 69-85. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- Smith, S.E., Riley, E., Tiss, J.L. & Fendenheim, D.M. (2000) Geographical variation in predictive seedling emergence in a perennial desert grass. *Journal of Ecology*, 88 (1), 139-149.
- Sokal, R.R. & Rohlf, J.H. (1995) *Biometry; the Principles and Practice of Statistics in Biological Research.* W.H. Freeman, New York, 887 pp.
- Stanisci, A., Pelino, G. & Blasi, C. (2005) Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). *Biodiversity and Conservation* 14 (6), 1301-1318.
- Suzán, H., Nabhan, G. & Patten, D.T. (1994) Nurse plant and floral biology of a rare night-blooming *Cereus*, *Peniocereus striatus* (Brandege) F. Buxbaum. *Conservation Biology* 8, 461-470.
- Swank, S.E. & Oechel, W.C. (1991) Interactions among the effects of herbivory, competition, and resource limitation on chaparral herbs. *Ecology*, 72, 104-115.
- Tape, K., Sturm, M. & Racine, C. (2006) The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology*, 12, 686-702.
- Téllez, R. & Foroughbakhch, R. (1990) Plantas aprovechadas por el ganado caprino en una zona de matorral mediano espinoso del

Noreste de México. Reporte Científico No. 21, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. 37 pp.

- Tewksbury, J.J. & Lloyd, J.D. (2001) Positive interactions under nurse-spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecologia*, 127, 425–434.
- Theurillat, J.P. & Guisan, A. (2001) Potential Impact of Climate Change on Vegetation in the European Alps: A Review. *Climatic Change* 50 (1-2), 77-109.
- Thomas, C.D., Bodsworth, E.J., Wilson, R.J., Simmons, A.D., Davies, Z.G., Musche, M. & Conradt, L. (2001) Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. *Nature* 411, 577-581.
- Thomas, R.B. & Strain, B.R. (1991) Root restriction as a factor in photosynthetic acclimation of cotton seedlings grown in elevated carbon dioxide. *Plant Physiology* 96, 627–634.
- Thompson, K. & Grime, J.P. (1983) A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. *Journal of Applied Ecology* 20, 141-156.
- Tielbörger, K. & Kadmon, R. (2000) Temporal environmental variation tips the balance between facilitation and interference in desert plants. *Ecology*, 81, 1544 –1553.
- Tillman, D. (1993) Carbon dioxide limitation and potential direct effects of its accumulation on plant communities. *Biotic Interactions And Global Changes*. pp. 333-346.
-
- Tilman, D. (1982) Resource competition and community structure. – Monographs in Population Biology 17. Princeton Univ. Press. Princeton NJ.
- Tirado, R. & Pugnaire, F.I. (2003) Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. *Oecologia*, 136, 296 –301.
- Tischler, C.R., Polley, H.W., Johnson, H.B. & Pennington, R.E. (2000) Seedling Response to elevated CO₂ in five epige especies. *International Journal of Plant Sciences*, 161 (5): 779-783.
- Tjoelker, M.G., Oleksyn, J. & Reich, P.B. (1998) Temperature and ontogeny mediate growth response to elevated CO₂ in seedlings of five boreal tree species. *New Phytologist* 140, 197– 210.
- Turner, R.M. (1990) Long-term vegetation change of a fully protected Sonoran Desert site. *Ecology*, 71, 464-477.

- Udvardy, M.D.F. (1975) A classification of the biogeographical provinces of the world. IUCN, Morges, 446 Switzerland, Occas. Paper No. 18, 48 pp.
- Usami, T., Lee, J. & Oikawa, T. (2001) Interactive effects of increased temperature and CO₂ on the growth of *Quercus myrsinaefolia* saplings. *Plant, Cell and Environment* 24, 1007-1019.
- Valiente-Banuet, A., Vite, F. & Zavala-Hurtado, J.A. (1991) Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science*, 2, 11–14.
- Valiente-Banuet, A. & Ezcurra, E. (1991) Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology*, 9, 961-971.
- Van Auken, O.W. & Bush, J.K. (1990) Influence of light levels, soil nutrients, and competition on seedling growth of *Baccharis neglecta* (Asteraceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 17, 438-444.
- Vaughan, D.G. & Drake, C.S.M. (1996) Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. *Nature* 379, 328-331.
- Vetaas, O.R. (1992) Micro-site effects of trees & shrubs in dry savannas. *Journal of Vegetation Science*, 3, 337– 344.
- Vieira, I.C.G., Uhl, C. & Nepstad, D. (1994). The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham. as a 'succession facilitator' in an abandoned pasture, Paragominas, Amazonia. *Vegetatio*, 115, 91– 99.
- Viet, R. A., McGowan, J.A., Ainley, D.G., Wahl, T.R. & Pyle, P. (1997) Apex marine predator declines ninety percent in association with changing oceanic climate. *Global Change Biology* 3, 23-28.
- Vines, R.A. (1984) Trees, shrubs and woody vines of the southwest. University of Texas Press, Austin. pp.881-882.
- Vitousek, P.M., Money, H.A., Lubchenco, J. & Melillo, J.M. (1997) Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277, 494-499.
- Volder, A., Edwards, E.J., Evans, J.R., Robertson, B.C., Schortemeyer, M. & Gifford, R.M. (2004) Does greater night-time, rather than constant, warming alter growth of managed pasture under ambient and elevated atmospheric CO₂? *New Phytologist* 162 (2), 397-411.

- Walkovsky, A. (1998) Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *Internacional Journal of Biometerology*, 41: 155-160.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389-395.
- Ward, J.K. & Strain, B.R. (1999) Elevated CO₂ studies: past, present and future. *Tree Physiology* 19, 211-220.
- Wilkinson, C., Linden, O., Cesar, H., Hodgson, G., Rubens, J. & Strong, A.E. (1999) Ecological and socioeconomic impacts of 1998 coral mortality in the Indian Ocean: An ENSO impact and a warning of future change? *Ambio* 28, 188-196.
- Zamarripa, R. (2002) Propiedades físicas y físico mecánicas del canelón *Melia azederach* L. bajo dos condiciones de crecimiento. Tesis, FCF-UANL. pp. 11-12.
- Zangerl, A.R. & Bazzas, F.A. (1984) The response of plants to elevated CO₂ II. Competitive interactions among annual plants under varying light and nutrients. *Oecologia*, 62, 412-417.
- Ziska, L.H. & Bunce, J.A. (1997) Influence of increasing carbon dioxide concentration on the photosynthetic and growth stimulation of C₄ crops and weeds. *Photosynthesis Research* 54, 199-208.

