

14 00377



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

CRECIMIENTO EN VIVERO DE CUATRO ESPECIES NATIVAS DE BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE: MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL) PRESENTA EFRÉN MARTÍNEZ OVANDO

DIRECTOR DE LA TESIS: DR. JORGE ARTURO MEAVE DEL CASTILLO

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE, 2002



COORDINACIÓN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Efraín Martínez Quedo

FECHA: 4 Oct / 2002

FIRMA: [Signature]



Director General de Bibliotecas
UNAM

SECRET
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DR. JORGE ANTONIO...
MEXICO...



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN

Ing Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 10 de junio de 2002, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del alumno(a) **Martínez Ovando Efrén**, con número de cuenta 89342622, y número de expediente 3991074, con la tesis titulada: "Crecimiento en vivero de cuatro especies nativas de bosque tropical caducifolio del estado de Guerrero, México.", bajo la dirección de la **Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo**.

Presidente: Dra. Alma Delfina Orozco Segovia
Vocal: Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders
Secretario: Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo
Suplente: Dr. Hans Martin Ricker Reymann
Suplente: M. en C. María Esther Sánchez Coronado

Sin otro particular, quedo de usted

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 17 de septiembre de 2002


Dra. Tila María Pérez Ortiz
Coordinadora del Programa

c c p Expediente del interesado

Dedico esta tesis:

A mis padres (Papá Efrén y Mamá Cira), por el apoyo que me brindaron durante mis estudios y porque finalmente ven culminado uno de sus más grandes anhelos en la vida.

A mis hermanos (Mitch, Marquis y Pastel), y a mis sobrinos, Paco e Iván, por brindarme su cariño incondicional y darle alegría a mi vida.

A mi novia Marissa, por su comprensión y paciencia, pero sobre todo por estar siempre conmigo y regalarme momentos tan agradables que se resumen en una sola palabra: Amor.

Agradecimientos

Al Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo le quiero reconocer su dedicación, amistad y el haber compartido todo su conocimiento para la realización de este trabajo. A su vez, le agradezco todas las enseñanzas dentro y fuera del ámbito académico.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) le agradezco el otorgamiento de la beca de estudios de posgrado (convenio No. 138356), a través del cual tuve las facilidades para llegar a mis objetivos y abrir nuevas perspectivas de vida.

A Virginia Cervantes Gutiérrez, por su apoyo y porque gracias a su conocimiento y disposición para trabajar, se llevó a cabo esta investigación de manera satisfactoria y con mejores resultados de los esperados.

Al Comité Tutorial integrado por el Dr. Carlos Vázquez Yanes (†), el Dr. Hans Martin Ricker Reymann, la Dra. Alma Delfina Orozco Segovia, la Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders y la M. en Ciencias María Esther Sánchez Coronado, por sus valiosas aportaciones para enriquecer este trabajo.

A todos los compañeros del Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias, quienes siempre tuvieron la disposición para brindarme su apoyo y solucionar cualquier problema. Un agradecimiento especial para Marco Antonio Romero por su ayuda en el manejo y análisis de los datos, y problemas de cómputo en general, y para Melitón López por su ayuda en el trabajo en el vivero.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación general	1
1.2 Generalidades ecológicas sobre el Bosque Tropical Seco (BTS)	2
1.3 Importancia de las especies nativas y utilidad en programas de mejoramiento de ambientes	3
1.4 Planteamiento del problema y objetivos	4
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 Localización	7
2.2 Selección y descripción general de las especies	7
2.3 Recolección y manejo general de las semillas	9
2.4 Contenedores experimentales	11
2.5 Preparación del sustrato y de las platabandas	12
2.6 Diseño experimental	14
2.7 Siembra, germinación y transplante	17
2.8 Cuidados durante el crecimiento de las plantas	18
2.9 Variables de respuesta y medición	19
CAPÍTULO III. RESULTADOS	22
3.1 Condiciones iniciales de crecimiento	22
3.2 Análisis por especie	22
3.3 Comparación global entre las especies	45
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN	56
4.1 Comparación del crecimiento de las especies	56
4.2 Efecto del tamaño del contenedor	58
4.3 Efecto de la fertilización	60
4.4 Efecto de la semilla sobre el crecimiento de las plantas	61
4.5 Indicadores del término de la etapa de producción en el vivero	63
4.6 Variables consideradas en el estudio para estimar el crecimiento de las plantas	64

LITERATURA CITADA	69
Apéndice I. Promedios por variable y tratamiento para <i>Acacia macilenta</i>	76
Apéndice II. Promedios por variable y tratamiento para <i>Havardia acatlensis</i>	77
Apéndice III. Promedios por variable y tratamiento para <i>Lysiloma terginum</i>	78
Apéndice IV. Promedios por variable y tratamiento para <i>Mimosa benthamii</i>	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Esquema del diseño experimental.....	15
Fig. 2	Ejemplo de un bloque al azar utilizado en el experimento.....	16
Fig. 3	Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento en <i>Acacia macilenta</i>	24
Fig. 4	Valores de las cinco variables de crecimiento obtenidos en la última evaluación para <i>Acacia macilenta</i>	27
Fig. 5	Peso seco de la parte aérea y de la raíz y del cociente raíz/parte aérea en <i>Acacia macilenta</i>	29
Fig. 6	Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento en <i>Havardia acatlensis</i>	31
Fig. 7	Valores de las cinco variables de crecimiento obtenidos en la última evaluación para <i>Havardia acatlensis</i>	32
Fig. 8	Peso seco de la parte aérea y de la raíz y cociente raíz/parte aérea en <i>Havardia acatlensis</i>	34
Fig. 9	Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento en <i>Lysiloma terginum</i>	36
Fig. 10	Valores de las cinco variables de crecimiento obtenidos en la última evaluación para <i>Lysiloma terginum</i>	37
Fig. 11	Peso seco de la parte aérea y de la raíz y cociente raíz/parte aérea en <i>Lysiloma terginum</i>	40
Fig. 12	Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento en <i>Mimosa benthamii</i>	41
Fig. 13	Valores de las cinco variables de crecimiento obtenidos en la última evaluación para <i>Mimosa benthamii</i>	43

Fig. 14	Peso seco de la parte aérea y de la raíz y cociente raíz/parte aérea en <i>Mimosa benthamii</i>	44
Fig. 15	Cambio temporal de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para <i>Acacia macilenta</i>	52
Fig. 16	Cambio temporal de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para <i>Havardia acatlensis</i>	53
Fig. 17	Cambio temporal de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para <i>Lysiloma tergeminum</i>	54
Fig. 18	Cambio temporal de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para <i>Mimosa benthamii</i>	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Localidades y fechas de colecta de las semillas	10
Tabla 2	Peso de las semillas por especie	11
Tabla 3	Prueba piloto de retención de humedad del sustrato.....	13
Tabla 4	Análisis de varianza de dos vías para comparar el crecimiento de las cuatro especies en la primera evaluación.....	23
Tabla 5	Análisis de varianza de dos vías para comparar el crecimiento de las cuatro especies en la última evaluación	26
Tabla 6	Valores promedio de las variables al inicio y al final del experimento (21 y 168 días).....	46
Tabla 7	Ecuaciones de crecimiento ajustadas por tratamiento y por especie	49
Tabla 8	Tasas relativas de crecimiento (TRC) para las cuatro especies obtenidas en la primera y última evaluación	51

RESUMEN

Se analizó el crecimiento en condiciones de vivero rústico de cuatro especies nativas propias del bosque tropical seco (*Acacia macilenta*, *Havardia acatlensis*, *Lysiloma tergeminum* y *Mimosa benthamii*). El estudio se realizó en Tlapa de Comonfort, localizado en la región de La Montaña (Guerrero), México, con la finalidad de evaluar el potencial de estas especies en programas de reforestación para rehabilitar zonas con un grave deterioro ambiental.

El diseño experimental incluyó el análisis de dos factores con dos niveles cada uno: (1) tamaño de contenedor (grande y pequeño), y (2) fertilización (con o sin ella). El crecimiento se evaluó a través de cosechas destructivas de individuos tomados aleatoriamente en los que se determinó la altura total, el peso seco, la cobertura de la copa y el diámetro basal. Con estos datos también se calcularon el cociente raíz/parte aérea y la tasa relativa de crecimiento

A pesar de que inicialmente hubo pocas diferencias entre las cuatro especies, al final experimento (168 días) las diferencias crecieron y en muchos casos fueron significativas. En la última fecha de observación *Acacia macilenta* presentó la mayor altura pero también los valores menores de cobertura de la copa, diámetro basal y peso seco. *Havardia acatlensis* y *Mimosa benthamii* presentaron los valores máximos de diámetro basal y peso seco, y *Lysiloma tergeminum* los valores máximos de cobertura de la copa. Se obtuvieron las tasas relativas de crecimiento por medio del ajuste de ecuaciones de crecimiento para los cuatro tratamientos y las cuatro especies. Para las cuatro especies se encontró un efecto significativo del tamaño de contenedor. En los contenedores grandes (20 cm de ancho × 30 cm de altura) las plantas alcanzaron tallas más grandes y en un periodo más corto en comparación con las plantas de los contenedores pequeños (11 cm de ancho × 25 cm de altura). En contraste, en general el factor fertilización no tuvo efectos significativos, aunque la formación de masas radiculares alrededor de los remanentes de las pastillas del fertilizante aplicado sugiere que el efecto de este factor podría manifestarse en etapas posteriores del crecimiento de estas plantas.

Por su velocidad de crecimiento, las tallas alcanzadas y la acumulación de biomasa, las cuatro especies estudiadas pueden ser propagadas masivamente en condiciones de vivero rústico. Por lo tanto, tienen un gran potencial para ser utilizadas en diferentes programas de reforestación en la zona cálida de La Montaña y probablemente en otras regiones del trópico seco donde éstas crezcan de forma natural.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación general.

Durante los últimos años muchos sistemas forestales de México han sufrido grandes perturbaciones (Challenger, 1998). Una de las causas principales, además de los procesos naturales, son las actividades socioeconómicas de la población (Maass, 1995). Por ejemplo, en un estudio realizado por Landa *et al* (1997), en la región "La Montaña" en el estado de Guerrero, se encontró que diversos factores naturales y humanos han causado deterioro en más del 40 % de la superficie de esta región y 25 % se encuentra en alto riesgo sufrir un deterioro.

Para detener y tratar de revertir este daño ecológico, es importante establecer programas de reforestación que consideren, por un lado, las condiciones ecológicas de cada sitio a restablecer, y por el otro, los patrones culturales y socioeconómicos de los habitantes locales. Para tener éxito en este tipo de programas, se necesita sortear una serie de problemas, entre los cuales destaca el desconocimiento de las técnicas de producción y manejo en campo de especies vegetales (Cervantes, 1996), así como la ausencia de estudios bajo condiciones de vivero que den a conocer las generalidades de las especies que pueden ser utilizadas en otros programas. Además, se deben utilizar especies vegetales que aporten un mayor número de elementos ecológicos, económicos y sociales (Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Esto implica, a su vez, que es necesario conocer no sólo sus procesos fisiológicos esenciales, sino también los procesos que favorezcan una alta velocidad de crecimiento, desarrollo y propagación masiva (Landis *et al*, 1998).

La presente investigación fue diseñada para determinar las características de crecimiento, bajo condiciones de vivero, de cuatro especies de leguminosas nativas propias de la vegetación primaria y que tienen potencial de mejoramiento del suelo y de uso forestal, principalmente a través de la extracción de productos no maderables, en la zona cálida y semicálida de La Montaña, en el estado de Guerrero, México. Este estudio pretende dar a conocer elementos esenciales, tanto biológicos como técnicos, sobre estas especies, para

lograr su producción en forma masiva y así poder incluirlas en programas de reforestación. La investigación ha sido abordada con dos grandes enfoques, el ecológico por un lado y el técnico por el otro. Desde la perspectiva ecológica se buscó describir los patrones de crecimiento de especies de vegetación primaria bajo condiciones de vivero, mismos que permitan a su vez comprender el modo de colonización y supervivencia de estas especies en condiciones naturales. Técnicamente se pretendía generar una serie de recomendaciones para producir individuos vigorosos y sanos con mejores probabilidades de éxito en los sitios seleccionados para su establecimiento, en el contexto de programas de reforestación basados en el uso de especies nativas.

1.2. Generalidades ecológicas sobre el Bosque Tropical Seco (BTS)

Muchos estudios ecológicos y forestales se han enfocado hacia los bosques húmedos. En contraste, se ha puesto mucho menos atención en los bosques de clima seco (Martínez – Yrizar y Sarukhán, 1990). Éstos constituyen un sistema natural importante, ya que representan el 42% del total de los bosques tropicales y subtropicales (Lugo, 1995). Sin embargo, grandes superficies han sido modificadas para dar paso a la agricultura y pastizales, a la urbanización, y al desarrollo industrial (Maass, 1995)

Las regiones donde se desarrolla el bosque tropical seco reciben entre 250 y 2000 mm de lluvia anual, aunque las precipitaciones más comunes fluctúan entre 600 y 1800 mm. La distribución de esta precipitación es estacional, y el periodo de sequía puede durar de dos a siete meses, durante el cual se recibe menos del 10% de la precipitación anual (Murphy y Lugo, 1986). La evaporación potencial generalmente excede a la precipitación y la temperatura media anual supera los 17°C, aunque el intervalo más común es de 24 a 25°C (Murphy y Lugo, 1995)

Esta estacionalidad climática hace que el agua sea el factor ambiental más limitante para el crecimiento y la distribución de las plantas en estos sistemas. Bajo estas condiciones, las plantas han desarrollado estrategias tales como el desprendimiento de sus hojas durante la estación de menor humedad, fenómeno que llega a prolongarse hasta por siete meses, y

posteriormente florecer en un periodo muy corto (Borchert, 1994). También forman sistemas radiculares extensos y eficientes, capaces de alcanzar la capa freática durante los periodos secos, o bien formar estructuras subterráneas o aéreas de almacenamiento de agua (Guízar y Sánchez, 1991; Spurr, 1982). Con estas características, las plantas realizan funciones vitales tales como un buen anclaje al suelo y la absorción de nutrientes (Daubenmire, 1991), además de producir sustancias orgánicas y hormonales indispensables para la parte aérea. Todas estas funciones están condicionadas a su vez por características intrínsecas, como la estructura genética de las plantas (Kramer, 1974; Spurr, 1982), o extrínsecas, como la humedad del suelo (Hall, 1979).

Algunos estudios han aportado elementos muy importantes para comprender y entender otras funciones que se llevan a cabo en el bosque tropical seco. Entre ellos destacan los de Miller (1998), Gerhardt (1995), Kumar (1998) y Goor *et al.* (1976), quienes aportaron elementos importantes para comprender cómo las plantas captan la luz solar, adquieren y acumulan nutrientes y humedad del suelo, y desarrollan mecanismos de germinación. A pesar de estos estudios, todavía no han sido comprendidos muchos aspectos de la ecología de este tipo de sistemas naturales (Martínez-Yrizar y Sarukhán, 1990)

1.3 Importancia de las especies nativas y utilidad en programas de mejoramiento de ambientes.

Las especies nativas necesitan ser evaluadas para conocer su potencial ecológico, productivo y de restauración en grandes escalas (Haggar *et al.* 1998) Estas especies presentan una mejor adaptación al ambiente local y pueden proporcionar una alternativa comercial para la producción de productos tradicionales y para la alimentación del ganado o de la población (Pinnard *et al.*, 1999).

El desarrollo ontogénico de un árbol desde la semilla hasta su fase adulta involucra tres dimensiones que corresponden a los brotes de la parte aérea y de la raíz (crecimiento primario), la elongación del tallo y, la expansión del diámetro de las raíces que corresponden al crecimiento secundario (Spurr y Barnes, 1982; Niembro, 1988). Una combinación de estas

fases le da a cada especie una estructura aérea y una forma característica (Spurr y Barnes, 1982). Esta morfología permite agrupar a las especies con características adecuadas para ser usadas en la reforestación, así como identificar un manejo bajo condiciones controladas para su propagación comercial.

Muchas especies utilizadas en programas de reforestación, de restauración ecológica o de sistemas agrosilvopastoriles son exóticas. Éstas han mostrado un gran potencial de crecimiento y generalmente no presentan inconvenientes en la disponibilidad de propágulos (Haggar *et al.*, 1998; Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Sin embargo, muchas de ellas no tienen la capacidad de adaptarse a condiciones ambientales diferentes a los lugares en donde se encuentran naturalmente, ni tampoco pueden establecer relaciones ecológicas con otros organismos nativos; por ello, es indispensable promover el conocimiento de la propagación de especies, como las nativas, con propiedades biológicas y ecológicas adecuadas a cada condición ambiental (Vázquez-Yanes, 1996).

En La Montaña, ubicada en la porción oriental del estado de Guerrero, sur de México, las instituciones gubernamentales han desarrollado programas de reforestación que han usado en su mayoría especies exóticas y con una escasa variación de germoplasma, sin considerar las condiciones de degradación edáfica de la región, ni tampoco el bajo potencial ecológico y económico asociado al establecimiento de este tipo de especies (Cervantes *et al.*, 1996a). Para que el empleo de especies nativas en una región como ésta tenga éxito en programas de reforestación, restauración y rehabilitación ecológica, es indispensable conocer su biología y ecología a fin de lograr su domesticación y desarrollar técnicas de propagación (Leakey y Newton, 1994, citado por Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Estas técnicas de propagación deben considerar las características de degradación de cada sitio y las condiciones socioeconómicas que rodean a los habitantes locales; además, deben también definir el objetivo principal que se persigue.

1.4. Planteamiento del problema y objetivos.

En La Montaña, los procesos de degradación edáfica y de la cubierta vegetal se han

acentuado debido al impulso de prácticas agropecuarias (Aranguren Becerra, 1994; Carabias *et al.*, 1994), cuyo efecto muchas veces se ha visto aumentado por fenómenos naturales, tales como la lluvia, el viento y la gravedad en pendientes pronunciadas (Landa *et al.*, 1997). En este contexto, se han llevado a cabo investigaciones para conocer las características germinativas (Cervantes *et al.*, 1996b) y el desarrollo en vivero (Cervantes *et al.*, 1998) de diversas especies nativas, con el fin de determinar en última instancia la conveniencia de su incorporación en programas de reforestación. Estas investigaciones se han centrado en un grupo de especies secundarias, definidas como aquéllas que son más abundantes y aparentemente pueden reproducirse en vegetación sucesional o alterada. En contraste, no existe información equivalente para las especies primarias, es decir, las que son abundantes en áreas de vegetación con poca o nula perturbación, a pesar de que algunas de ellas también podrían ser utilizadas para la reforestación de áreas deterioradas.

Para La Montaña se ha reconocido la conveniencia de introducir especies vegetales con algunas de las siguientes características: a) capacidad de detener procesos de degradación; b) un alto grado de adaptación a condiciones ambientales limitantes, como escasez de lluvia en gran parte del año o establecimiento en suelos químicamente y físicamente pobres; c) aportación de materia orgánica al componente suelo y d) utilidad económica para los habitantes locales. Las especies leguminosas leñosas y nativas de esta región integran gran parte de estas cualidades, por lo que su uso está ampliamente justificado (Cervantes *et al.*, 1996). A pesar de que son las especies secundarias las que generalmente poseen estos atributos, es probable que al menos algunas leguminosas propias de vegetación primaria también los compartan.

Sin embargo, se puede esperar que existan diferencias en algunas etapas del desarrollo de las especies secundarias y primarias. Específicamente en términos del crecimiento, las especies más fuertemente asociadas a vegetación primaria probablemente presenten un crecimiento más lento, como ha sido observado para especies de bosques tropicales húmedos (Martínez-Ramos, 1985). De ser así, esto implicaría que el tiempo necesario para su producción en vivero hasta alcanzar tallas adecuadas para la introducción a los sitios de reforestación podría ser superior a los cuatro meses, que es un periodo adecuado para la producción de leguminosas secundarias estudiadas hasta ahora en la región (Cervantes *et al.*, 1998).

En el marco de este esquema, se planteó como objetivo principal conocer las características de crecimiento en condiciones de vivero de cuatro especies de leguminosas nativas, que pueden ser consideradas como primarias porque generalmente se asocian a los manchones remanentes de vegetación mejor conservada en la región: *Acacia macilenta* Rose, *Havardia acatlensis* (Benth.) Britton & Rose, *Lysiloma terginum* Benth. y *Mimosa benthamii* J. F. Macbr. Con esto se pretendía identificar los procedimientos más adecuados para su producción masiva, tomando en cuenta que todas ellas podrían tener un gran potencial forestal.

Los objetivos particulares de esta investigación fueron:

- 1) Establecer el tiempo requerido para obtener individuos de las diferentes especies con características adecuadas (por ejemplo, tamaño, proporción de la raíz respecto a la parte aérea, forma y desarrollo de la copa) en términos de la factibilidad de su manejo y de la probabilidad de establecerse exitosamente en el campo.
- 2) Comparar el crecimiento de las especies en dos contenedores con dimensiones distintas.
- 3) Evaluar el efecto de la aplicación de un fertilizante de liberación lenta en el desarrollo de las especies.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización.

El trabajo experimental se realizó en un vivero rústico ubicado en la ciudad de Tlapa de Comonfort, estado de Guerrero, sur de México. Ésta se localiza a una altitud de 1,100 m.s.n.m. y recibe una precipitación anual de 858 mm (INEGI, 1997).

El vivero se estableció en un terreno concertado por los integrantes de la URAFAEMC-G (organización regional de productores no lucrativa) con el Instituto Nacional Indigenista (INI). En él se desarrollan líneas de trabajo dentro del proyecto “Restauración ambiental con especies nativas para el uso sustentable de los recursos forestales de la selva baja caducifolia”, adscrito al Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Entre los componentes más importantes del vivero destacan un banco de germoplasma para conservar y preservar semillas de especies nativas y la producción de especies leguminosas leñosas con potencial forestal y comercial.

2.2 Selección y descripción general de las especies.

Las cuatro especies seleccionadas pertenecen a la familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae, y están ligadas a la poca vegetación no alterada en la región, por lo que se les considera primarias. Además, de todas ellas había suficiente disponibilidad de semillas en el vivero para hacer el estudio. Estas especies fueron *Acacia macilenta* Rose, *Havardia acatlensis* Benth. Britton & Rose, *Lysiloma terginum* Benth. y *Mimosa benthamii* J.F. Macbr. A continuación se presentan descripciones generales de estas especies, basadas en la Flora Novogaliciana (McVaugh, 1987), completadas con observaciones hechas en la región de estudio. En la obra de McVaugh, *Havardia acatlensis* es consignada como *Pithecellobium acatlense* Benth.; otros sinónimos de estas especies se presentan en Sousa *et al.* (2001).

Acacia macilenta Es un árbol generalmente desprovisto de espinas, pero cuando éstas se presentan, son pilosas y miden de 5 a 7 mm. Su altura es por lo regular de 5 a 8 m. Sus hojas son pinadas, de 15 a 25 cm, y se presentan de 12 a 33 pares, aunque más regularmente de 15 a 25; los peciolo miden de 2 a 3 cm de largo. Se presentan de 30 a 40 pares de foliolos lineares con una nervadura central

Las flores son sésiles, de color crema (aunque frecuentemente están oscurecidas durante la temporada de sequía), y se presentan en racimos terminales o panículas; su tamaño es de 6 a 14 cm de largo y menos de 1 cm de ancho. El fruto es una legumbre linear oblonga, delgada y lisa, y aterciopelada al tacto; mide de 12 a 18 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho y en su interior lleva de 3 a 9 semillas lenticulares, oblongas, de 9 a 11 mm de largo.

Esta especie es conocida comúnmente en la región como “yupaquelite” y es apreciada por los habitantes locales, tanto por el uso que se le da para leña como por el consumo alimenticio de su follaje tierno, así como también de su flor.

Havardia acatlensis. Se trata de un arbusto de 3 a 6 m de alto, pubescente, con ramas oscuras y espinas conspicuas y lenticuladas. Sus hojas miden 3 cm de largo y los foliolos, de los que hay entre 6 y 16 pares, son oblongos, coriáceos y abruptamente agudos, de 4 a 8 mm de largo y de 1.3 a 2 mm de ancho.

Las flores son de color crema, pero se tornan amarillas cuando se marchitan. Se presentan en cabezuelas de 4 a 8 flores con pedúnculos de 5 a 10 mm de largo, fasciculados, y se ubican en las ramas viejas del árbol. El fruto es liso y grueso, tempranamente dehiscente, con 5 a 9 semillas, casi orbiculares y de 11 a 13 mm de largo.

Esta especie es usada como madera para estructuras firmes, por ejemplo, postes para cercado de terrenos y bases para la elaboración de mesas y sillas. También se utiliza como leña y el follaje como alimento para el ganado. Se le conoce en la región como “rabo de iguana”.

Lysiloma tergeminum. Es un árbol de 3 a 7 m de alto, con troncos que alcanzan hasta 20 o 25 cm de diámetro. Presenta hojas pinadas, aproximadamente de 15 cm de largo y ancho; los foliolos, de 3 a 4 por cada pina, son elíptico-ovados y redondeados en el ápice, y su tamaño puede ser de 3 a 6 cm de largo y de 1.5 a 5 cm de ancho, con peciolo de 1.5 a 3 cm de largo.

Sus flores blancas se presentan en cabezuelas globosas de 3 a 4 cm de diámetro, sostenidas por pedúnculos auxiliares de 3 a 5 cm de largo. El fruto es aplanado y oblongo, mide de 10 a 18 cm de largo y de 3.5 a 5 cm de ancho, y es obtuso en ambos lados. Es de color verde y cuando llega a su madurez, café. Las semillas, también de color café, son elípticas, oblongas y miden de 8 a 11 mm de largo y de 6 a 8 mm de ancho.

De este árbol se extrae madera para elaborar postes para el cercado de terrenos y para horcones en el diseño y la construcción de casas. También se usa para fabricar bases de mesas y sillas, pero sobre todo se utiliza como leña por el tipo de combustión que presenta aunque no se encuentre completamente seca. Esta especie es conocida comúnmente en la región como “pata de cabra” o “tlahuitole”.

Mimosa benthamii. Es un arbusto usualmente de 2 a 6 m de alto, densamente cubierto por filamentos cortos; en las ramas y en las hojas frecuentemente se encuentran espinas aunque en la inflorescencia no. Las hojas miden de 10 a 20 cm de largo, tienen un peciolo corto y son pinadas (de 15 a 20 pares); hay de 12 a 15 pares de folíolos filosos por ambos lados, lanceolados, ovados o elípticos, de 5 a 7 mm de largo y de 2 a 3 de ancho.

Sus flores son rosadas en un inicio y posteriormente se tornan blancas; se presentan en fascículos, con pedúnculos espinosos y miden de 3 a 11 cm de largo y de 1 a 1.5 cm de ancho. Las espigas miden de 10 a 30 cm de largo y usualmente se concentran en una inflorescencia terminal casi completamente desprovista de hojas. El fruto es linear, picudo, de 4 a 7 cm de largo y de 5 a 7.5 cm de ancho; se encuentra cubierto por pubescencia y su color es café rojizo. Contiene de 5 a 8 semillas engrosadas, articuladas, elipsoidales, lenticulares, de 2.5 a 3.5 mm de largo.

Esta especie es comúnmente conocida como “tecoliztle” en la región. Es usada principalmente como leña, aunque en ocasiones se le utiliza para el curtido de pieles.

2.3 Recolección y manejo general de las semillas.

Las semillas de las cuatro especies se obtuvieron del banco de germoplasma que se

encuentra en el vivero. Estas fueron recolectadas en diferentes sitios y las semillas de tres especies fueron obtenidas aproximadamente en la misma temporada (invierno de 1997-1998), por lo que se les puede considerar como coetáneas. Solamente las semillas de *Lysiloma terginum* fueron recolectadas casi un año antes (enero de 1997); por lo tanto, al inicio del experimento eran las más viejas, con 10 meses más que las de *Mimosa benthamii* que fueron colectadas en noviembre del mismo año. Las fechas y sitios de colecta se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Localidades y fechas de colecta de las semillas utilizadas en el experimento.

Especie	Localidad y municipio de colecta	Fecha de colecta
<i>Acacia macilenta</i>	Atlamajac, Tlapa y San Nicolás Zoyatlán, Xalpatláhuac	diciembre de 1997
<i>Havardia acatensis</i>	San Nicolas Zoyatlán, Xalpatláhuac	enero de 1998
<i>Lysiloma terginum</i>	Tecoyame de Guadalupe, Tlalixtac	enero de 1997
<i>Mimosa benthamii</i>	Tecoyame de Guadalupe, Tlalixtac	noviembre de 1997

Las semillas que se almacenan en este vivero, incluyendo las que se utilizaron en el experimento, se obtienen de varios individuos progenitores, que se eligen considerando su morfología, sanidad y estado de madurez de los frutos (con base en el color y el tamaño). Posteriormente, se limpian y se seleccionan de forma manual para recibir un proceso de deshidratación y conservación.

La deshidratación se obtiene durante un periodo aproximado de dos meses, colocando las semillas a una temperatura ambiente que oscila entre 18 y 24 °C. Para la conservación se utilizan frascos de vidrio a los cuales se añade sílica-gel en una proporción de 20% con relación al volumen total de semillas almacenado; la sílica-gel se renueva periódicamente

una vez que pierde sus cualidades fisicoquímicas. Los frascos con las semillas se colocan en anaqueles dentro del banco y periódicamente se realizan pruebas rutinarias de germinación para determinar la viabilidad de las semillas almacenadas y cómo se modifica ésta a través del tiempo.

Se determinó el número de semillas en una muestra de 1 kg para conocer la cantidad (peso) de semillas necesaria para el experimento. Además, esto permitió estimar la masa aproximada de las semillas de cada especie. Esta determinación se hizo con semilla pura, de acuerdo al procedimiento descrito en Arriaga *et al.* (1994). Las semillas de *Havardia acatlensis* y *Lysiloma tergeminum* son las más grandes, las de *Acacia macilenta* tienen entre la mitad y la tercera parte del peso de las anteriores, y las de *Mimosa benthamii* son de diez a quince veces más ligeras (Tabla 2).

Tabla 2. Peso de las semillas por especie.

Especie	Número de semillas por kg	Peso aproximado por semilla (g)	Factor
<i>Acacia macilenta</i>	17,753	0.056	4.67
<i>Havardia acatlensis</i>	5,513	0.181	15.08
<i>Lysiloma tergeminum</i>	8,849	0.113	9.42
<i>Mimosa benthamii</i>	83,333	0.012	1

2.4 Contenedores experimentales.

En los viveros de la región de La Montaña, también rústicos y en los que se pueden controlar parcialmente las condiciones ambientales con el uso de mallas y de riego, se han utilizado comúnmente dos tamaños de contenedores, de acuerdo al tipo de especie a propagar. Para especies frutales se utilizan contenedores de 15 × 35 cm, y para las especies leñosas,

contenedores de 10 × 25 cm. En este estudio se usaron dos tamaños de contenedores de polietileno negro para el experimento semejantes a éstos, uno que se designó como “grande”, cuyas dimensiones eran de 20 cm de ancho por 30 cm de alto, y uno catalogado como “pequeño”, de 11 × 25 cm. Ambos tipos fueron perforados para favorecer la salida del agua y evitar problemas por pudrición de raíz.

La evaluación del contenedor de tamaño pequeño se consideró adecuada porque éste ha sido utilizado comúnmente con buenos resultados para la producción de otras especies leñosas. Sin embargo, tomando en cuenta que las especies seleccionadas, por tratarse de especies primarias, podrían tener un crecimiento más lento y un mayor desarrollo radicular en comparación con las especies secundarias estudiadas previamente, se decidió utilizar también un contenedor de mayor tamaño. Éste, que fue el designado como grande, es semejante al usado para las especies frutales, y en teoría permitiría cubrir el desarrollo total de las plantas durante su permanencia en el vivero.

La facilidad del transporte de las plantas, una vez que han cubierto su estancia en el vivero, también fue una consideración para la selección del tamaño de los contenedores experimentales, ya que entre más grande sea el tamaño del contenedor, éste tendrá mayor peso y volumen al momento de llevarlo hacia el sitio en donde serán introducidas (Arriaga *et al.*, 1994). Sin embargo, el uso del contenedor grande en el estudio daría la oportunidad de hacer un balance entre las dificultades y costos del transporte, con la ventaja que representaría la introducción de plantas mejor desarrolladas y con mayores posibilidades de éxito en una plantación las cuales, se esperaba, deberían ser obtenidas con el contenedor grande.

2.5 Preparación del sustrato y de las platabandas.

El sustrato se elaboró con una mezcla de varios materiales que se encuentran en la región y que había sido previamente probada con éxito. La relación empleada fue de dos partes de arena, dos partes de arcilla y tres partes de limo. Cada uno de estos componentes fue sometido a un cribado (criba de 0.5 cm de luz) para ser liberado de las partículas de tamaño

no deseado. La cantidad de sustrato necesaria para realizar el experimento se obtuvo mezclando los materiales perfectamente hasta lograr un compuesto uniforme, paleando la mezcla de un lado a otro al menos tres veces.

El control de la humedad en el sustrato a lo largo del experimento fue importante, ya que variaciones en este factor podrían afectar de forma diferencial al desarrollo de las plantas. Por lo tanto, era indispensable combinar adecuadamente los materiales para obtener un buen drenaje, evitando así por un lado la acumulación de agua que podría promover la aparición de enfermedades, y por el otro una infiltración demasiado rápida, lo cual podría propiciar la deshidratación de las plantas durante periodos secos. Para conocer si el sustrato cubría con estos requisitos, se llevó a cabo una prueba piloto de retención de agua, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3. El tiempo promedio de retención de agua del sustrato en los contenedores fue similar al recomendado por Arriaga *et al.* (1994), indicando que este sustrato tenía un drenaje adecuado.

Tabla 3. Resultados de la prueba piloto de retención de humedad del sustrato.

Muestra	Contenedor grande	Contenedor chico
	Tiempo de drenado (minutos)	
1	29	24
2	23	27
3	28	26
4	25	32
5	26	23
Promedio	26.2	26.4

Una platabanda es un segmento de espacio de tierra con dimensiones diversas destinado para mantener a un conjunto de individuos de una o varias especies durante su crecimiento en vivero. Para la realización de este experimento se rehabilitó una platabanda ya existente a

través de la eliminación de malezas, delimitación del contorno, nivelación de la superficie y aplicación de riego para compactarla lo mejor posible. Su dimensión (25 m de largo × 1 m de ancho × 0.30 m de altura) permite acomodar hasta 2,500 individuos en contenedores de 11 × 25 cm, que es el tamaño “pequeño” utilizado en este estudio

2.6 Diseño experimental.

El experimento se llevó a cabo con un diseño de bloques al azar (12 en total), distribuidos a lo largo de la platabanda, con un arreglo de dos factores y de dos niveles para cada bloque. La razón de este diseño es que las características ambientales, sobre todo de sombra y de evaporación de agua, no eran completamente homogéneas para toda la platabanda. Cerca de uno de los extremos se localizaban árboles y no lejos del otro lado había una pequeña construcción; ambos objetos interferían con la incidencia de luz durante el transcurso del día. La asignación aleatoria aseguró la independencia entre los tratamientos y estos factores.

Tratamientos. Cada especie fue sometida a cuatro tratamientos, resultado de dos factores con dos niveles cada factor. El primero de ellos fue el tamaño de contenedor, con sus niveles “grande” y “pequeño” y el segundo, la fertilización con sus niveles “con” y “sin” aplicación (Fig. 1).

Número de evaluaciones y de individuos El experimento se cubrió en un periodo de 168 días durante los cuales se realizaron ocho evaluaciones a intervalos de 21 días. En cada evaluación se cosechó una muestra de 12 individuos seleccionados al azar (uno de cada bloque) de los cuatro tratamientos por especie, de tal manera que cada evaluación incluyera 192 individuos (1536 durante todo el experimento).

Considerando la posibilidad de que la población experimental fuera afectada por el ataque de enfermedades, plagas o por daños ambientales, se incrementó su número en un 20%. Esto arrojó que en lugar de utilizar 1536 individuos, se utilizaran 1848. Con ello se esperaba asegurar que el tamaño de muestra asignado inicialmente (12), se mantuviera constante durante todo el experimento. De acuerdo con esta cifra, cada uno de los doce bloques

contenía 154 individuos, 77 creciendo en los contenedores grandes y junto a ellos, otros 77 creciendo en los contenedores chicos, que no fueron entremezclados en los bloques porque los contenedores grandes hubieran producido mucha sombra sobre los pequeños, lo cual podría haber tenido efectos negativos, sobre todo al final del experimento.

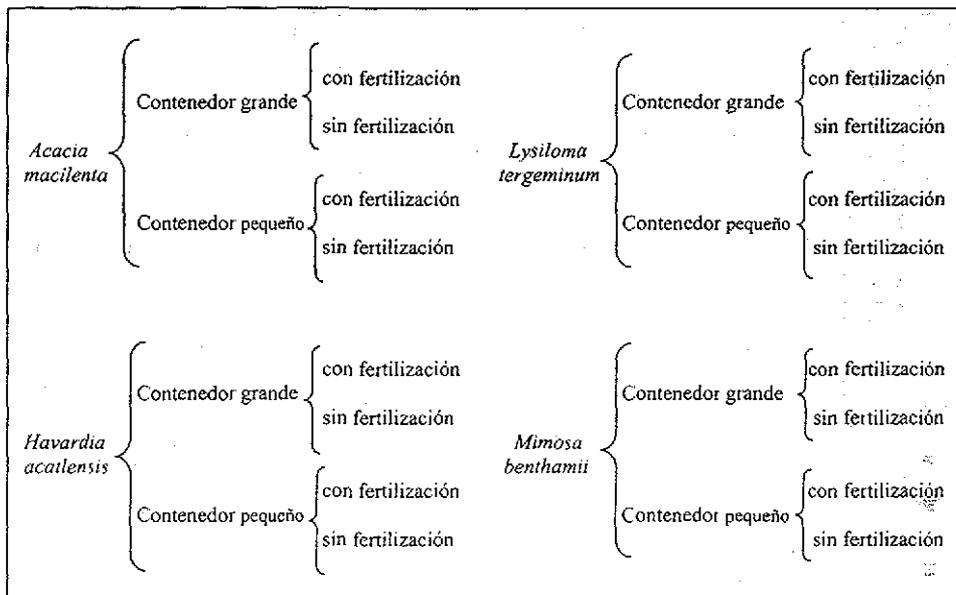


Figura 1. Esquema del diseño experimental utilizado en el estudio

De las 77 plantas en los contenedores grandes por cada bloque, 19 eran de una especie y de éstas, 10 recibieron la dosis de fertilización y 9 no. Esta variación fue necesaria para ajustar el número a 77 plantas por bloque, cifra requerida para cubrir el excedente de 20% de la población total por especie. Las plantas en los contenedores pequeños se distribuyeron de la misma manera que el caso anterior. La Figura 2 esquematiza la conformación de uno de los bloques experimentales utilizados.

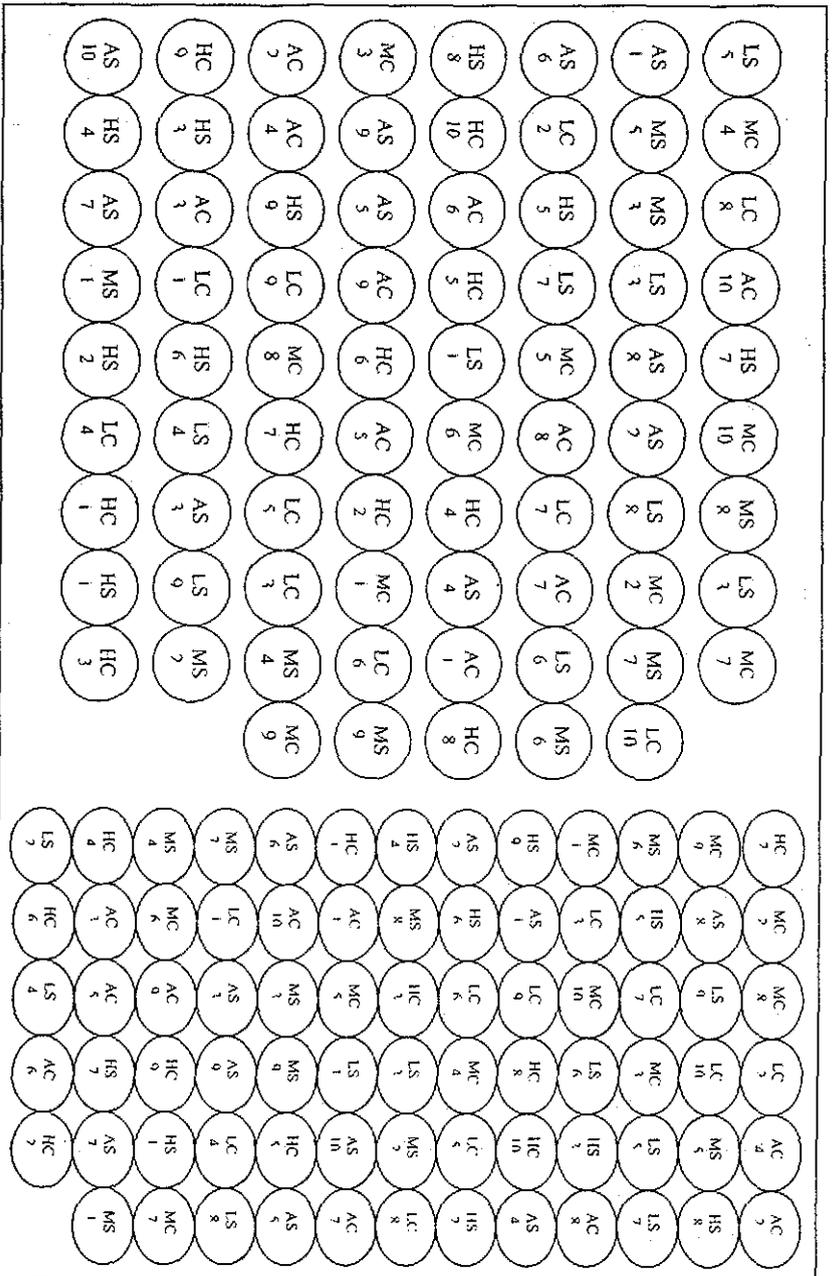


Fig. 2. Ejemplo de uno de los 12 bloques al azar que se utilizaron en el experimento. La numeración del 1 al 10 indica el número de individuos que se encontraba por cada bloque y que fueron seleccionados al azar en cada una de las evaluaciones. A la izquierda se muestran los contenedores grandes, y los pequeños en la parte derecha del esquema.

AC= *Acacia maculenta* con fertilizante.
 AS= *Acacia maculenta* sin fertilizante.
 HC= *Havardia acallensis* con fertilizante.
 HS= *Havardia acallensis* sin fertilizante.

LC= *Lysiloma tergenium* con fertilizante.
 LS= *Lysiloma tergenium* sin fertilizante.
 MC= *Mimosa benthamii* con fertilizante.
 MS= *Mimosa benthamii* sin fertilizante.

Fertilización. En el experimento se utilizaron dos niveles de fertilización, con y sin aplicación, ya que uno de los objetivos era determinar si el fertilizante modificaba los patrones de crecimiento de las plantas. Sin embargo, no se pretendía probar diferentes dosis y fuentes de fertilización para modificar sus condiciones de crecimiento.

El nombre comercial del fertilizante usado es Módulos Fúlvicos (Química Foliar, S.A. de C.V.). En su presentación de pastilla proporciona elementos mayores como el nitrógeno (25%), fósforo como P_2O_5 (12%) y potasio como K_2O (7%), así como algunos elementos menores como hierro (0.1%), zinc (0.1), azufre (0.013%), calcio (0.8%), magnesio (0.7%), y ácidos fúlvicos (1.5%).

La aplicación de las pastillas se hizo en el momento en que la mayoría de los individuos se desprendieron de las hojas cotiledonarias (42-45 días de edad, periodo que corresponde a la fecha de la segunda evaluación) Es decir, se incrementó artificialmente el suministro de nutrientes justo cuando se agotaban las reservas naturales de cada semilla. La dosis fue una pastilla por individuo que se colocó a una profundidad aproximada de 3 a 4 cm.

2.7 Siembra, germinación y transplante.

La siembra de las semillas de las cuatro especies se realizó durante el periodo comprendido entre el 1º y 3 de marzo de 1999, con el siguiente procedimiento. Se colocaron 500 semillas de cada especie dentro de bolsas de papel durante 24 horas, para lograr que las semillas se hidrataran de manera paulatina en función de la temperatura y humedad ambiental. Posteriormente, a cada especie se aplicaron los diferentes tratamientos pregerminativos sugeridos por Cervantes *et al.* (1998) para especies leñosas nativas de la misma familia *Acacia macilenta*, *Havardia acatlensis* y *Lysiloma tergeminum* recibieron un tratamiento que se basó en la hidratación de las semillas durante 12 horas; para ello se utilizaron cajas Petri con trozos de lienzo colocados en su interior, los cuales estaban saturados de agua. Las semillas de *Mimosa benthamii* fueron sometidas primero a una escarificación mecánica, la cual se realizó por medio del frotamiento, en repetidas ocasiones, de la parte opuesta del embrión de la semilla sobre un pedazo de papel lija, hasta que se desprendió parcialmente la

testa; posteriormente, se les sometió el mismo tratamiento de hidratación arriba descrito.

Una vez aplicados los tratamientos pregerminativos, las semillas de *Acacia macilenta*, *Havardia acatlensis* y *Lysiloma tergeminum* se sembraron sobre charolas de plástico rellenas con el mismo sustrato que se utilizó para los contenedores. Debido al tamaño tan pequeño de las semillas de *Mimosa benthamii*, éstas fueron sembradas en cajas de Petri también con un poco de sustrato. Posteriormente, se colocó una cubierta de plástico transparente sobre las charolas de plástico y cajas de Petri y fueron puestas sobre una mesa que se colocó en el exterior del banco de germoplasma pero dentro de las instalaciones del vivero. Aquí se contó con sombra artificial para disminuir la incidencia de la luz solar y mientras duró el proceso de germinación, se mantuvo la humedad a capacidad de campo. El periodo requerido por las diferentes especies para cubrir el proceso de germinación fue de entre 24 y 48 horas. Después de este tiempo se inició el trasplante a los contenedores. La germinación fue definida como el momento en el que se observó la aparición de la radícula en las plántulas.

El trasplante se realizó entre los días 3 y 9 de marzo de 1999, conforme se presentó la germinación de las cuatro especies y de acuerdo al tiempo disponible para realizar este proceso, ya que se llevó a cabo durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, tratando de causar el menor estrés posible a las pequeñas plantas.

2.8 Cuidados durante el crecimiento de las plantas.

En todos los contenedores de los 12 bloques se aplicaron riegos hasta lograr puntos de saturación dos días antes de iniciar el proceso de trasplante. Además, al inicio y al final del mismo se aplicaron riegos ligeros.

Durante los siguientes dos meses posteriores al trasplante se aplicaron riegos por aspersión manual utilizando una manguera y una boquilla de tipo cono. La actividad se desarrolló durante la mañana y la tarde, más o menos de manera constante durante el periodo señalado. La constancia dependió del suministro artificial de agua a través del servicio local, ya que una vez que inició el periodo de lluvias (5 de mayo) no fue necesaria la aplicación del riego.

Para cubrir a las plantas de la incidencia directa de los rayos solares durante los primeros dos meses del experimento, se utilizó una malla verde con reducción del 30% de la luz. Después del trasplante y durante el primer mes, la malla se mantuvo a una altura aproximada de 30 cm sobre los individuos. En este periodo los riegos fueron suministrados a través de la malla, lo que minimizó el impacto del agua sobre las pequeñas plantas. Durante los 45 días posteriores y a medida que las plantas crecían, también se incrementó la altura de la malla de forma paulatina.

Quince días antes del 12 de mayo, fecha en la que se retiró por completo la malla, ésta se elevó hasta alcanzar su nivel más alto de la platabanda (aprox. 80 cm). Esto permitió que durante estos quince días, la luz penetrara perpendicularmente durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, pero que la malla protegiera a las plantas en los periodos de mayor intensidad de rayos solares del día, cuando la incidencia era vertical (entre las 12:00 y 17:00 horas).

El conjunto de actividades descritas durante el periodo en el que se aplicaron los riegos y se utilizó la malla es conocida técnicamente como fase de endurecimiento (Landis *et al.*, 1998); su finalidad es exponer gradualmente a las plantas a las condiciones ambientales en su totalidad. Esta fase se vio favorecida en la etapa final, ya que siete días antes de quitar la malla por completo, cuando todavía se encontraba la malla a una altura de 80 cm, se presentó la primera lluvia que estuvo acompañada de días nublados.

2.9 Variables de respuesta y medición.

Las variables primarias consideradas en este estudio fueron: (a) altura, (b) cobertura de la copa, (c) diámetro basal, (d) peso seco, y (e) formación de nódulos fijadores de nitrógeno. Otras variables indirectas fueron: (f) cociente raíz/parte aérea, y (g) tasa relativa de crecimiento. Los procedimientos para medir estas variables fueron los siguientes:

En cada fecha los doce individuos seleccionados por cada tratamiento y por especie fueron trasladados a un sitio con sombra y sin pendiente, con el fin de no causar estrés a las plantas por la radiación solar directa. La altura de la planta se definió como la distancia vertical total

(cm), entre la parte basal de la planta y el punto superior de la rama más alta; para determinar la cobertura de la copa (cm^2) se midieron longitudinalmente dos ejes de ella, el más grande y el perpendicular a éste, con una cinta métrica flexible; el diámetro basal (mm), se obtuvo midiendo el diámetro de la parte basal o cuello de la raíz de la planta con un vernier.

Una vez obtenidos los datos de las variables mencionadas, cada planta fue retirada cuidadosamente del contenedor y del sustrato. La parte correspondiente a la raíz se sacudió cuidadosamente en el interior de un recipiente con agua para separar por completo el sustrato adherido a ella; posteriormente se quitó el exceso de agua con papel secante. Este momento fue aprovechado para observar la formación de nódulos fijadores de nitrógeno asociados a la raíz de cada especie y de cada tratamiento.

Las plantas fueron entonces trasladadas a un cuarto de trabajo para ser pesadas y deshidratadas. Para el primer proceso fueron separadas las dos secciones principales de la planta: la raíz y la parte aérea, integrada ésta última por el tallo y las hojas, y fueron pesadas para obtener el peso fresco. Posteriormente ambas partes se colocaron en un sobre de papel previamente etiquetado y se dio paso al proceso de secado, colocando los sobres en una estufa de laboratorio durante 48 horas a $50 - 70\text{ }^\circ\text{C}$. Para obtener el peso seco, variable utilizada para calcular el cociente raíz/parte aérea y para la determinación de las curvas de crecimiento, las plantas fueron extraídas de los sobres y pesadas en conjunto y por sección.

El cociente raíz/parte aérea se determinó dividiendo el peso seco promedio de la raíz entre el peso seco promedio de la parte aérea. Estos valores se graficaron para comparar visualmente el crecimiento relativo de la raíz y de la parte aérea de las plantas a través del tiempo.

Para calcular la tasa relativa de crecimiento con base en peso seco, se transformaron los promedios del peso seco total de cada tratamiento a sus logaritmos naturales. Estos valores se ajustaron a una función potencia ($y = a + b x^c$); la variable x para este ajuste fue el tiempo de crecimiento en días. A esta función se le calculó la primera derivada a lo largo del intervalo de valores de x , y los valores resultantes fueron ajustados a ecuaciones polinomiales. En todos los casos se seleccionó una ecuación polinomial de tercer orden ($y = a + bx + cx^2 + dx^3$), ya que los ajustes a éstas siempre tuvieron valores muy altos ($R^2 > 0.99$)

y su interpretación es más sencilla que la de ecuaciones de órdenes mayores, algunas de las cuales tuvieron ajustes ligeramente mayores. Todos los ajustes fueron realizados en el programa de cómputo Table Curve 2D, V. 3 (SPSS, Inc., Chicago, IL).

Para comparar el efecto del tamaño del contenedor y de la fertilización sobre las variables de crecimiento, con los datos de la primera y la última evaluación (21 y 164 días, respectivamente), se realizaron análisis de varianza factorial (Zar, 1999). Cuando estas pruebas resultaron significativas, se procedió a comparar las medias de forma pareada por medio de la prueba de Tukey (Zar, 1999). Todos los análisis estadísticos se hicieron con un 95% de confianza ($\alpha < 0.05$).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En esta sección las gráficas correspondientes al crecimiento de las especies individuales (Figuras 3 y 4, 6 y 7, 9 y 10, y 12 y 13) se trazaron con ejes y escalas del mismo tamaño para facilitar la comparación visual, excepto las gráficas que muestran el peso seco de la raíz y la parte aérea en las plantas a lo largo del experimento (Figuras 5, 8, 11 y 14)

Las descripciones de los resultados hacen referencia a los tratamientos experimentales por medio de las siguientes abreviaturas: G = contenedor grande; P = contenedor pequeño; C = con fertilizante; S = sin fertilizante. Por ejemplo, el tratamiento contenedor pequeño con fertilizante se indica con las letras PC. Los valores promedio para todas las variables por tratamiento, junto con sus errores estándar, se incluyen en los Apéndices I, II, III y IV.

3.1 Condiciones iniciales de crecimiento.

En las cuatro especies y para la primer evaluación (21 días), se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) en los tratamientos con el fin de determinar si las características iniciales de tamaño de las plantas eran homogéneas, o si había variaciones significativas entre ellas. De acuerdo con los resultados de este análisis (Tabla 4), solamente en cuatro casos los factores o sus interacciones fueron significativos inicialmente: el tamaño de contenedor para *Acacia macilenta* en la cobertura de la copa ($p = 0.039$), el factor fertilizante en el peso seco total ($p = 0.019$) y en el cociente raíz/parte aérea ($p = 0.025$) para *Lysiloma tergerinum*, y la interacción contenedor \times fertilizante para la variable cobertura de la copa en *Mimosa benthamii* ($p = 0.043$). Sin embargo, las comparaciones pareadas con la prueba de Tukey no mostraron ninguna diferencia significativa.

3.2 Análisis por especie.

Acacia macilenta. Desde la primera (21 días) hasta la tercera evaluación (63 días), ninguna variable mostró diferencias importantes entre los tratamientos (Figura 3, Apéndice I).

Tabla 4. Resultado del análisis de varianza de dos vías para comparar el crecimiento de las especies en la primera evaluación (21 días).

Variable	Fuente	GL	CM	F	P	CM	F	P
			Acacia macilenta			Havardia acatlensis		
Altura	C	1	8.333	0.461	0.501	13.021	1.363	0.249
	F	1	0.750	0.042	0.839	0.021	0.002	0.963
	C x F	1	1.688	0.093	0.761	3.521	0.369	0.547
	Error	44						
Cob. de la copa	C	1	1866.080	4.531	0.039	231.399	2.041	0.160
	F	1	457.535	1.111	0.298	151.460	1.336	0.254
	C x F	1	224.978	0.546	0.464	1.434	0.013	0.911
	Error	44						
Diámetro basal	C	1	0.000	0.000	1.000	0.480	3.116	0.084
	F	1	0.013	0.285	0.596	0.053	0.346	0.559
	C x F	1	0.013	0.285	0.596	0.001	0.005	0.942
	Error	44						
Peso seco total	C	1	0.000	0.018	0.893	0.004	0.395	0.533
	F	1	0.000	0.003	0.955	0.000	0.000	0.998
	C x F	1	0.003	0.402	0.530	0.009	0.993	0.324
	Error	44						
Cociente raíz/parte aérea	C	1	0.157	0.851	0.361	0.015	1.052	0.311
	F	1	0.162	0.550	0.461	0.011	0.771	0.385
	C x F	1	0.004	0.024	0.876	0.038	2.700	0.107
	Error	44						
			Lysiloma tergeminum			Mimosa benthamii		
Altura	C	1	0.047	0.009	0.927	3.255	2.699	0.108
	F	1	0.255	0.046	0.831	0.422	0.350	0.557
	C x F	1	0.005	0.001	0.976	1.505	1.248	0.270
	Error	44						
Cob. de la copa	C	1	344.062	0.864	0.358	0.051	0.003	0.960
	F	1	226.895	0.570	0.454	4.518	0.226	0.637
	C x F	1	784.028	1.969	0.168	86.938	4.342	0.043
	Error	44						
Diámetro basal	C	1	0.053	0.983	0.327	0.013	0.670	0.417
	F	1	0.000	0.000	1.000	0.003	0.168	0.684
	C x F	1	0.030	0.553	0.461	0.001	0.042	0.839
	Error	44						
Peso seco total	C	1	0.006	0.754	0.390	0.000	0.153	0.697
	F	1	0.049	5.880	0.019	0.000	0.165	0.687
	C x F	1	0.010	1.138	0.292	0.000	0.003	0.954
	Error	44						
Cociente raíz/parte aérea	C	1	0.027	0.515	0.477	0.087	0.857	0.360
	F	1	0.279	5.348	0.025	0.024	0.239	0.628
	C x F	1	0.000	0.000	0.997	0.158	1.555	0.219
	Error	44						

GL = Grados de libertad; CM = Cuadrados Medios; F = Estadístico; P = Probabilidad
 C = Contenedor; F = Fertilizante; C x F = Interacción contenedor X fertilizante

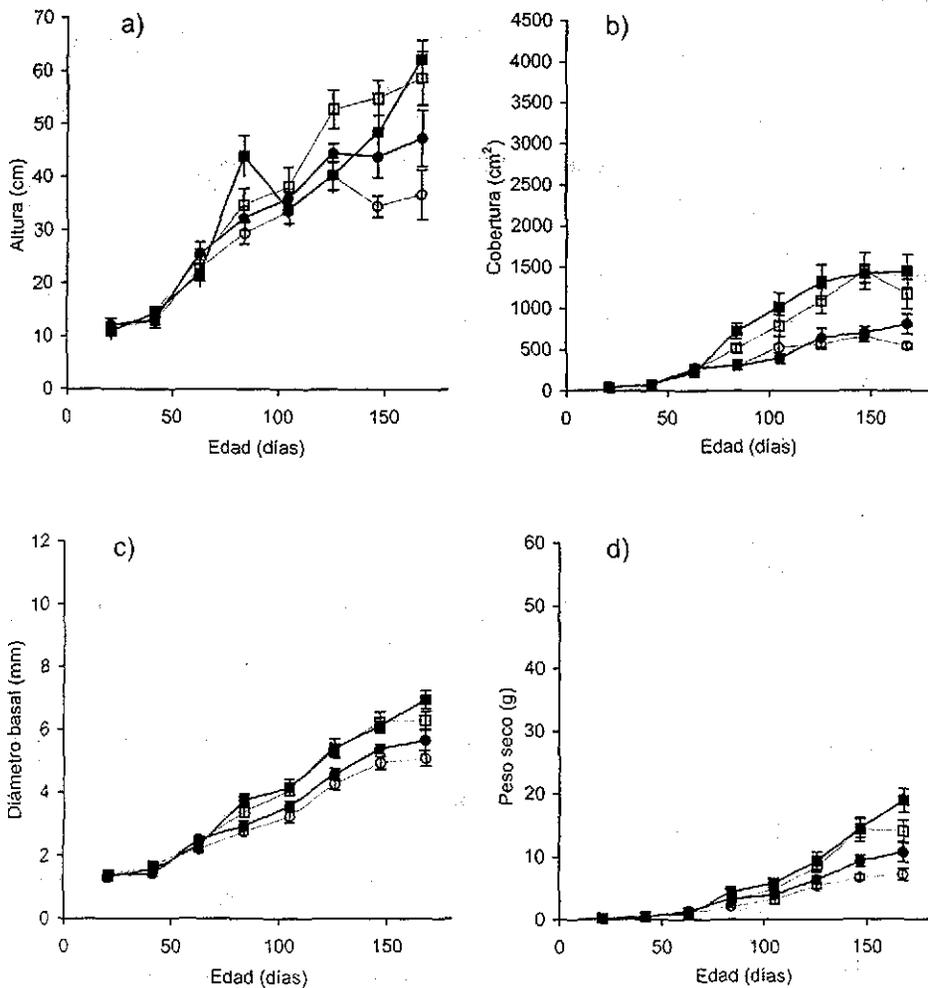


Fig. 3. Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento evaluadas para *Acacia macilenta*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican un error estándar. Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño.

Posteriormente y hasta la última evaluación el comportamiento de las variables en los tratamientos comenzó a diferenciarse con valores mayores para las plantas de los contenedores grandes y también, para los tratamientos con fertilización.

Para la altura, el ANDEVA de la última evaluación (168 días) sólo mostró un efecto significativo para el tamaño de contenedor (Tabla 5). Durante más de la mitad del experimento las plantas del tratamiento GS tuvieron un crecimiento más rápido que las plantas de los otros tratamientos (Fig. 3a), aunque en la evaluación final esta variable alcanzó su valor promedio máximo (62.5 cm) en el tratamiento GC. Este valor correspondió a un poco más del doble del promedio más pequeño, obtenido en el tratamiento PS (36.8 cm). En la cuarta observación hubo una irregularidad notable, ya que en esa fecha las plantas del tratamiento GC alcanzaron una altura promedio mayor que las obtenidas en las dos siguientes evaluaciones. Asimismo, en las dos últimas evaluaciones, las alturas promedio de las plantas del tratamiento PS fueron menores a los de la fecha anterior. A pesar de que en la última evaluación el tamaño de contenedor tuvo un efecto significativo, en la comparación por pares las plantas de los tratamientos GC, GS y PC no difirieron entre sí, mientras que las de este último tratamiento fueron iguales a las del tratamiento PS (Fig. 4a).

Con base en el ANDEVA de la última evaluación, la cobertura de la copa también mostró un efecto significativo para el tamaño de contenedor (Tabla 5). Como tendencia general las plantas de GC fueron más grandes que las de GS casi durante todo el experimento (Fig. 3b). A partir de la cuarta fecha se observó una divergencia grande entre los valores promedio de las plantas en contenedores grandes y las plantas en contenedores chicos. Además, las plantas de los dos tratamientos sin fertilizante mostraron un decremento en la última evaluación respecto al valor registrado en la fecha anterior. En la última evaluación, el máximo valor promedio (1,443.8 cm² en GC) fue más de dos veces y media el valor promedio más pequeño (539.5 cm² en PS). Las comparaciones por pares mostraron una variación gradual entre los tratamientos, ya que no hubo diferencias entre la cobertura promedio en GS y PC (Fig. 4b).

Tabla 5. Resultado del análisis de varianza de dos vías para comparar el crecimiento de las especies en la última evaluación (168 días).

Variable	Fuente	gl	CM	F	P	CM	F	P
			Acacia macilenta			Havardia acatlensis		
Altura	C	1	4125.52	15.565	0.000	462.52	9.008	0.004
	F	1	609.18	2.298	0.137	6.02	0.117	0.734
	C x F	1	150.52	0.568	0.455	295.02	5.746	0.021
	Error	44						
Cobertura de la copa	C	1	4812086.00	18.043	0.000	47393948.00	73.483	6.18E-11
	F	1	880992.56	3.303	0.076	150047.16	0.233	0.632
	C x F	1	204.83	0.001	0.978	419877.16	0.651	0.424
	Error	44						
Diámetro basal	C	1	19.13	19.715	0.000	65.10	254.520	0.000
	F	1	4.50	4.640	0.037	0.20	0.783	0.381
	C x F	1	0.02	0.017	0.896	0.73	2.835	0.099
	Error	44						
Peso seco total	C	1	685.01	23.139	0.000	4143.15	190.403	0.000
	F	1	210.80	7.120	0.011	138.21	6.352	0.015
	C x F	1	5.49	0.185	0.669	80.52	3.701	0.061
	Error	44						
Cociente raíz / p. aérea	C	1	0.17	8.104	0.007	0.88	32.100	1.04E-06
	F	1	0.00	0.004	0.947	0.00	0.004	0.951
	C x F	1	0.00	0.022	0.883	0.11	4.089	0.049
	Error	44						
			Lysiloma tergeminum			Mimosa benthamii		
Altura	C	1	3834.188	32.833	8.4E-07	3888.000	37.748	2.07E-07
	F	1	275.521	2.359	0.132	1.333	0.013	0.910
	C x F	1	77.521	0.664	0.420	560.333	5.440	0.024
	Error	44						
Cobertura de la copa	C	1	106824944.0	136.954	4.21E-15	14013857.0	86.258	6.21E-12
	F	1	4573892.5	5.864	0.020	818769.0	5.040	0.030
	C x F	1	2276552.0	2.919	0.095	366798.0	2.258	0.140
	Error	44						
Diámetro basal	C	1	126.101	202.129	4.67E-18	110.413	103.952	3.66E-13
	F	1	2.521	4.041	0.051	4.201	3.955	0.053
	C x F	1	0.521	0.835	0.366	1.763	1.660	0.204
	Error	44						
Peso seco total	C	1	8962.873	158.422	3.52E-16	8039.881	93.019	0.000
	F	1	270.893	4.788	0.034	93.856	1.086	0.303
	C x F	1	87.237	1.542	0.221	32.670	0.378	0.542
	Error	44						
Cociente raíz / p aérea	C	1	0.953	13.697	0.001	0.867	14.558	0.000
	F	1	0.006	0.085	0.772	0.040	0.677	0.415
	C x F	1	0.001	0.018	0.893	0.094	1.576	0.216
	Error	44						

GL = Grados de libertad; CM = Cuadrados Medios; F = Estadístico; P = Probabilidad
 C = Contenedor; F = Fertilizante; C x F = Interacción contenedor x fertilizante

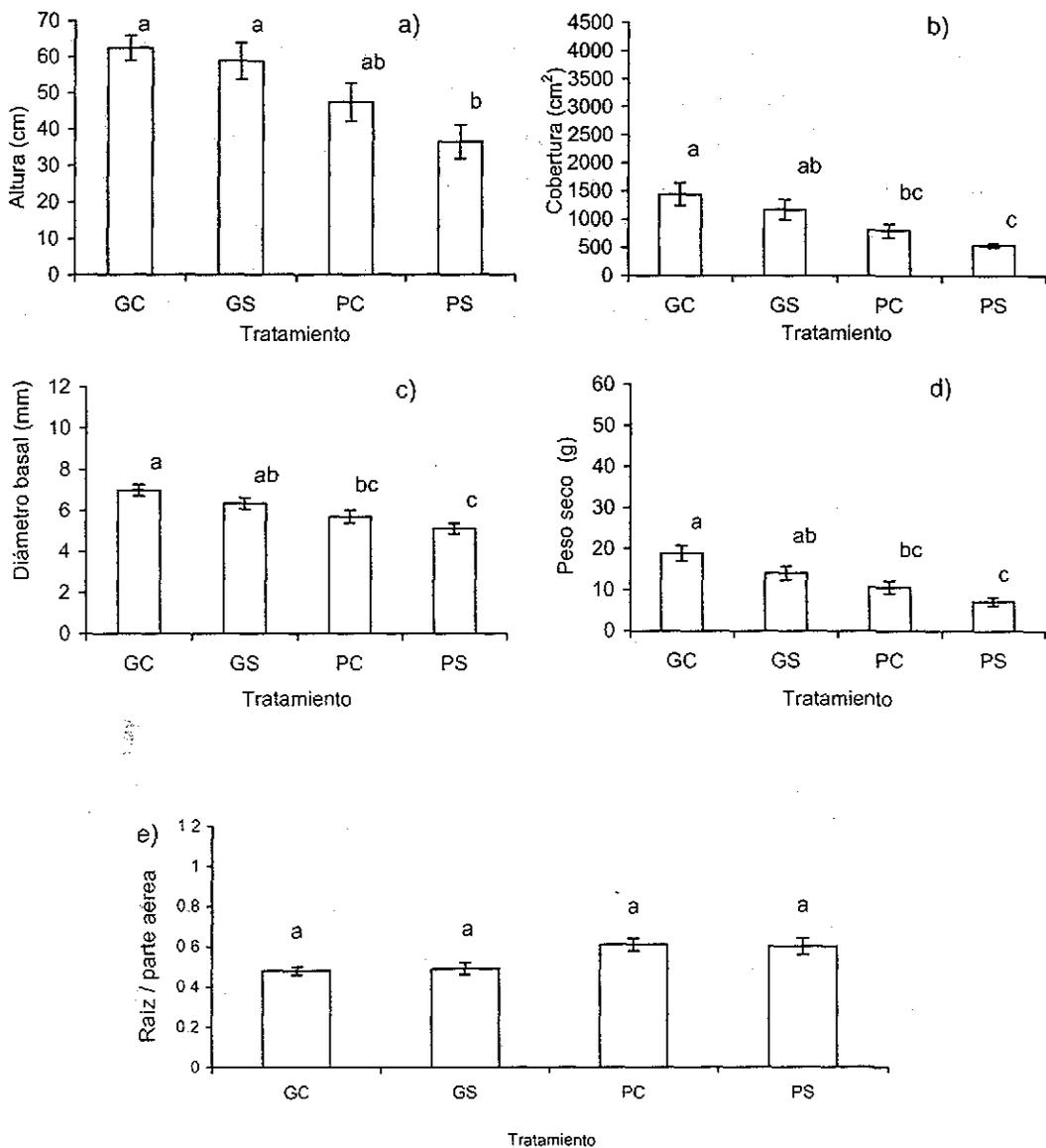


Fig. 4. Valores obtenidos durante la última evaluación en las cinco variables de crecimiento para *Acacia macilenta*. Las letras arriba de las barras (± 1 E. E.) indican los resultados de las comparaciones pareadas hechas con la prueba de Tukey; letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización.

A diferencia de las dos variables anteriores, el diámetro basal mostró un crecimiento más constante a través del tiempo (Fig. 3c). De acuerdo al ANDEVA para la última evaluación, tanto el tamaño de contenedor como el fertilizante fueron significativos (Tabla 5), pero la variación también fue gradual entre los cuatro tratamientos (Fig. 4c). La única divergencia apreciable, aunque no grande, fue entre los dos tratamientos de contenedores grandes y los dos de contenedores chicos y en general, los errores estándar para esta variable fueron muy pequeños. El valor más alto (7.0 mm en GC) fue apenas 1.4 veces mayor que el valor más pequeño (5.1 mm en PS).

Para el peso seco los efectos del contenedor y del fertilizante fueron significativos (ANDEVA, Tabla 5). El comportamiento de esta variable durante el experimento fue similar a la variable anterior (Fig. 3d), y solamente en las últimas evaluaciones hubo diferencias claras entre los dos tratamientos de fertilización para cada tamaño de contenedor. El valor final más alto (18.9 g en GC) superó al más pequeño (7.1 en PS) por 2.7 veces. A pesar de los efectos significativos del contenedor, el peso de las plantas de GS no difirió significativamente del de las plantas de PC (Fig. 4d).

Los valores del cociente raíz/parte aérea muestran que en esta especie la asignación de biomasa a la raíz fue menor que a la parte aérea de la planta a lo largo del experimento (Fig. 5, arriba), de modo que el cociente se mantuvo permanentemente por debajo de 1 (Fig. 5, abajo). Los valores más altos correspondieron a las plantas de contenedores chicos, independientemente de la fertilización. Coincidiendo con esto, el valor máximo de 0.97 se obtuvo en la segunda evaluación (42 días) para el tratamiento PS. Antes de este periodo, la asignación relativa de raíz fue heterogénea entre los tratamientos, pero posteriormente y hasta la última evaluación, la asignación fue más o menos constante. Al final del experimento, el ANDEVA mostró un efecto significativo del contenedor sobre esta variable (Tabla 5), si bien la comparación por pares no detectó diferencias significativas entre los resultados de ningún tratamiento (Fig. 4e).

Los ANDEVAS calculados para los valores de la evaluación final no produjeron resultados significativos para la interacción contenedor \times fertilizante en ningún caso (Tabla 5).

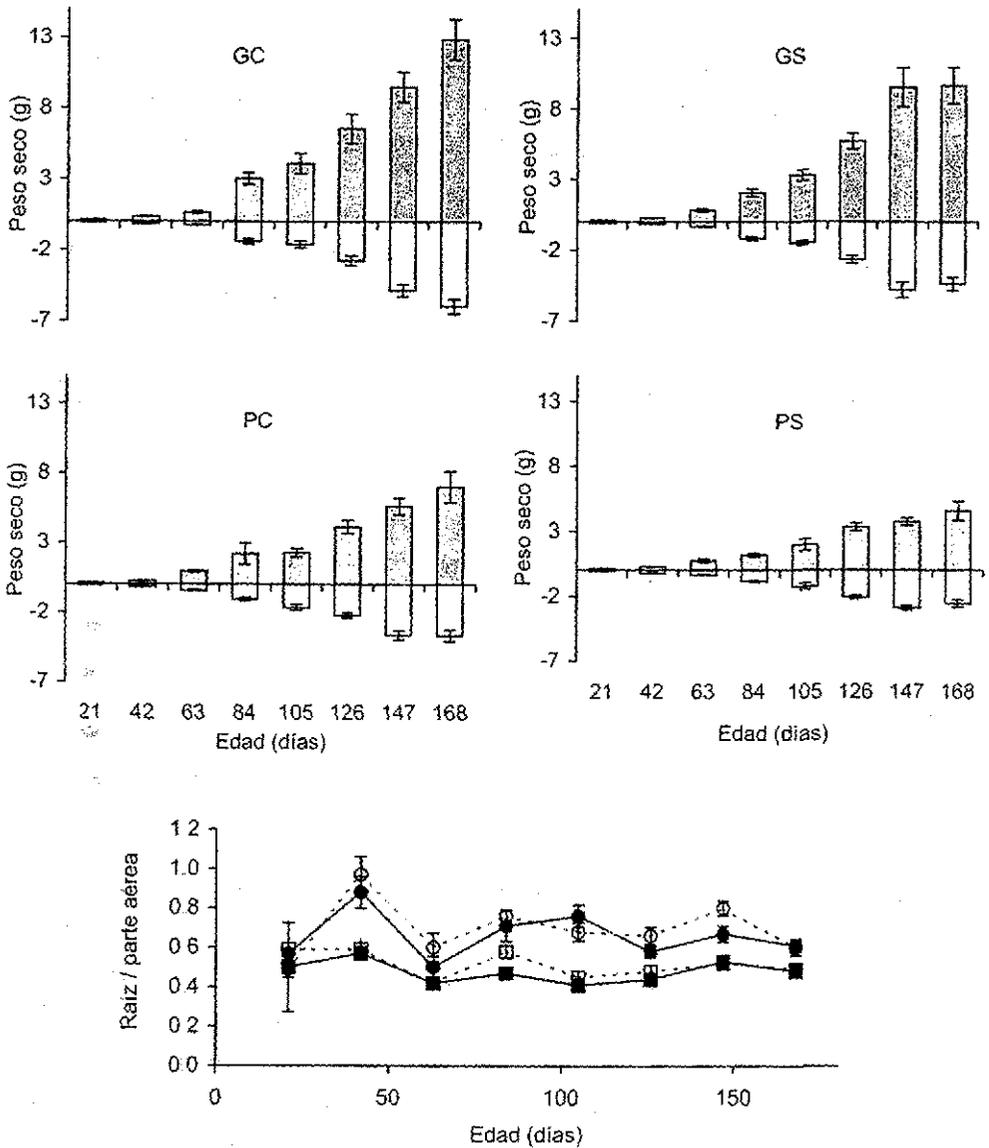


Fig. 5. Arriba: Comportamiento temporal del peso seco de la parte aérea (barras sombreadas) y de la raíz (barras blancas) de *Acacia macilenta*. GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización. Abajo: Variación temporal del cociente raíz/parte aérea. Las barras y los puntos representan promedios (± 1 E.E.). Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Havardia acatlensis. A diferencia de la especie anterior, algunas de las variables evaluadas mostraron diferencias entre los tratamientos desde la segunda o la tercera evaluación (Fig. 6; Apéndice II). Además, en general las diferencias fueron mayores entre los tratamientos de los contenedores grandes y chicos.

Para la altura, el ANDEVA de los valores finales mostró un efecto significativo en el factor contenedor y la interacción contenedor \times fertilización, pero no para la fertilización por separado (Tabla 5). Ningún tratamiento produjo valores constantemente más altos para la altura a lo largo del experimento (Fig. 6a). Solamente al final, el tratamiento GC se separó claramente de los otros con una altura promedio de 35.0 cm que fue el valor máximo obtenido. Sin embargo, éste apenas fue 1.5 veces mayor que el promedio menor (23.8 cm), obtenido en el tratamiento PC. Entre la penúltima y la última evaluación, los valores de tres tratamientos mostraron claramente una reducción en el aumento de esta variable; en uno de ellos (GC), la pendiente de la curva fue considerablemente menor que en el periodo justo anterior. Todavía más notable es que dos tratamientos (GS y PC) presentaron una irregularidad con un crecimiento negativo en el último periodo, ya que los valores de la última evaluación fueron menores a los de la penúltima. Las comparaciones pareadas (Fig. 7a) mostraron una gran uniformidad en los resultados, ya que solamente los tratamientos GC y PC difirieron significativamente.

Durante los primeros 42 días, la cobertura de la copa se comportó de forma similar a la variable anterior. A partir de ese momento, las plantas de contenedores grandes tuvieron coberturas mucho mayores que las de contenedores chicos, lo cual fue particularmente evidente entre la cuarta y la quinta evaluación, cuando el crecimiento de la cobertura fue más rápido (Fig. 6b). Sin embargo, las plantas de los dos tratamientos de contenedores grandes mostraron una reducción drástica en la tasa de crecimiento de esta variable a partir de los 126 días (sexta evaluación), lo cual sugiere que se alcanzó un valor de asintota alrededor de 2,800 cm². A pesar de ello, las diferencias al final del experimento llegaron a ser tan grandes como cuatro veces entre el tratamiento GC (2,885.8 cm²) y el PC (711.4 cm²). El ANDEVA sólo mostró un efecto significativo para el contenedor (Tabla 5); las comparaciones pareadas fueron consistentes con este resultado pues no hubo diferencias significativas entre los dos



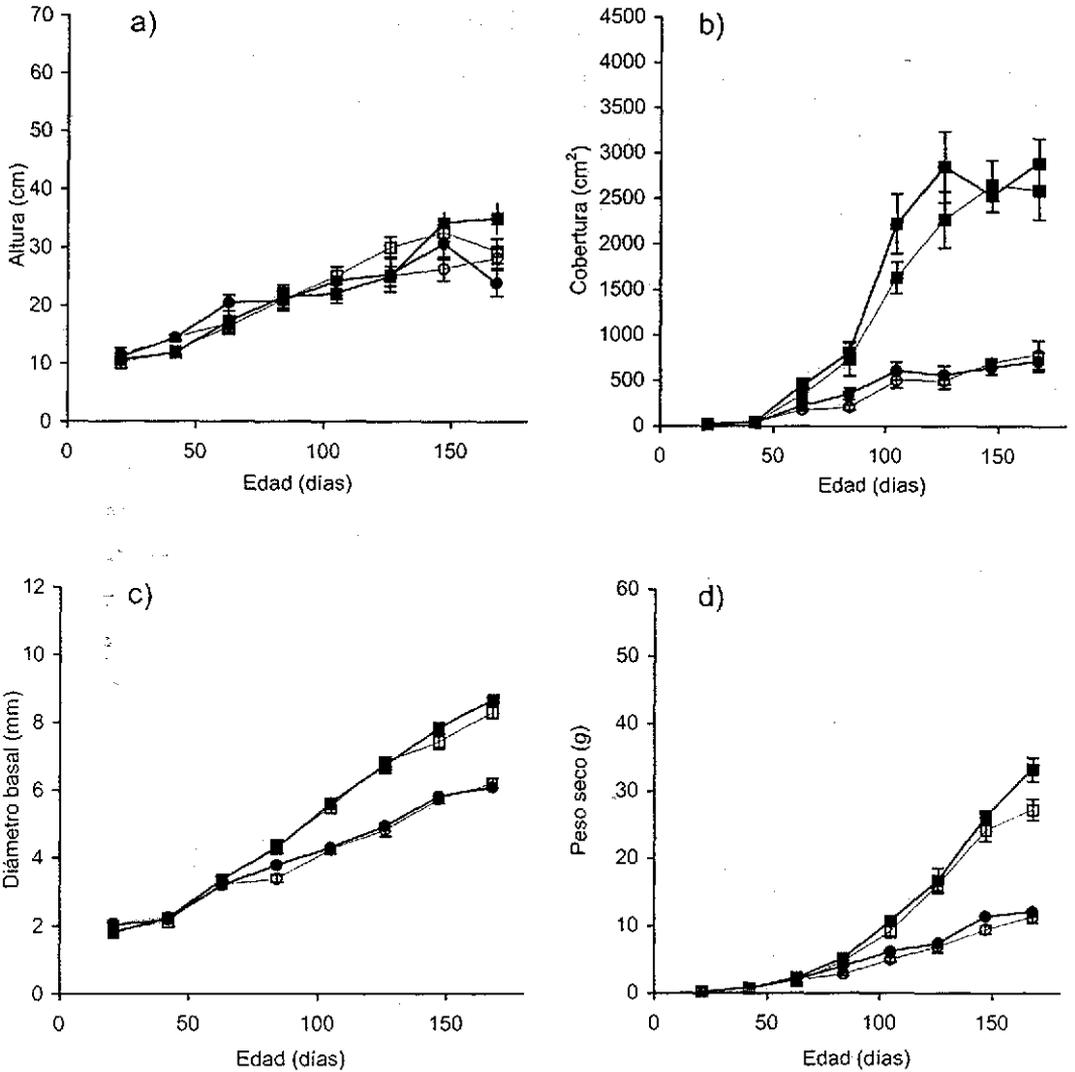


Fig. 6. Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento evaluadas para *Havardia acatlensis*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican un error estándar. Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor chico

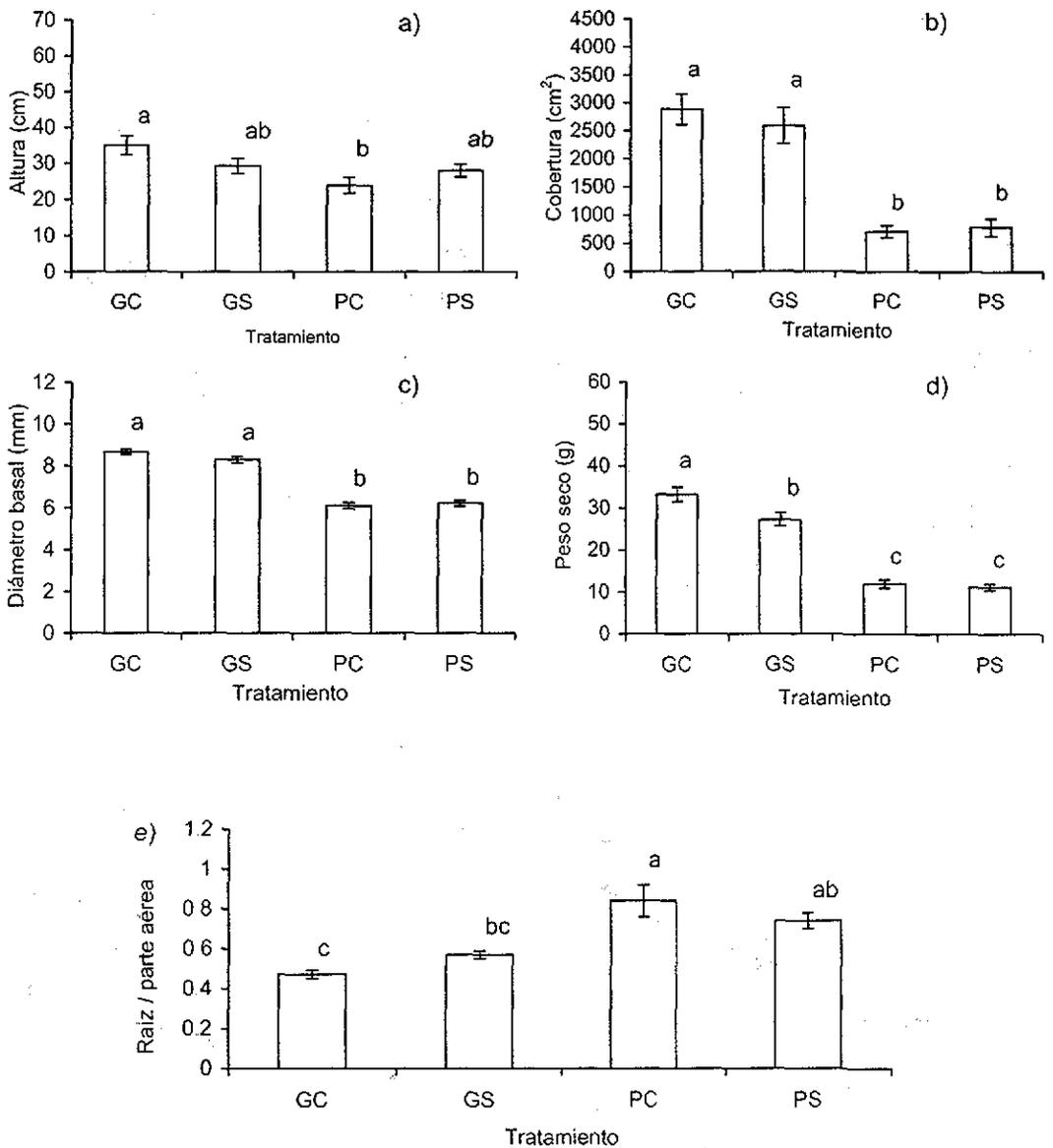


Fig. 7. Valores obtenidos durante la última evaluación en las cinco variables de crecimiento para *Havardia acattensis*. Las letras arriba de las barras (± 1 E.E.) indican los resultados de las comparaciones pareadas hechas con la prueba de Tukey; letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización.

tratamientos de contenedores grandes y los dos chicos, si bien estos dos conjuntos difirieron entre sí (Fig. 7b).

Al igual que para la variable anterior, el resultado del ANDEVA en la última evaluación del diámetro basal sólo mostró un efecto significativo para el factor contenedor (Tabla 5) Esta variable aumentó de forma constante a través del experimento y sus valores fueron homogéneos entre tratamientos durante las tres primeras evaluaciones (Fig. 6c). A partir de los 84 días, las plantas de los contenedores grandes tuvieron los valores más grandes. Para la última evaluación, el máximo diámetro (8.7 mm) correspondió al tratamiento GC, y el menor al PC (6.1 mm). Las únicas diferencias significativas se encontraron entre tratamientos de distinto tamaño de contenedor, pero no entre niveles de fertilización (Fig. 7c).

El ANDEVA realizado para el peso seco mostró efectos significativos para ambos factores, pero no para su interacción (Tabla 5) El crecimiento en peso seco total fue similar en todos los tratamientos durante los primeros 63 días, pero a partir de ese momento hubo una diferenciación importante entre plantas que estaban creciendo en contenedores de distinto tamaño (Fig. 6d). Durante casi todo el experimento los tratamientos con fertilizante alcanzaron valores ligeramente superiores a los obtenidos sin fertilizante; esta diferencia se hizo más grande entre los dos tratamientos de contenedores grandes en la última evaluación. En ésta, la diferencia fue de cerca de tres veces entre los valores máximo (33.2 g) y mínimo (11.3 g), correspondientes a los tratamientos GC y PS. De acuerdo con las comparaciones pareadas, el peso seco de las plantas del GC fue significativamente mayor que el de los otros tratamientos; las plantas del GS también difirieron de todas las restantes, y solamente las plantas de los dos tratamientos de contenedores pequeños, que produjeron valores menores a los de mayor tamaño, no difirieron entre sí (Fig. 7d)

Al final del experimento, tanto el factor contenedor como la interacción contenedor \times fertilización fueron significativos (ANDEVA, Tabla 5) en el cociente raíz / parte aérea. Durante todo el experimento la asignación a parte aérea fue mayor que a la raíz en los dos tamaños de contenedores y también en ambos niveles de fertilización (Fig. 8, arriba) Pero en general los valores de las plantas de los contenedores chicos fueron más altos, indicando una

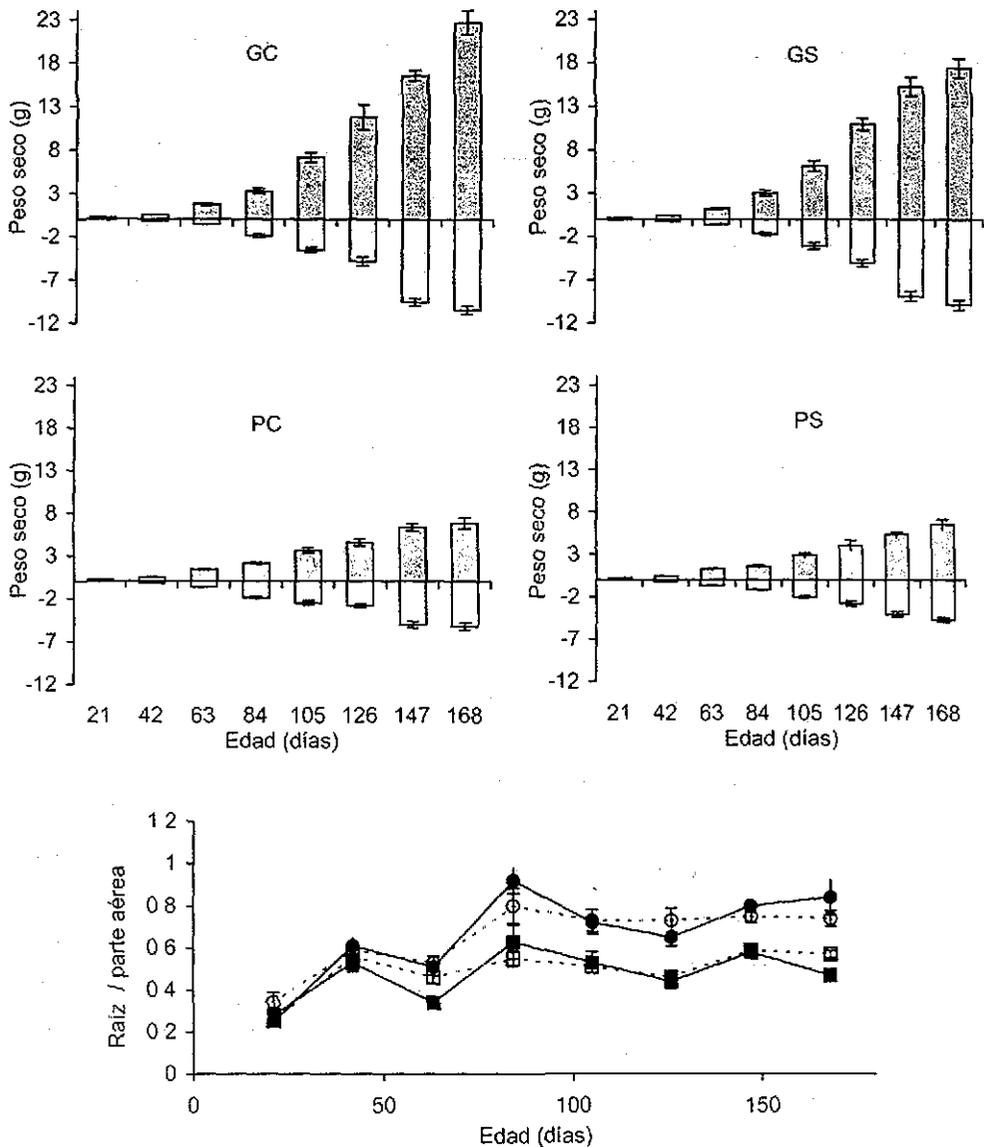


Fig 8. Arriba: Comportamiento temporal del peso seco de la parte aérea (barras sombreadas) y de la raíz (barras blancas) de *Havadria acattensis*. GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización. Abajo: Variación temporal del cociente raíz/parte aérea. Las barras y los puntos representan promedios (± 1 E.E.). Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño.

relación raíz/parte aérea más equilibrada (Fig. 8, abajo). El cociente más alto se obtuvo en los tratamientos PC y PS en la cuarta evaluación (0.92 y 0.80, respectivamente), y posteriormente los cuatro tratamientos presentaron valores más o menos constantes (Fig. 8, abajo). Las comparaciones pareadas (Fig. 7e) mostraron diferencias graduales entre los tratamientos, ya que todos los promedios no difirieron significativamente de sus valores más cercanos, mientras que el resto de las diferencias sí fueron significativas.

A diferencia de la especie anterior, en la última evaluación para esta especie la interacción contenedor \times fertilización fue significativa para dos variables, pero curiosamente no lo fue para el peso seco, variable para la cual el efecto fertilización fue significativo (Tabla 5).

Lysiloma tergeminum. En general, para esta especie se observaron diferencias notables entre los tratamientos de contenedor grande y los de contenedor chico, las cuales fueron evidentes a partir de la tercera evaluación (63 días). Esta diferencia no sólo se refiere a los valores sino también a la forma de crecimiento, ya que en los contenedores chicos el crecimiento tendió a ser lineal, a diferencia de lo que ocurrió en los contenedores grandes (Fig. 9) Además, en términos generales los tratamientos con fertilizante produjeron valores algo mayores que los que no tuvieron

La altura de las plantas de esta especie comenzó a divergir de forma evidente entre ambos tamaños de contenedor a partir de la cuarta evaluación (Fig. 9a). Al final, sólo el factor contenedor fue significativo (Tabla 5) Para cada tamaño de contenedor, los tratamientos con fertilizante produjeron alturas mayores que los de sin fertilizante sólo al final del experimento; en evaluaciones anteriores las diferencias fueron pequeñas, y en algunos casos las plantas de los tratamientos sin fertilizante alcanzaron alturas mayores que las que sí lo tuvieron. Al igual que en las especies anteriores, el crecimiento en altura en *Lysiloma tergeminum* parece haber llegado a una asíntota, al menos en el los contenedores pequeños, en los que la altura se estabilizó alrededor de 30 cm. La diferencia final entre los valores máximo (GC, 48.7 cm) y mínimo (PS, 26.0 cm) fue de casi 1.9 veces. La comparación por pares mostró diferencias significativas entre los dos tratamientos de contenedor grande y los dos de contenedor chico, pero no entre los pares de cada tamaño de contenedor (Fig. 10a).

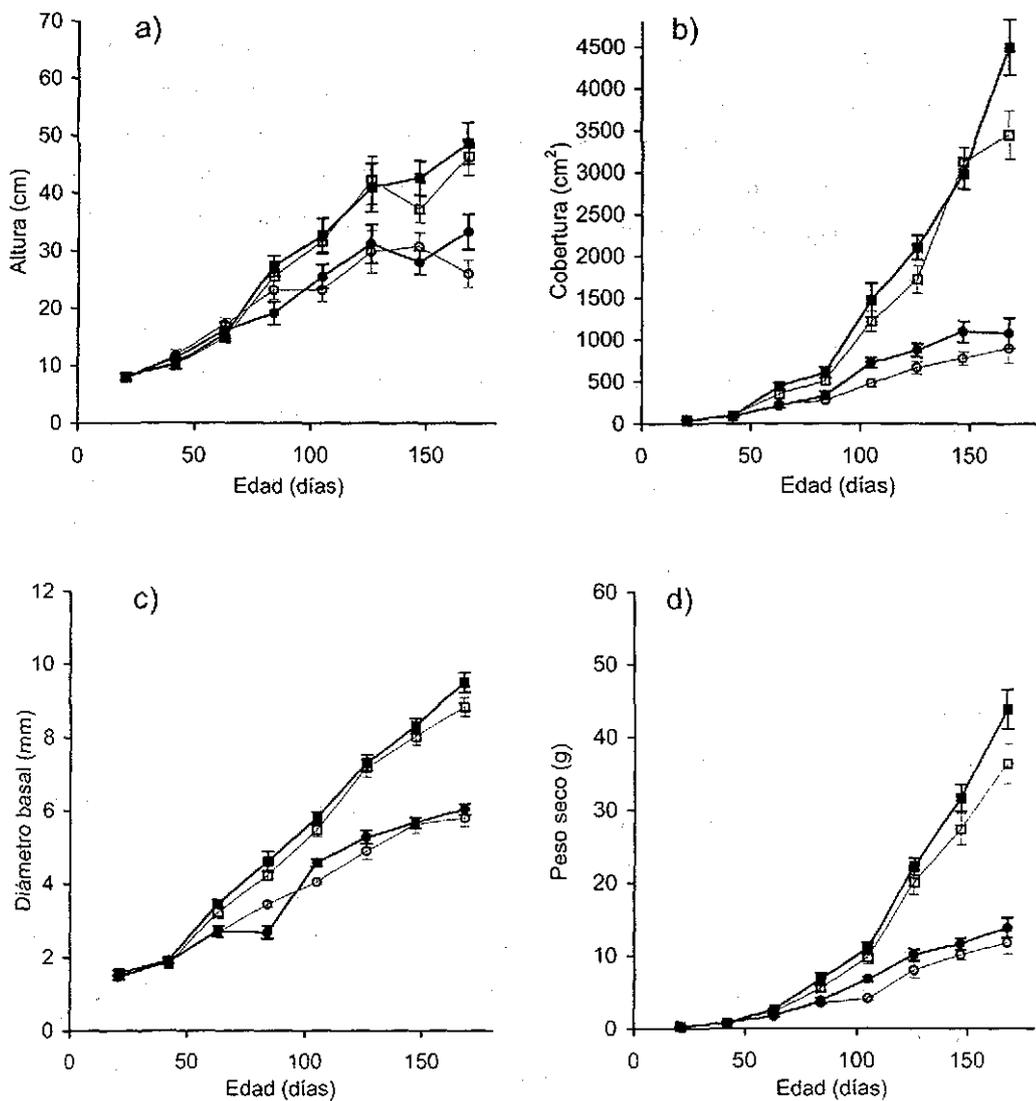


Fig. 9. Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento evaluadas para *Lysiloma tergeminum*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican un error estándar. Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño.

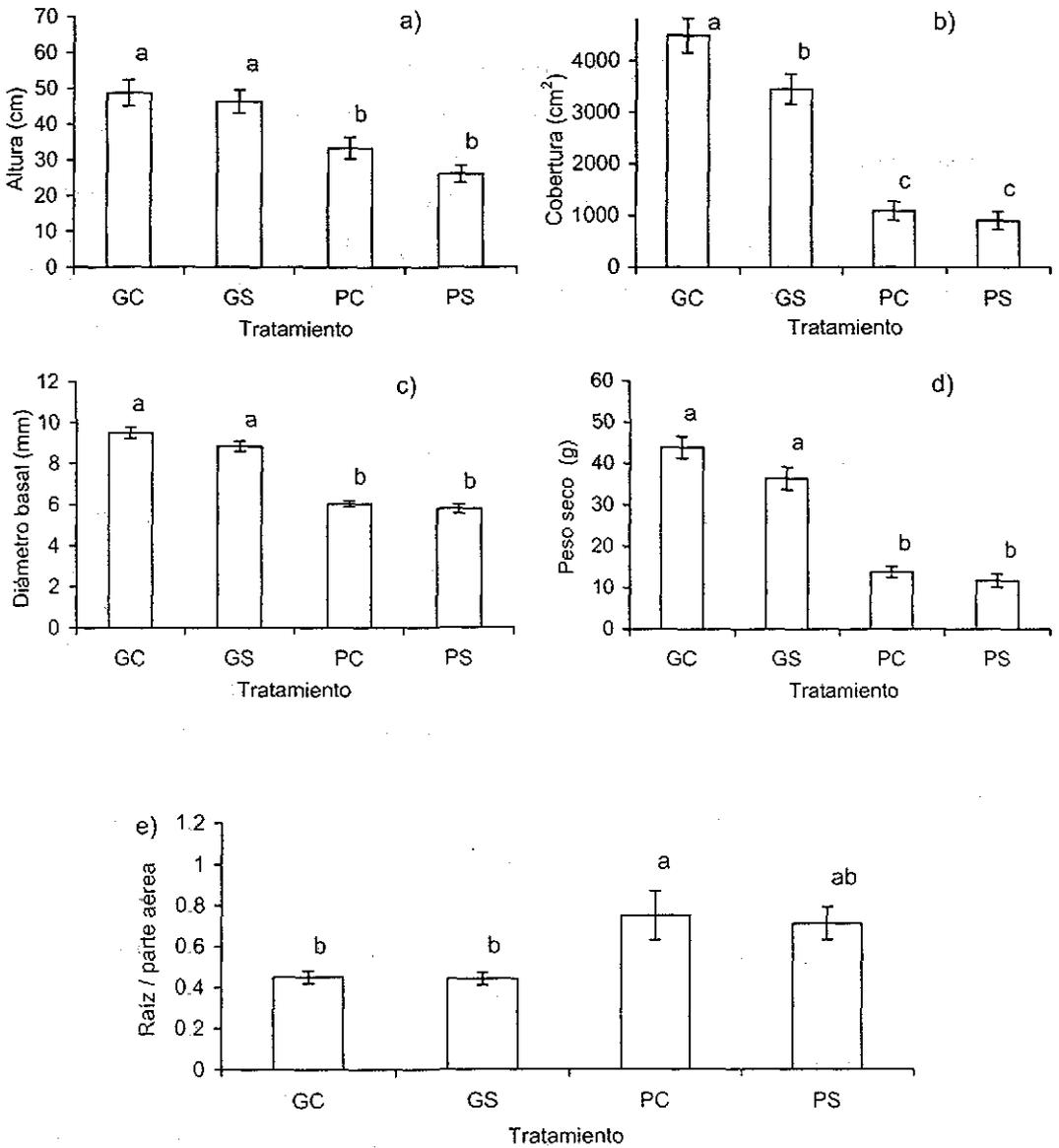


Fig. 10 Valores obtenidos durante la última evaluación en las cinco variables de crecimiento para *Lysiloma terginum*. Las letras arriba de las barras ($\pm 1 E E$) indican los resultados de las comparaciones pareadas hechas con la prueba de Tukey; letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización.

El ANDEVA de la última evaluación para la cobertura de la copa mostró efectos significativos para el contenedor y la fertilización, pero no para su interacción (Tabla 5). Hubo diferencias muy importantes entre las plantas de los contenedores grandes y las de los pequeños, sobre todo a partir de la quinta evaluación (105 días; Fig. 9b). Mientras que el crecimiento en cobertura tuvo una cierta reducción en PC entre la penúltima y la última evaluación, en ésta última se presentó el valor máximo ($4,498 \text{ cm}^2$) en GC, mismo que fue cinco veces más grande que el valor mínimo (897 cm^2) obtenido en PS. De acuerdo a la comparación por pares, el valor para el tratamiento GC fue significativamente mayor que todos los demás, seguido por el de GS, el cual difirió de todos los restantes; solamente los dos tratamientos de contenedores chicos no difirieron entre sí (Fig. 10, b)

En el diámetro basal sólo el factor contenedor resultó significativo de acuerdo al ANDEVA realizado para los datos finales, aunque el valor de p (0.051) para el factor fertilización indica una tendencia de éste a ser también significativo (Tabla 5). Las diferencias en diámetro basal entre tratamientos de distinto tamaño de contenedor fueron evidentes a partir de la tercera evaluación (63 días); los tratamientos en contenedores grandes produjeron los valores más altos (Fig. 9c). Para cada tamaño de contenedor, los tratamientos con fertilizante produjeron valores ligeramente mayores que los que no lo tuvieron. Para esta variable también se encontró una diferencia grande entre los valores promedio extremos obtenidos al final del experimento, ya que el valor máximo de 9.5 mm en el GC, superó en 1.6 veces al mínimo de 5.8 mm en PS. De nuevo, las comparaciones pareadas sólo mostraron diferencias significativas entre tratamientos de diferentes niveles de tamaño de contenedor, pero no entre los de diferentes niveles de fertilización (Fig. 10, c).

El comportamiento de la variable peso seco en esta especie es muy semejante al descrito arriba para la cobertura de la copa (Fig. 9d). Los resultados del ANDEVA mostraron efectos significativos para los dos factores, pero no para su interacción (Tabla 5). Aquí también los tratamientos en contenedores grandes fueron los que alcanzaron los valores más altos, sobre todo cuando se aplicó fertilizante. En el tratamiento GC se obtuvo el valor máximo (43.8 g) al final del experimento, mientras que el valor mínimo (11.7 g), correspondió al tratamiento PS y que fue equivalente a casi la cuarta parte del primero. Por otro lado, la comparación por

pares produjo los mismos resultados que para la variable anterior (Fig. 10, d).

Solamente el factor contenedor fue significativo para el cociente raíz/parte aérea en la última evaluación (Tabla 5). Los valores del cociente calculados para esta especie mostraron que la asignación absoluta a la raíz fue mayor en los contenedores grandes (Fig. 11, arriba). Sin embargo, en términos relativos, la asignación a raíz fue mayor en las plantas de contenedores pequeños (Fig. 11, abajo). Para ambos tamaños de contenedor, el cociente presentó un comportamiento heterogéneo a lo largo del experimento. Las comparaciones por pares mostraron que las plantas en PC fueron significativamente diferentes de las plantas que crecieron en los contenedores grandes (Fig. 10, e).

Al igual que en el caso de *Acacia macilenta*, en *Lysiloma terginum* la interacción contenedor \times fertilización no fue significativa en ningún caso (Tabla 5).

Mimosa benthamii La mayoría de las plantas de esta especie que debían ser evaluadas en la octava fecha en los contenedores chicos presentaban daños físicos parciales o totales, principalmente por problemas de plagas y de espacio para el crecimiento de las raíces. Por esta razón, y para evitar dificultades en el análisis, se decidió hacer las comparaciones estadísticas de las plantas tanto en los contenedores grandes como en los chicos, con los datos de la séptima evaluación (164 días) y no con los de la octava. A pesar de ello, los resultados obtenidos para esta especie en la séptima evaluación no fueron tan diferentes, y se presentó una tendencia similar a la correspondiente a los obtenidos en la octava evaluación para las otras especies.

Las gráficas para esta especie (Fig. 12) no muestran grandes modificaciones a través del tiempo y sí una tendencia lineal. Las diferencias entre contenedores grandes y pequeños fueron evidentes, aunque no siempre a partir de la misma evaluación. Los tratamientos con fertilizante produjeron consistentemente valores ligeramente más altos que sin él.

El ANDEVA en la evaluación final para la altura mostró un efecto significativo para el tamaño de contenedor y para la interacción contenedor \times fertilizante (Tabla 5). La altura mostró un aumento constante, aunque siempre mayor para los contenedores grandes que para los chicos (Fig. 12a). Hacia el final del experimento, la altura de las plantas de GS rebasó la

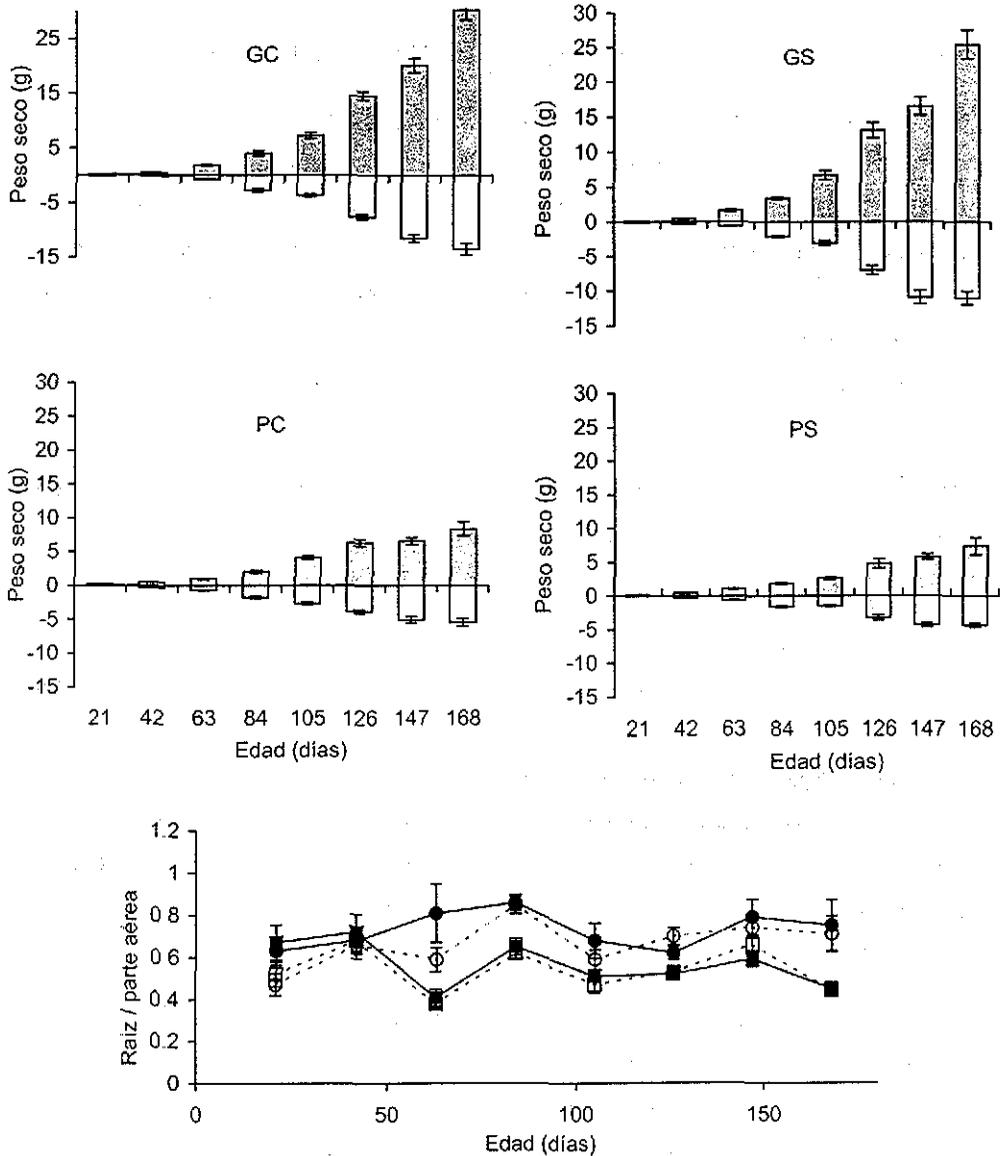


Fig. 11 Arriba: Comportamiento temporal del peso seco de la parte aérea (barras sombreadas) y de la raíz (barras blancas) de *Lysiloma tergerinum*. GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización Abajo: Variación temporal del cociente raíz/parte aérea. Las barras y los puntos representan promedios ($\pm 1 E.E.$). Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño

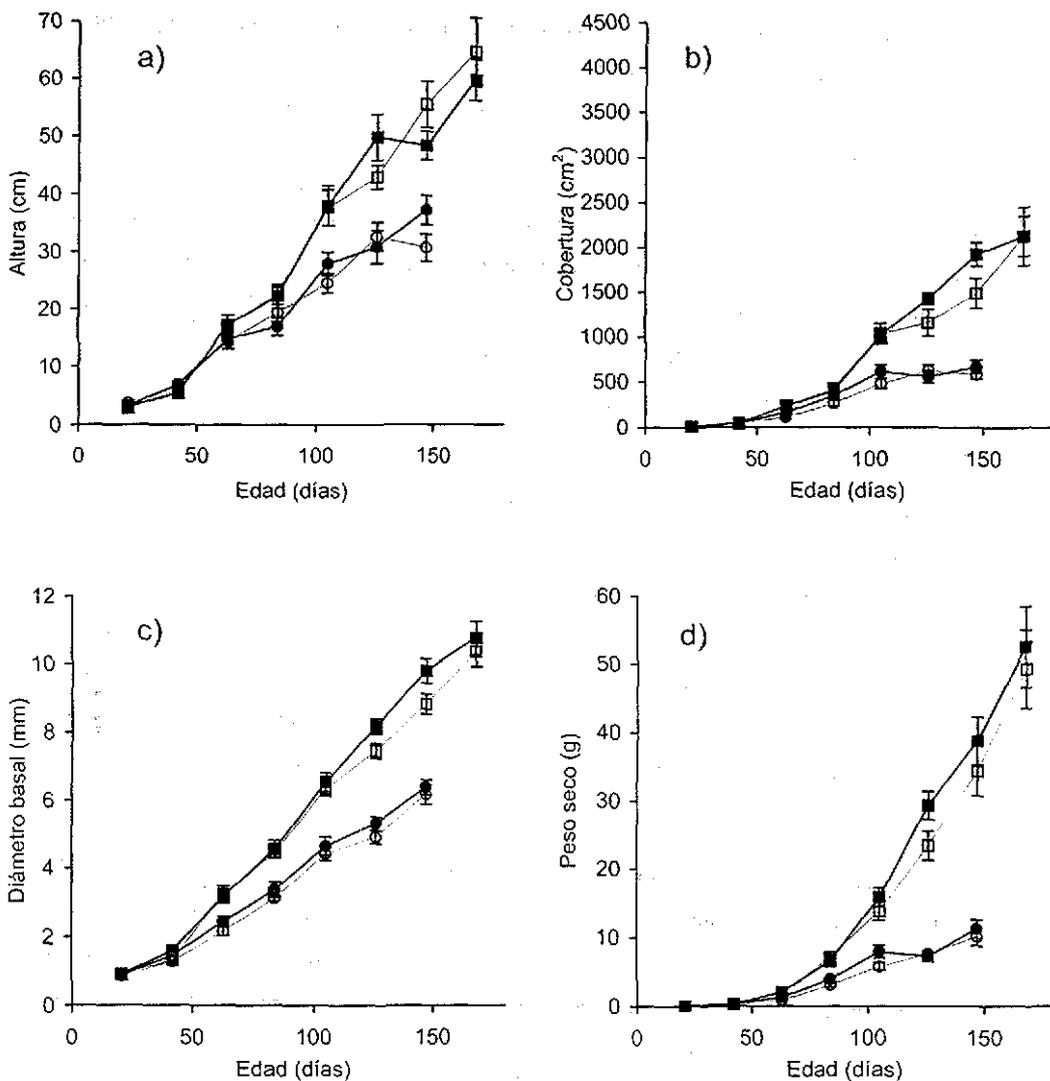


Fig. 12. Cambio a través del tiempo de las variables de crecimiento evaluadas para *Mimosa benthamii*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican un error estándar. Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño.

de las plantas de GC. En la séptima evaluación, la altura mayor (55.5 cm, GS) superó 1.8 veces la altura menor (30.7 cm, PS). Como en otros casos, la comparación por pares sólo mostró diferencias entre niveles de tamaño de contenedor, pero no entre niveles de fertilización (Fig. 13a).

En la cobertura de la copa se obtuvieron efectos significativos para el tamaño de contenedor y también para la fertilización, pero no para su interacción (Tabla 5). Las diferencias entre los contenedores grandes y pequeños sólo fueron evidentes a partir de la quinta evaluación (Fig. 12b). En la séptima evaluación, el valor más pequeño (583.3 cm², PS) representó la cuarta parte del valor máximo (1,925.2 cm², GC). La comparación por pares (Fig. 13b) produjo los mismos resultados que para la variable anterior.

En el caso del diámetro basal, los contenedores grandes produjeron valores más altos desde la tercera evaluación, de modo que en la parte intermedia del experimento los contenedores chicos parecían tener tres semanas de retraso respecto a los grandes (Fig. 12c). En la séptima evaluación, el máximo valor (9.8 mm, GC) superó en 1.5 veces al más pequeño (6.2 mm, PS). Esta diferencia se reflejó en el resultado del ANDEVA, el cual mostró un efecto significativo para el factor contenedor (Tabla 5), y en los resultados de las comparaciones pareadas, que fueron los mismos que para las variables anteriores (Fig. 13c).

Las diferencias más grandes entre los contenedores grandes y chicos se observaron para el peso seco (Fig. 12d) en donde sólo el factor contenedor fue significativo (ANDEVA, Tabla 5). En el caso de las plantas que crecieron en contenedores grandes, el comportamiento parece ser exponencial, si bien en los últimos tres periodos los valores no cambiaron mucho. En la séptima evaluación la mayor diferencia se encontró entre los valores obtenidos para los tratamientos GC y PS (38.9 y 10.2 g, respectivamente), ya que el primero de ellos fue casi cuatro veces más grande que el segundo. Los resultados de la comparación por pares fueron iguales que para todas las variables anteriores (Fig. 13d).

El ANDEVA final para el cociente raíz/parte aérea, mostró un efecto significativo para el contenedor (Tabla 5). En términos absolutos, las plantas de los contenedores grandes tuvieron mayor asignación a la parte aérea que a la raíz (Fig. 14, arriba), y por lo tanto en términos relativos los valores del cociente raíz/parte aérea fueron mayores en los

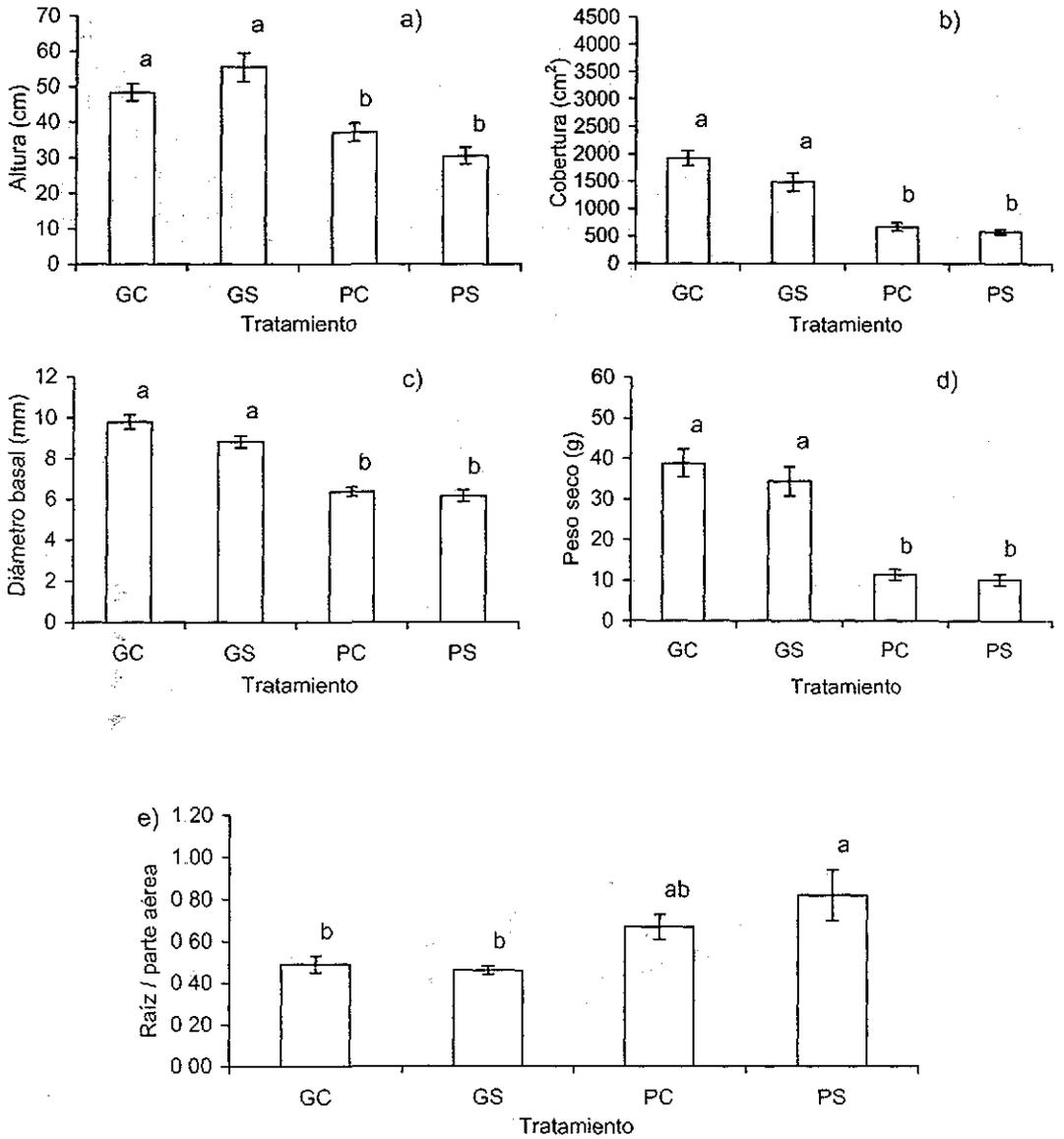


Fig. 13. Valores obtenidos durante la última evaluación en las cinco variables de crecimiento para *Mimosa benthamii*. Las letras arriba de las barras (± 1 E.E.) indican los resultados de las comparaciones pareadas hechas con la prueba de Tukey; letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). GC = contenedor grande sin fertilización; GS = contenedor grande con fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización.

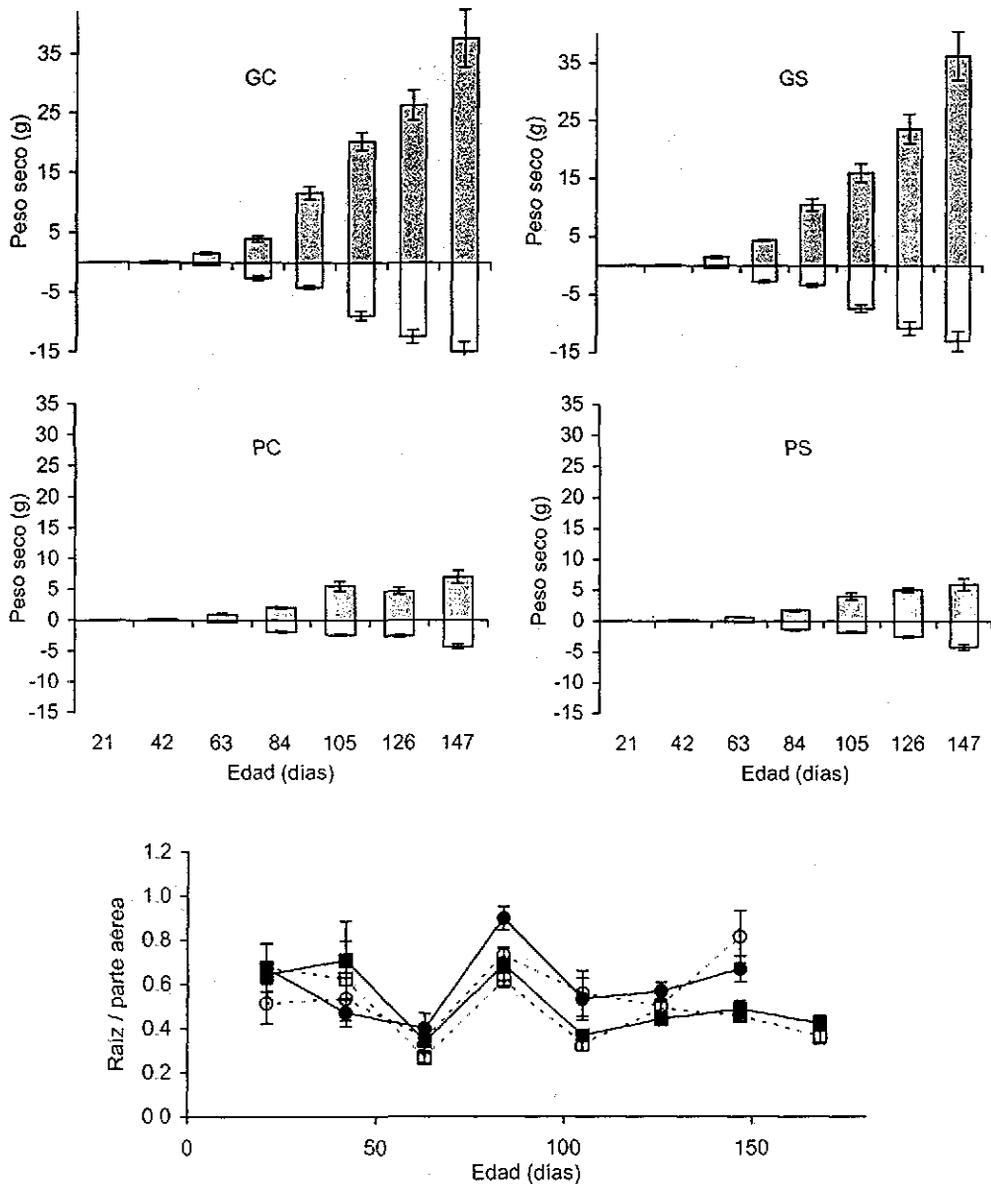


Fig. 14. Arriba: Comportamiento temporal del peso seco de la parte aérea (barras sombreadas) y de la raíz (barras blancas) de *Mimosa benthamii*. GC = contenedor grande con fertilización; GS = contenedor grande sin fertilización; PC = contenedor pequeño con fertilización; PS = contenedor pequeño sin fertilización. Abajo: Variación temporal del cociente raíz/parte aérea. Las barras y los puntos representan promedios (± 1 E.E.). Líneas y figuras oscuras = con fertilizante; líneas y figuras claras = sin fertilizante; cuadros = contenedor grande; círculos = contenedor pequeño.

contenedores chicos. Los valores más bajos (alrededor de 0.4) se presentaron para todos los tratamientos en la tercera evaluación; curiosamente, éstos fueron seguidos por los más altos (poco más de 0.8) en la siguiente evaluación (Fig 14, abajo). La comparación por pares sólo mostró diferencias significativas entre el tratamiento PS (el mayor de todos) y los valores de ambos tratamientos en el contenedor grande (Fig 13e).

Para *Mimosa benthamii*, la interacción contenedor × fertilización sólo fue significativa en el caso de la variable altura, aunque curiosamente para esta variable la fertilización sola no tuvo un efecto significativo.

3.3 Comparación global entre las especies.

Para realizar una comparación del crecimiento de las cuatro especies se consideraron las mismas gráficas que la sección anterior, y los resultados de las distintas variables que se resumen en la Tabla 6. A diferencia de la comparación hecha en la sección anterior, en ésta sí se consideraron los resultados obtenidos en los contenedores grandes de la octava evaluación para *Mimosa benthamii*.

Altura. La comparación visual de las pendientes de las curvas de crecimiento para esta variable mostró que en general éstas fueron lineales en las cuatro especies, aunque con valores muy inferiores para *Havardia acatensis*.

Durante la primera evaluación, hubo una diferencia de cuatro veces entre *Acacia macilenta*, la especie que alcanzó mayor altura en los contenedores grandes (12 cm), y *Mimosa benthamii*, la de menor tamaño, con menos de 3 cm, con el mismo tratamiento. En la última evaluación y a diferencia de lo obtenido para el crecimiento inicial, *Mimosa benthamii* fue la que alcanzó mayor altura (64.7 cm) en el contenedor grande sin fertilización. En la misma evaluación, *Havardia acatensis* fue la especie de menor altura (23.8 cm) en contenedor pequeño sin fertilizante.

Cobertura de la copa. En la primera evaluación la especie que tuvo el promedio más alto fue *Lysiloma tergeminum*, con 50.3 cm² en contenedores chicos. Al igual que para la

Tabla 6. Promedios de las variables evaluadas al inicio y al final del experimento (21 y 168 días)

Especie	Tratamiento	Variable				Tasa relativa de crecimiento (g g ⁻¹ día ⁻¹)
		Altura (cm)	Diámetro basal (mm)	Peso seco (g)	Cociente raíz / parte aérea	
<i>Acacia macilenta</i>	GC	10.88 - 62.50	1.33 - 6.98	0.16 - 18.89	0.50 - 0.48	0.076 - 0.019
	GS	11.00 - 58.92	1.39 - 6.33	0.19 - 14.02	0.59 - 0.49	0.071 - 0.019
	PC	12.08 - 47.50	1.37 - 5.68	0.18 - 10.66	0.57 - 0.61	0.074 - 0.015
	PS	11.46 - 36.83	1.30 - 5.10	0.17 - 7.14	0.49 - 0.60	0.074 - 0.014
<i>Havardia acatlensis</i>	GC	10.58 - 35.00	1.80 - 8.67	0.28 - 33.23	0.28 - 0.47	0.078 - 0.020
	GS	10.00 - 29.33	1.88 - 8.29	0.25 - 27.25	0.25 - 0.57	0.076 - 0.020
	PC	11.08 - 23.83	2.01 - 6.09	0.27 - 12.06	0.25 - 0.84	0.071 - 0.014
	PS	11.58 - 28.08	2.07 - 6.21	0.29 - 11.26	0.34 - 0.74	0.064 - 0.014
<i>Lysiloma tergeminum</i>	GC	8.08 - 48.67	1.58 - 9.49	0.35 - 43.83	0.67 - 0.45	0.074 - 0.021
	GS	7.92 - 46.42	1.53 - 8.83	0.25 - 36.39	0.52 - 0.44	0.081 - 0.020
	PC	8.00 - 33.33	1.47 - 6.04	0.29 - 13.81	0.63 - 0.75	0.069 - 0.015
	PS	7.88 - 26.00	1.52 - 5.79	0.26 - 11.75	0.47 - 0.71	0.067 - 0.014
<i>Mimosa benthamii</i>	GC	3.00 - 59.75	0.91 - 10.77	0.053 - 52.59	0.64 - 0.42	0.031 - 0.025
	GS	2.83 - 64.67	0.90 - 10.36	0.055 - 49.32	0.67 - 0.37	0.125 - 0.025
	PC	3.17 - 37.17	0.88 - 6.38	0.055 - 11.32	0.67 - 0.67	0.107 - 0.023
	PS	3.71 - 30.67	0.87 - 6.17	0.058 - 10.17	0.51 - 0.82	0.101 - 0.023

GC = Contenedor grande con fertilización; GS = Contenedor grande sin fertilización

PC = Contenedor chico con fertilización; PS = Contenedor chico sin fertilización

variable anterior, *Mimosa benthamii* tuvo el menor valor (7.4 cm²) en contenedor grande. Entre ambas especies existió una diferencia de 6.7 veces. En la última evaluación, en contenedores grandes con fertilización *Havardia acatlensis* alcanzó el valor más alto (2,885.8 cm²), mientras que *Acacia macilenta* en contenedores chicos sin fertilización fue la que tuvo el valor más pequeño (539.6 cm²). Las pendientes de las curvas de esta variable para las cuatro especies en contenedores grandes tendieron a ser sigmoides, con excepción de *Lysiloma terginum*, la cual mostró un crecimiento continuo. Éste último patrón se presentó en los contenedores chicos para las cuatro especies.

Diámetro basal. Durante todo el experimento esta variable aumentó de manera continua y homogénea entre tratamientos. En la primera evaluación *Havardia acatlensis* mostró el valor más alto (2 mm) en el contenedor pequeño y *Mimosa benthamii* (0.87 mm) el mínimo con el mismo tratamiento, una diferencia fue de 2.5 veces. En la última evaluación en *Mimosa benthamii* se presentó el valor máximo (10.8 mm) en GC. En *Acacia macilenta* se tuvo el valor mínimo (5.1 mm) bajo el tratamiento PS, equivalente a la mitad del anterior.

Peso seco total. En la primera evaluación, los valores más altos y más bajos estuvieron asociados a *Lysiloma terginum* (0.4 g) y a *Mimosa benthamii* (0.05 g), respectivamente, lo que representa una diferencia de 7 veces entre ambas. Para la última evaluación, *Mimosa benthamii* en GC tuvo el valor más grande (52.6 g), mientras que *Acacia macilenta* tuvo el menor valor en PS (7.1 g); esta diferencia es de aproximadamente siete veces.

La forma de las curvas de crecimiento de las cuatro especies para esta variable indica una tendencia lineal, es decir, que las tasas son constantes en los diferentes tratamientos, y aunque en *Acacia macilenta* se obtuvieron valores muy por debajo de los obtenidos para las otras especies, este comportamiento fue constante a lo largo del experimento.

Cociente raíz/parte aérea. Los resultados para esta variable indican en general que en ninguna evaluación realizada durante el experimento y para ninguna especie, la asignación a la raíz en las plantas fue superior a la asignación a la parte aérea, a pesar de que en *Acacia macilenta* ésta proporción estuvo muy cercana a la igualdad (0.97). Para las cuatro especies, los tratamientos que alcanzaron los valores más altos en el cociente raíz/parte aérea se obtuvieron en los contenedores chicos y los valores más bajos se observaron en los grandes.

A la mitad del experimento (84 días) se presentaron los valores más altos del cociente raíz/ parte aérea en las diferentes especies, con excepción de *Acacia macilenta*, donde esto ocurrió a los 42 días. Esta última especie alcanzó el valor más alto de todo el experimento y entre las cuatro especies (0.97) bajo el tratamiento PS (Fig. 5) en la segunda fecha. En *Havardia acatlensis* se obtuvo el valor más pequeño (0.25) en la primer evaluación, pero en la cuarta (84 días) con el tratamiento PC se encontró la mayor asignación a raíz (0.92). Antes de ello, la asignación a ambas partes fue muy diferente, pero posteriormente se mantuvo constante. A lo largo del experimento se presentaron valores de este cociente muy irregulares para *Lysiloma terginum*, pero al igual que en las demás especies, los contenedores pequeños presentaron los valores más altos, destacando los de la cuarta evaluación (0.86). *Mimosa benthamii* presentó mayor variabilidad en la asignación de recursos a lo largo del experimento, aunque el valor más alto, al igual que en la especie anterior, también se presentó durante la cuarta evaluación (84 días), pero con el tratamiento PS (0.90).

Formación de nódulos. Esta variable, evaluada por medio de la observación directa de la raíz de cada planta, tuvo un comportamiento homogéneo y constante a lo largo del experimento. Los nódulos que aparecieron desde la primer evaluación crecieron durante todo el experimento en forma proporcional al crecimiento de la planta, independientemente del tamaño del contenedor o la aplicación del fertilizante. Hasta el final del experimento, la presencia de los nódulos mostró la misma tendencia.

Durante el estudio no se detectaron diferencias importantes entre el número de nódulos en los tratamientos con y sin aplicación del fertilizante, ni entre los dos tamaños de contenedor. Los únicos cambios importantes de esta variable tuvieron que ver más con la forma de los nódulos en cada especie. Claramente se pudieron diferenciar tres formas: para *Acacia macilenta* y *Lysiloma terginum* la forma de los nódulos fue esférica, para *Havardia acatlensis* fue lobulada, y para *Mimosa benthamii*, ovoide.

Tasas relativas de crecimiento. Las ecuaciones polinomiales ajustadas para calcular las tasas relativas de crecimiento en cada especie y tratamiento se presentan en la Tabla 7. Para describir el comportamiento de esta variable a través del tiempo, se compararon visualmente los intervalos de confianza de las tasas relativas de crecimiento de las cuatro especies

Tabla 7. Ecuaciones de crecimiento ajustadas para cada tratamiento por especie

Especie	Tratamiento	Ecuación de ajuste	r ²
<i>Acacia macilenta</i>	GC	$y=0.11039+(-0.0019)(x)+(1.5521E-05)(x)^2+(-4.1844E-08)(x)^3$	0.993
	GS	$y=0.10170+(-0.0017)(x)+(1.4034E-05)(x)^2+(-3.7781E-08)(x)^3$	0.993
	PC	$y=0.10987+(-0.0021)(x)+(1.6907E-05)(x)^2+(-4.5914E-08)(x)^3$	0.992
	PS		
<i>Havardia acatlensis</i>	GC	$y=0.11208+(-0.0019)(x)+(1.5717E-05)(x)^2+(-4.2363E-08)(x)^3$	0.993
	GS	$y=0.10936+(-0.0019)(x)+(1.5077E-05)(x)^2+(-4.0587E-08)(x)^3$	0.993
	PC	$y=0.10642+(-0.0020)(x)+(1.6868E-05)(x)^2+(-4.5924E-08)(x)^3$	0.991
	PS	$y=0.09572+(-0.0018)(x)+(1.4663E-05)(x)^2+(-3.9803E-08)(x)^3$	0.992
<i>Lysiloma terginum</i>	GC	$y=0.10498+(-0.0017)(x)+(1.3846E-05)(x)^2+(-3.7154E-08)(x)^3$	0.994
	GS	$y=0.11764+(-0.0021)(x)+(1.6715E-05)(x)^2+(-4.5099E-08)(x)^3$	0.993
	PC	$y=0.10305+(-0.0019)(x)+(1.5710E-05)(x)^2+(-4.2629E-08)(x)^3$	0.992
	PS	$y=0.10080+(-0.0019)(x)+(1.5565E-05)(x)^2+(-4.2282E-08)(x)^3$	0.992
<i>Mimosa benthamii</i>	GC	$y=0.19716+(-0.0036)(x)+(3.1462E-05)(x)^2+(-8.5704E-08)(x)^3$	0.991
	GS	$y=0.18787+(-0.0036)(x)+(2.9702E-05)(x)^2+(-8.0844E-08)(x)^3$	0.991
	PC	$y=0.16922+(-0.0036)(x)+(3.2535E-05)(x)^2+(-9.8973E-08)(x)^3$	0.994

GC = Contenedor grande con fertilización; GS = Contenedor grande sin fertilización

PC = Contenedor chico con fertilización; PS = Contenedor chico sin fertilización

durante la primera y última evaluación en todos los tratamientos (Tabla 8). Aunque en términos estadísticos esta comparación no es exacta (Zar, 1999), proporciona indicios razonables de la existencia de diferencias significativas. El mismo método de comparación se aplicó sobre las Figuras 15, 16 17 y 18 que muestran los cambios temporales de las tasas relativas de crecimiento (TRC) para las cuatro especies.

En general, a simple vista las curvas son muy parecidas ya que en todos los casos la TRC (valor instantáneo) fue más alta en la primera evaluación, y a partir de allí fue decreciendo gradualmente hasta alcanzar sus valores más bajos al final del experimento. Un análisis más detallado de las gráficas, sin embargo, muestra algunas diferencias entre especies y tratamientos. La más notable correspondió a *Mimosa benthamii*, ya que esta especie tuvo los valores más altos en la TRC inicial, superando los $0.11 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Fig. 18). En contraste, las tres especies restantes tuvieron valores iniciales de alrededor de $0.8 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Para algunas especies se observaron diferencias entre tratamientos, especialmente entre los dos niveles de tamaño de contenedor. Por ejemplo, en la misma *Mimosa benthamii*, los dos tratamientos de contenedor pequeño apenas superaron valores de $10 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, aproximadamente 20% más pequeños que los valores arriba mencionados para los contenedores grandes (Fig. 18). Para *Havardia acatlensis* también se observaron diferencias iniciales entre las plantas de contenedor grande y pequeño, presentando éstas últimas valores inferiores (Fig. 16). El caso de *Lysiloma tergeminum* fue diferente, ya que sólo las plantas del tratamiento GS tuvieron valores iniciales mucho más altos ($> 0.08 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) que los de los otros tres tratamientos, si bien los valores más pequeños correspondieron a los contenedores pequeños (Fig. 17). *Acacia macilenta* fue la única excepción, ya que los valores iniciales de TRC correspondientes a los contenedores grandes fueron indistinguibles entre sí (Fig. 15).

En la mayoría de los casos de plantas de los contenedores grandes, los valores de TRC en las últimas observaciones fueron sistemáticamente más altos (generalmente $> 0.02 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) que los de plantas de contenedores pequeños ($< 0.02 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Tabla 8. Tasas relativas de crecimiento (TRC) para las cuatro especies obtenidas en la primera y última evaluación, con sus intervalos de confianza (95%).

No. evaluación	Tratamiento	TRC	Intervalo de confianza (95%)
<i>Acacia macilenta</i>			
1	GC	0.0768	0.0700 - 0.0810
	GS	0.0712	0.0651 - 0.0749
	PC	0.0741	0.0664 - 0.0788
	PS	0.0685	0.0612 - 0.0729
8	GC	0.0200	0.0136 - 0.0246
	GS	0.0192	0.0134 - 0.0233
	PC	0.0160	0.0088 - 0.0211
	PS	0.0142	0.0074 - 0.0191
<i>Havardia acatfensis</i>			
1	GC	0.0781	0.0712 - 0.0823
	GS	0.0766	0.0700 - 0.0806
	PC	0.0710	0.0633 - 0.0757
	PS	0.0647	0.0580 - 0.0687
8	GC	0.0204	0.0139 - 0.0250
	GS	0.0207	0.0145 - 0.0251
	PC	0.0143	0.0070 - 0.0195
	PS	0.0141	0.0079 - 0.0186
<i>Lysiloma tergeminum</i>			
1	GC	0.0746	0.0686 - 0.0782
	GS	0.0816	0.0742 - 0.0861
	PC	0.0697	0.0626 - 0.0741
	PS	0.0816	0.0742 - 0.0861
8	GC	0.0218	0.0162 - 0.0258
	GS	0.0208	0.0139 - 0.0258
	PC	0.0154	0.0087 - 0.0201
	PS	0.0208	0.0139 - 0.0258
<i>Mimosa benthamii</i>			
1	GC	0.1313	0.1168 - 0.1400
	GS	0.1255	0.1119 - 0.1338
	PC	0.1076	0.0966 - 0.1157
	PS	0.1018	0.0920 - 0.1091
7	GC	0.0288	0.0244 - 0.0394
	GS	0.0282	0.0240 - 0.0381
	PC	0.0235	0.0129 - 0.0320
	PS	0.0238	0.0143 - 0.0314

GC = Contenedor grande con fertilización; GS = Contenedor grande sin fertilización
 PC = Contenedor chico con fertilización; PS = Contenedor chico sin fertilización

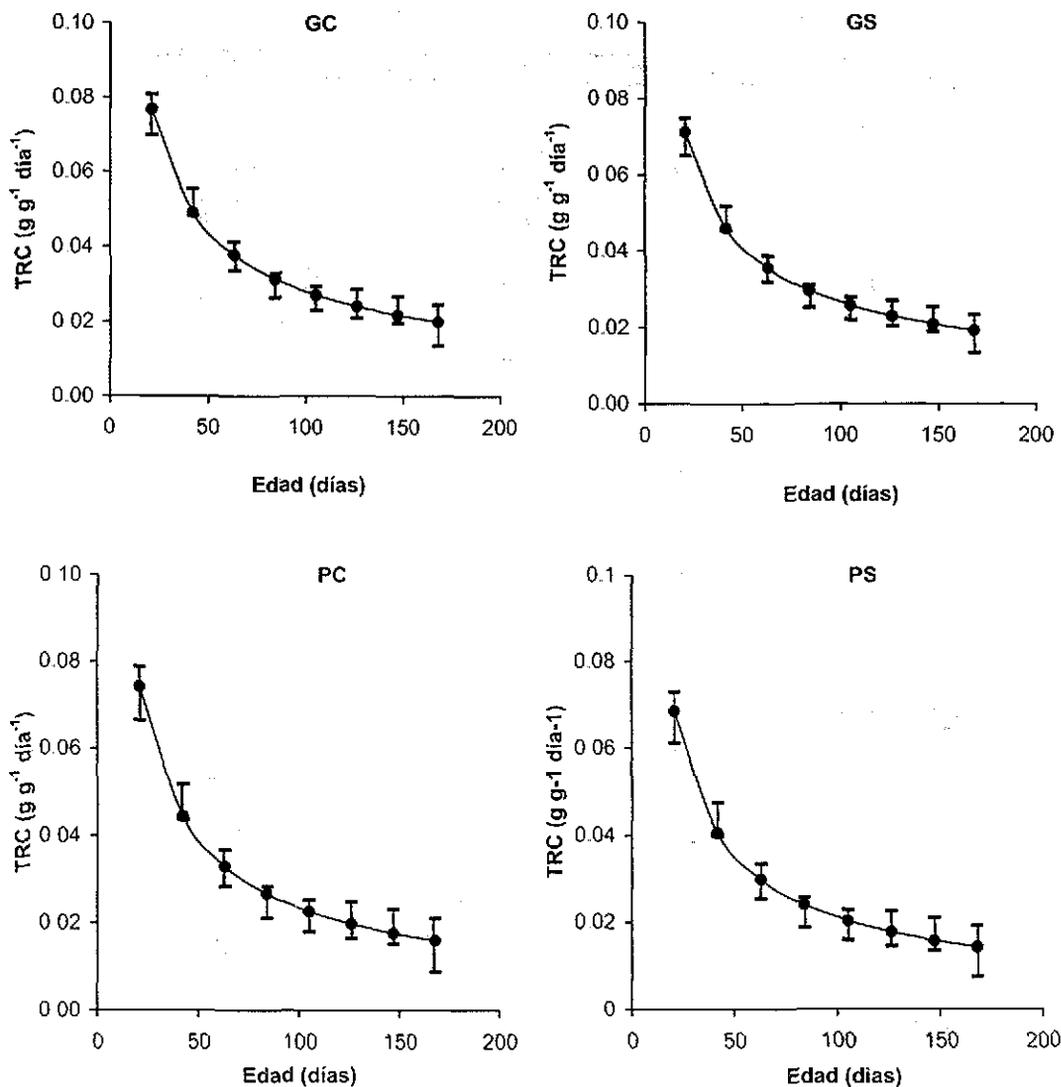


Fig.15. Cambio a través del tiempo de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la especie *Acacia macilenta*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican el intervalo de confianza de 95%. GC = contenedor grande con fertilizante; GS= contenedor grande sin fertilizante; PC = contenedor chico con fertilizante; PS = contenedor chico sin fertilizante.

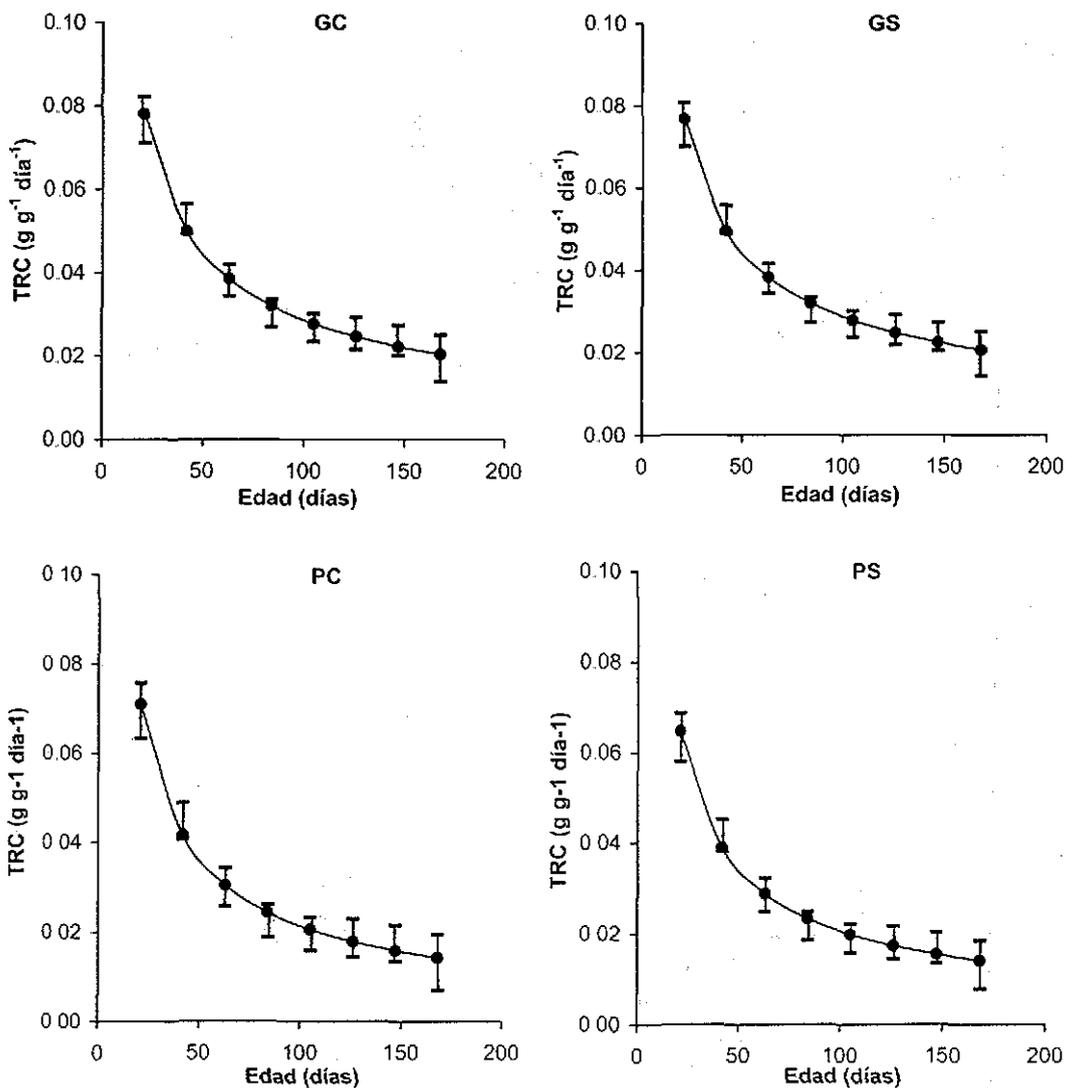


Fig. 16. Cambio a través del tiempo de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la especie *Havardia acatensis*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican el intervalo de confianza de 95%. GC = contenedor grande con fertilizante; GS= contenedor grande sin fertilizante; PC = contenedor chico con fertilizante; PS = contenedor chico sin fertilizante

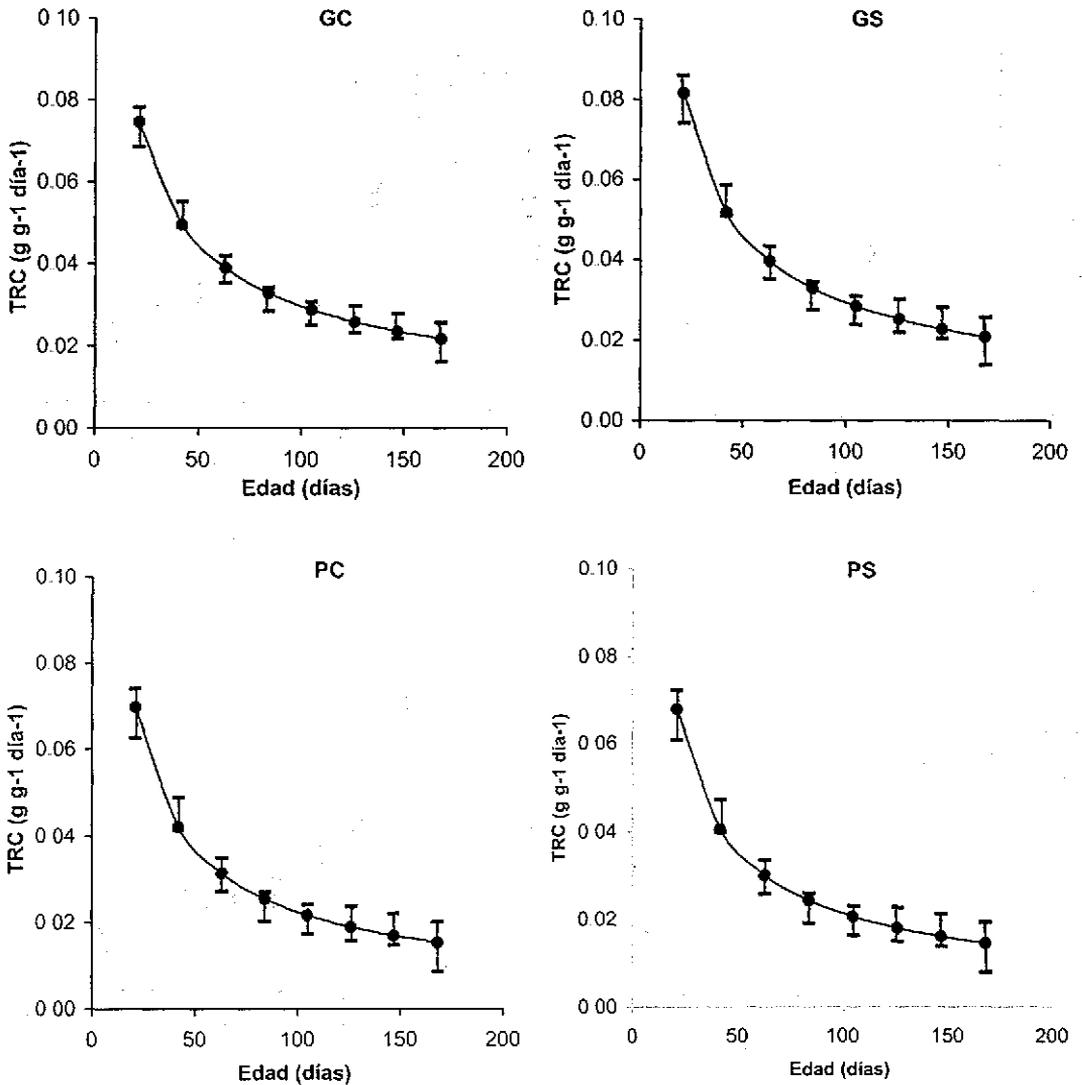


Fig. 17. Cambio a través del tiempo de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la especie *Lysiloma tergeminum*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican el intervalo de confianza de 95%. GC = contenedor grande con fertilizante; GS= contenedor grande sin fertilizante; PC = contenedor chico con fertilizante; PS = contenedor chico sin fertilizante.

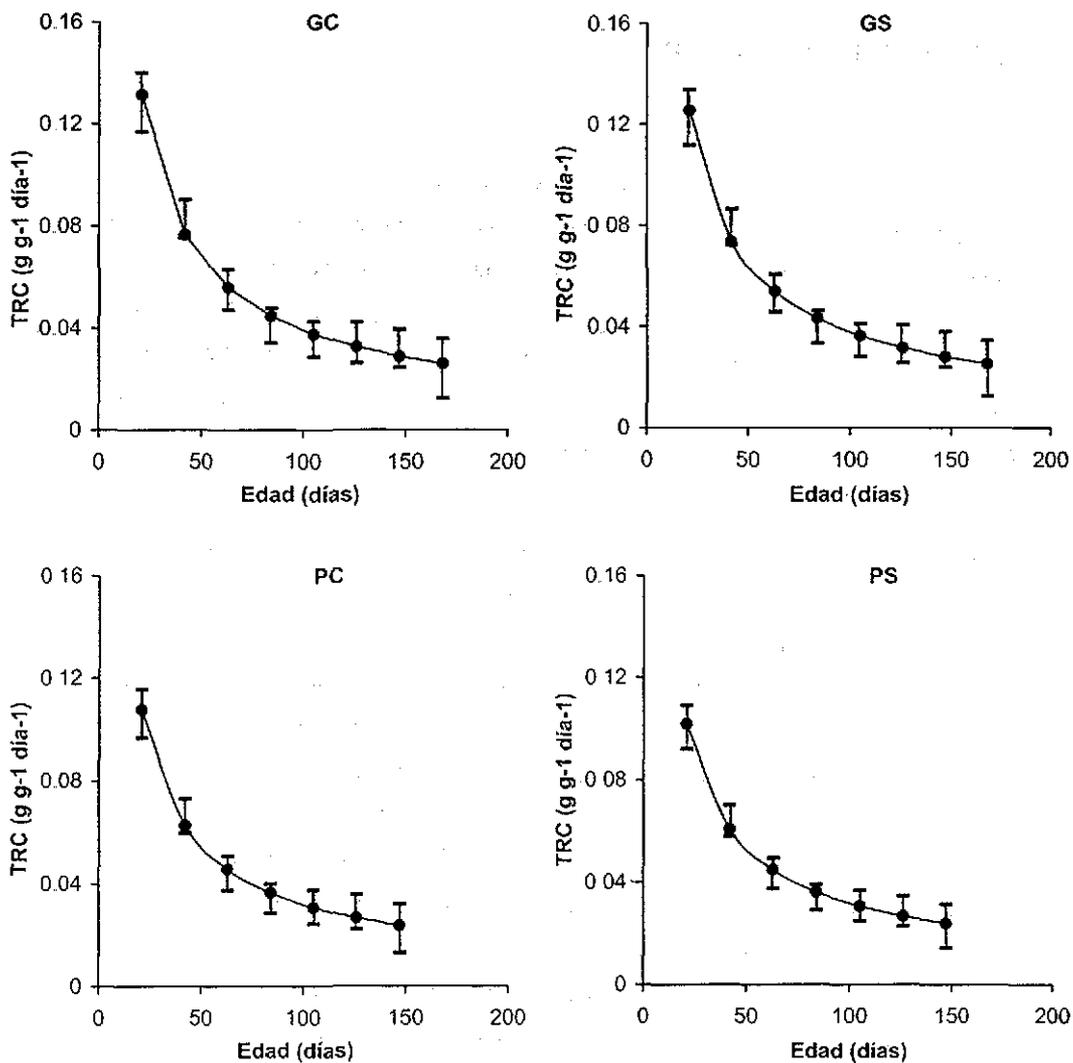


Fig. 18. Cambio a través del tiempo de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la especie *Mimosa benthamii*. Los puntos representan las medias para cada evaluación y las barras indican el intervalo de confianza de 95%. GC = contenedor grande con fertilizante; GS= contenedor grande sin fertilizante; PC = contenedor chico con fertilizante; PS = contenedor chico sin fertilizante.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

La razón para estudiar el crecimiento en vivero de las cuatro especies seleccionadas, todas ellas propias de vegetación nativa del bosque tropical seco, es que podrían integrarse a programas de rehabilitación ambiental en La Montaña, donde existen altos niveles de deterioro ambiental y de desaparición de la vegetación (Arriaga *et al.*, 1994; Landa *et al.*, 1997; Cervantes *et al.*, 2001). En general, los resultados obtenidos mostraron grandes diferencias en sus patrones de crecimiento, al menos en algunos aspectos, a pesar de que las cuatro especies pertenecen a la misma familia, de que crecieron en las mismas condiciones experimentales, y de que aparentemente tienen comportamientos ecológicos semejantes.

En numerosos sistemas biológicos se ha observado que las especies nativas crecen más lentamente que especies exóticas de rápido crecimiento (Haggar *et al.*, 1998). Por ello, se esperaba que el crecimiento mostrara un comportamiento global similar al de otras especies nativas de la selva baja caducifolia que han sido analizadas (Cervantes *et al.*, 1998), aunque también se había anticipado que su crecimiento fuera un poco más lento que el de especies de afinidad secundaria analizadas en la región. Esta última expectativa no se cumplió, ya que los resultados de este estudio no permiten diferenciar entre los patrones generales de crecimiento de especies primarias y secundarias, a pesar de que se les brindaron las mismas condiciones experimentales. Esto sugiere que en el crecimiento y desarrollo de las plantas estudiadas no corresponde a una división entre estos dos grupos, sino que cada especie responde independientemente, posiblemente a consecuencia de sus propias características genéticas (Landis *et al.*, 1998). Sin embargo, como la evaluación estuvo limitada a la permanencia en vivero de las plantas, los resultados no indican si puede haber diferencias en otras etapas de desarrollo, sobre todo en condiciones de campo.

4.1. Comparación del crecimiento de las especies.

En general, *Acacia macilenta* fue la especie de crecimiento más limitado, ya que al final del

experimento a ella correspondieron los valores más bajos de cobertura de la copa, diámetro basal y peso seco. Sin embargo, llama la atención que finalmente esta especie alcanzó los valores más altos de altura, junto con *Mimosa benthamii*. En contraste, *Havardia acatlensis* desarrolló las alturas más bajas, lo cual fue particularmente evidente hacia el final del experimento; a pesar de ello, tuvo un crecimiento similar a las demás especies en la cobertura de la copa, el diámetro basal y el peso seco total.

A pesar de no haber desarrollado alturas más grandes que las alcanzadas por las otras especies, *Lysiloma terginum* tuvo un desarrollo superior en términos de cobertura de copa, superando al final del experimento en más del doble a *Acacia macilenta*, la especie con copas más pequeñas. En cuanto al diámetro basal y al peso seco total, *Lysiloma terginum* y *Mimosa benthamii* alcanzaron los valores más altos. *Mimosa benthamii* destaca por haber presentado los valores más bajos casi en todas las variables al inicio del experimento, mientras que al final del mismo fue la especie con los valores máximos de diámetro basal, peso seco total y, compartiendo con *Acacia macilenta*, altura.

En los últimos años se han realizado estudios similares a éste, y todos ellos contribuyen a formar un campo de conocimiento sobre el uso de especies nativas útiles para la reforestación y restauración ecológica (Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Entre los atributos frecuentemente mencionados que deben tener dichas especies se encuentran un rápido crecimiento, una eficiente producción de materia seca y una fácil regeneración (Mohan *et al.*, 1998). Las especies incluidas en este estudio tuvieron una mayor velocidad de crecimiento durante las primeras evaluaciones, pero con el paso del tiempo la velocidad de crecimiento disminuyó considerablemente.

Al comparar la tasa relativa de crecimiento (TRC) de las especies estudiadas con especies de los mismos géneros analizadas por Cervantes *et al.* (1998), se encontraron similitudes notables entre las tasas de crecimiento iniciales de los géneros *Acacia*, *Havardia* y *Lysiloma*. Sin embargo, el comportamiento al final fue algo diferente. Al inicio de este estudio, la ganancia de biomasa en *Acacia macilenta* y *Lysiloma terginum* fue más rápida; posteriormente, la velocidad de este proceso disminuyó y se hizo constante hasta el final del mismo. En contraste, Cervantes *et al.* (1998) encontraron en dos especies del género

Lysiloma y en *Acacia farnesiana* una ganancia de peso más rápida al inicio del experimento, pero también al final del mismo. Esto sugiere que existen diferencias importantes en las tasas relativas de crecimiento de las especies comparadas, sobre todo al final de los experimentos, a pesar del parentesco taxonómico de estas especies.

4.2 Efecto del tamaño de contenedor.

Una de las consideraciones más importantes de este estudio fue la relacionada con el efecto del tamaño del contenedor sobre el crecimiento de las plantas (Landis *et al.*, 1990; Arriaga *et al.*, 1994; INIFAP, 1994). Como se dijo arriba, se esperaba que las especies analizadas, por ser afines a la vegetación primaria, crecerían más lentamente que especies de comunidades secundarias por limitaciones en el volumen de enraizamiento. En otras palabras, era posible que estas especies no crecieran o que lo hicieran deficientemente en los contenedores normalmente utilizados en programas de propagación masiva de plantas en los viveros de La Montaña, que son semejantes a los contenedores pequeños de este estudio.

El crecimiento de las plantas en el vivero difirió mucho dependiendo del tamaño del contenedor. En todos los casos las plantas crecieron más rápido y alcanzaron mayores tamaños en los contenedores grandes (20 cm de ancho × 30 cm de alto) que en los pequeños (11 × 25 cm); esto sugiere que los primeros ofrecieron una mayor disponibilidad de espacio, agua y nutrientes, o a un mayor volumen de enraizamiento (Gerhardt, 1995; Landis *et al.*, 1990). Las plantas de los contenedores pequeños generaron relativamente más biomasa de raíz que biomasa de parte aérea; en cambio, las plantas que crecieron en los contenedores de mayor tamaño tuvieron una menor proporción relativa de raíces. Esta relación debe ser considerada para el establecimiento de las plantas en campo, ya que la raíz es el principal órgano de anclaje al suelo y de suministro de nutrientes y agua (Spurr y Barnes, 1980). Si su desarrollo es inadecuado porque la planta es muy pequeña o porque no tiene la edad suficiente, habrá menos probabilidades de sobrevivir en este ambiente más desfavorable.

Si bien se podría pensar que de acuerdo con estos resultados, los contenedores grandes deberían ser usados preferentemente en programas de propagación masiva, hay que tener

cautela en la elaboración de conclusiones sobre las implicaciones de estas diferencias para el éxito en la reforestación. El tamaño del envase y de las plantas está directamente relacionado con el manejo práctico en campo y su supervivencia en los sitios donde deben establecerse. En particular, en este estudio se observó con frecuencia, sobre todo al final del experimento, que las plantas de tallas grandes presentaban traumatismos morfológicos en las raíces, ya que éstas habían comenzado a perforar los contenedores y penetrar el sustrato de la platabanda. Además, las raíces laterales mostraban un fuerte enroscamiento alrededor de la raíz principal, obviamente debido al tamaño limitado del contenedor. Por lo tanto, no sería extraño que en condiciones de campo estas plantas tuvieran menores probabilidades de supervivencia después del trasplante que las plantas producidas en contenedores pequeños.

Por otra parte, hay que considerar los problemas económicos generados por el uso de contenedores grandes. Éstos requieren de mayor espacio y cantidad de sustrato, y presentan dificultad para su manejo (INIFAP, 1994). Además, habrá que considerar el costo de transporte y apertura de cepellones para tales contenedores y plantas. Tomando en cuenta que en La Montaña el principal medio de locomoción en los sitios de reforestación es el ganado equino o mular, el gasto económico y energético podría incrementarse. De hecho, la eficiencia relativa de los viveros tiene su punto más débil precisamente en este último factor (Torres y Velázquez, 1996).

Una última consideración respecto a la producción de plantas obtenidas en contenedores grandes es que éstas podrían ser integradas a programas de reforestación urbana o a huertos de traspatio, situaciones en que los problemas de transporte pueden resolverse fácilmente y las condiciones de crecimiento pueden ser poco adversas. Sin embargo, los datos sugieren fuertemente que las plantas grandes obtenidas en este trabajo, debido a su tamaño excesivo, no son adecuadas para ser utilizadas en programas de reforestación a campo abierto.

Una evaluación más completa del efecto del tamaño de contenedor requerirá necesariamente un seguimiento de las plantas después del trasplante al campo. De hecho, una pregunta interesante sería si plantas de contenedores grandes que hayan crecido en el vivero durante un tiempo más corto de lo que duró este experimento (por ejemplo, la mitad o unos 80 días) podrían tener una supervivencia y un crecimiento adecuados. De ser así, el uso de estos

contenedores podría reducir considerablemente el tiempo de producción, lo cual puede ser muy importante en un vivero pequeño donde el espacio para la propagación masiva está muy limitado.

4.3 Efecto de la fertilización.

La fertilización es una de las prácticas culturales más importantes en el cultivo de las plantas en un vivero, y un cuidadoso programa de fertilización podría favorecer una producción de ellas con una alta calidad (Landis *et al.*, 1989). En este estudio no se observaron efectos significativos de la aplicación del fertilizante en pastillas sobre el crecimiento de las plantas, pues solamente al final aparecieron algunas pequeñas diferencias entre las plantas con fertilización y las no fertilizadas, lo que indica que podría haber un efecto significativo con un periodo de evaluación más largo. Esta tendencia podría estar relacionada con las características del fertilizante utilizado, puesto que su periodo de acción se prolonga hasta por un año, de acuerdo a las especificaciones del fabricante (Química Foliar, S A. de C V). Durante este tiempo se suministran nutrientes continuamente, vía radicular, de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, zinc y ácidos fúlvicos; éstos últimos ayudan a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo la asimilación de nutrientes para la planta.

Durante el periodo de estudio la acción del fertilizante fue mínima. Sin embargo, el hecho de que la parte aérea haya tenido una biomasa mayor que la raíz en todas las plantas puede estar relacionado con el efecto de los nutrientes en el fertilizante. En un experimento realizado con *Cornus disciflora* usando fertilización química en vivero, los nutrientes parecen haber favorecido la relación peso seco de la parte aérea/peso seco de raíz (García y Muñoz, 1998), si bien Clavero *et al.* (1988) no encontraron ningún efecto de la aplicación de nitrógeno y potasio sobre el peso de la parte aérea y el crecimiento radicular de *Humboldtiella ferruginea*.

A pesar del casi nulo efecto del fertilizante, todavía sería un poco prematuro descartar por completo su uso en un plan de propagación para las cuatro especies. En particular, habría

que evaluar si tiene algún efecto en otras etapas del proceso, sobre todo en la supervivencia y el crecimiento de las plantas después del trasplante (Paliwal y Kannan, 1999). Cabe recordar que el fertilizante aplicado, también conocido como módulo fúlvico, se recomienda para árboles forestales, y para asegurar su acción se siguieron las recomendaciones de la casa comercial sobre la profundidad de aplicación (3 cm) y sobre la edad de la planta (dos semanas a seis meses). Durante el desarrollo del experimento, en algunos contenedores se observó que después de la quinta evaluación (105 días), las pastillas estaban disueltas aproximadamente en un 60%, y solamente en la última evaluación habían desaparecido. Lo que es un hecho es que las plantas “percibieron” el aumento artificial de nutrientes, ya que las pastillas fueron rodeadas siempre por masas de raíces finas que las envolvían casi por completo.

El suministro de nutrientes en sistemas de bosque tropical seco es fundamental para favorecer la iniciación de las plantas, particularmente el de fósforo (Campo *et al.*, 1998). Un análisis físico-químico y biológico del sustrato utilizado en el experimento hubiera proporcionado un mejor sustento técnico para diseñar mejor el suministro de nutrientes a las plantas de manera artificial (Landis *et al.*, 1989). Sin embargo, esto no fue posible, por lo que fue necesario tomar decisiones basadas en la experiencia y los resultados obtenidos en el mismo vivero y otros de la región.

4.4 Efecto de la semilla sobre el crecimiento de las plantas.

A pesar de que las especies estudiadas poseen semillas de diferentes tamaños, y de que sus semillas fueron recolectadas en diferentes fechas, al inicio del experimento el crecimiento de todas ellas fue muy similar. Sólo se presentó una ligera diferencia en *Mimosa benthamii*, que presentó los valores más pequeños de las cuatro especies, lo que puede estar relacionado con el tamaño pequeño de sus semillas. Este tamaño podría explicar, a su vez, los grandes valores iniciales de tasa relativa de crecimiento que mostró esta especie. Con el paso del tiempo, los ritmos de crecimiento de las cuatro especies mostraron grandes divergencias hasta el final, cuando las diferencias de los valores absolutos de las variables fueron más grandes.

Mimosa benthamii fue la especie que tuvo las semillas más pequeñas entre las cuatro especies evaluadas, además de ser la que presentó al inicio del experimento los valores más pequeños en las variables, sobre todo en altura, peso seco y cobertura de la copa. Posteriormente y hasta el final del experimento, que es cuando se obtuvieron las diferencias más grandes, esta especie alcanzó los valores máximos de peso seco, diámetro basal y altura. La especie con semillas más grandes fue *Havardia acatlensis*; inicialmente ésta mostró un crecimiento similar al de las demás especies, aunque en la última evaluación no fue la que presentó los valores máximos de peso seco ni de ninguna otra variable sino que, por el contrario, presentó los menores valores de altura.

Lysiloma tergeminum, cuyo tamaño de semillas es similar al de *Havardia acatlensis*, tuvo un comportamiento inicial similar. Al final del experimento fue la especie con el valor máximo de cobertura de la copa y con valores cercanos a los máximos de diámetro basal y peso seco total. *Acacia macilenta* tuvo tamaños intermedios de semillas y, con excepción de la altura, fue la especie con los valores finales más pequeños de cobertura de la copa y peso seco total. El comportamiento del peso seco total fue lineal pero con valores muy inferiores a los de las otras especies, con diferencias de hasta más del doble de los valores obtenidos para las otras. El mismo resultado se obtuvo para la cobertura de la copa.

Al igual que en el estudio realizado por Cervantes *et al.* (1998), en este trabajo se encontró una relación positiva entre el tamaño promedio de las semillas y el tamaño inicial de las plántulas. No obstante, en ambos estudios se observó que dicha relación desaparece con el tiempo (aproximadamente dos meses después del inicio). Este resultado contrasta con la observación hecha por Ricker *et al.* (2000) en *Pouteria sapota*, especie arbórea de selva húmeda para la que la correlación entre altura y masa individual de las semillas seguía siendo significativa a los 24 meses, a pesar de la gran variación de estas variables. La ausencia de datos de masa individual por semilla en este estudio impide analizar esta relación a nivel de cada especie.

4.5. Indicadores del término de la etapa de producción en el vivero.

Estudios similares a éste indican que las especies nativas de leguminosas tienen un gran potencial para la reforestación (Tilki y Fisher, 1998). Una de las decisiones más importantes que hay que considerar para su éxito es la determinación del tiempo máximo que deben permanecer las plantas en el vivero y en qué momento deben ser llevadas a los sitios en donde serán establecidas. Este momento está íntimamente relacionado con la edad de la planta y con sus características morfológicas (Landis *et al.*, 1999).

En general, los resultados de este estudio sugieren que un tiempo máximo adecuado de permanencia de las plantas en el vivero oscila alrededor de 100 a 120 días de edad. La base de esta recomendación es que para ese tiempo las plantas ya habían superado la etapa de endurecimiento (finalizada a los 70 días), además de que las plantas que crecían en ambos tipos de contenedor ya superaban los 25 cm de altura. Debido a las limitaciones prácticas para transportar plantas a los sitios de reforestación, las plantas no deben rebasar esta talla, pues de lo contrario estarían sometidas a grandes riesgos durante el proceso (Attriaga *et al.*, 1991). En este estudio, después de los 120 días las plantas presentaban alturas muy grandes (> 60 cm), y frecuentemente mostraban problemas de estrés y daños físicos entre los que destacan la inclinación de las plantas por el peso de la parte aérea, daños en la raíz y el desprendimiento de las hojas, en las que también se apreciaron deficiencias nutricionales. Por supuesto, la definición del tiempo de permanencia en vivero debe ser flexible y tomar en cuenta las necesidades y las condiciones de la producción de plantas, así como el objetivo mismo de la producción (INIFAP, 1994; Landis *et al.*, 1999). Por ejemplo, si la finalidad fuera obtener plantas grandes y con mayor rapidez debido a restricciones de espacio y tiempo en el vivero, entonces se podría sugerir una combinación del uso del contenedor grande con un tiempo de crecimiento de alrededor de 70 días. A partir de la conclusión de que el tamaño del contenedor afecta significativamente el crecimiento de las cuatro especies, pero no la fertilización en la modalidad aplicada, se desprende que los contenedores grandes pueden ser eficientes para producir plantas en periodos cortos que no rebasen de 100 días, pero que los contenedores pequeños pueden ser los más adecuados porque implican menores problemas de manejo, transporte y de costo. En este caso, se sugiere que el tiempo adecuado para la producción es de 100 a 120 días.

4.6. Variables consideradas en el estudio para estimar el crecimiento de las plantas.

Un punto adicional que merece ser discutido es el que se refiere a las variables utilizadas en este estudio para evaluar el crecimiento. Vale la pena notar que todas ellas han sido empleadas en otros experimentos con resultados satisfactorios. En particular, la altura de la planta, la extensión del follaje, el diámetro de la base del tallo y el peso seco total han sido consideradas para describir el crecimiento de otras especies de leguminosas por algunos autores (Angulo *et al.*, 1997; Cervantes *et al.*, 1996).

El uso de diferentes variables es necesario porque cada una de ellas proporciona diferente información sobre el crecimiento de las plantas, dependiendo de sus características morfológicas. Por ejemplo, la altura es un buen indicador en plantas con una clara dominancia apical, como es el caso de *Acacia macilenta* y *Mimosa benthamii* entre las especies estudiadas. En cambio, en *Havardia acatlensis* y *Lysiloma tergeminum*, que fueron las que mostraron los valores mínimos, el proceso mismo de determinar la altura se enfrentó a dificultades prácticas. En ambas especies el crecimiento está caracterizado por la presencia de ramificaciones en el tallo a cierta altura, de modo que la parte superior de las plantas está formada por dos o tres ramas, sin poderse distinguir cuál es la principal. Esto dificultó la toma de decisiones de sobre cuál rama había que medir la altura, porque el tallo vertical inicial no era el más alto en muchos casos.

En algunas evaluaciones de altura realizadas para *Acacia macilenta* y *Mimosa benthamii* se obtuvieron valores promedio de esta variable más bajos que los obtenidos en la evaluación inmediata anterior. Esto puede atribuirse a dos causas que no pueden ser discriminadas con la información disponible: (a) el tamaño en sentido vertical de la parte aérea de algunas plantas disminuyó como consecuencia de que los tallos comenzaron a inclinarse porque no soportaban completamente el peso del follaje; y (b) los valores de altura inferiores realmente correspondían a plantas más pequeñas que las que se habían medido anteriormente debido a un mal desarrollo; a su vez, esto pudo estar causado por problemas genéticos, por estrés o por enfermedades.

Se puede concluir que la altura puede ser una variable adecuada para indicar el crecimiento de las plantas, especialmente tomando en cuenta la enorme facilidad para determinarla en un

vivero rústico por cualquier persona sin mucha práctica. Sin embargo, debido al efecto de los diferentes patrones arquitectónicos de crecimiento mencionados arriba, sería conveniente definir un criterio o una técnica de medición para poder determinarla con mayor precisión, por ejemplo considerando la diferencia que existe entre el crecimiento de los tallos principales. Además, cabe recomendar que con un aumento en el tamaño de muestra se impediría que un solo valor muy diferente de los otros modifique sustancialmente la media del conjunto correspondiente a esa fecha.

El desarrollo del follaje de las plantas estudiadas fue bueno para las cuatro especies. Esto permite inferir que el espacio asignado para cada planta en la platabanda fue adecuado, sobre todo porque este espacio aumentaba a lo largo del experimento debido a la remoción de plantas para la determinación de las variables. Por ello no se detectaron problemas de interferencia lateral evidentes. En ausencia de suficiente espacio y luz, la cobertura de la copa puede modificarse gradualmente y el desarrollo de la planta puede llegar a ser muy pobre (Chaverri *et al.*, 1997).

La cobertura de la copa se incrementó a través del tiempo conforme las plantas se desarrollaron y las diferencias principales entre las especies estuvieron asociadas a la forma de la parte aérea. *Acacia macilentia* y *Mimosa benthamii*, cuyos tallos monopódicos denotan una clara dominancia apical e implican que el crecimiento sigue prácticamente un eje vertical, fueron las que mostraron los menores valores de cobertura, mientras que *Havardia acatlensis* y *Lysiloma tergeminum*, cuyos tallos principales se dividen pasado un cierto tamaño, tuvieron los valores más grandes. Como en este estudio se utilizó el mismo criterio de evaluación de la cobertura de la copa para las cuatro especies, la medición de esta variable en algunos individuos de *Havardia acatlensis* y *Lysiloma tergeminum* que ya se habían ramificado se dificultó; en estos casos se determinó sobre un plano imaginario perpendicular a la parte superior de la planta, el eje horizontal más largo y éste fue medido con una cinta métrica. Posteriormente se midió el eje transversal a éste. El hecho de haber realizado la operación aritmética de la longitud del eje más largo, que en ocasiones fue superior a un metro, por la longitud del eje transversal a éste y que podría ser de sólo 7 cm, pudo producir en consecuencia un resultado menos exacto que en caso de las otras variables. No se puede negar, sin embargo, que la cobertura del follaje es una variable importante

porque indica la superficie promedio que puede cubrir cada individuo de una cierta especie en un sitio de reforestación, y porque sus implicaciones ecológicas como el potencial de captación de luz, la producción de sombra y el aporte de materia orgánica para un suelo desprotegido o la generación de un microhábitat son de gran relevancia en un proceso de rehabilitación ambiental.

El diámetro basal de las plantas es la variable cuya determinación fue la más precisa en este estudio. Éste se encuentra relacionado con el establecimiento y crecimiento de los individuos una vez que son plantados en el campo (García y Muñoz, 1998), además de que existe una estrecha relación entre su incremento con el crecimiento de toda la planta (Angulo *et al.*, 1997). El diámetro basal se incrementó de forma gradual pero constante en las cuatro especies a través del tiempo, lo cual puede deberse a que la captación directa de luz de las plantas también fue constante, como lo pudieron observar Chaverri *et al.* (1997). En términos de un programa de reforestación, la evaluación de esta variable puede ser fundamental, ya que también indica de manera general la fuerza del sostén principal de la planta y puede usarse como una medida de la protección contra un rompimiento.

De todas las variables evaluadas en este estudio, sin duda el peso seco total es la variable más importante porque refleja directamente la capacidad de las plantas de asimilar biomasa obtenida por el proceso de fotosíntesis (Hunt, 1982). De hecho, en todos los programas de plantación de árboles la alta producción de peso seco total o producción neta de biomasa es una premisa fundamental, aunque se sabe que esta producción difiere grandemente dependiendo de la especie, la edad y las prácticas de manejo en el caso de árboles multipropósito (Kumar *et al.*, 1998).

Grime (1982) asoció la producción de materia seca más hacia los déficits y excesos en los suministro de energía solar, agua y nutrientes minerales en condiciones naturales. En este estudio, bajo condiciones semi-controladas, las plantas no estuvieron sometidas a déficits o excesos de ninguno de los factores mencionados, de tal manera que la producción de materia seca siempre fue en aumento en las cuatro especies y en todos los tratamientos. Sin embargo, en las plantas de los contenedores de mayor tamaño se presentaron las mayores asignaciones de biomasa.

Al igual que en el caso del diámetro basal, la determinación del peso seco total se hizo con mucha precisión, aunque ciertamente con una inversión mucho mayor de esfuerzo. El problema práctico más grande que enfrentó su medición fue la limitación de tamaño en el horno de secado, ya que era necesario fraccionar demasiado a las plantas que ya habían alcanzado tallas grandes para proceder a su secado.

La relación raíz/parte aérea o vástago es una variable que se encuentra relacionada con el anclaje de la planta al suelo, la absorción de agua y nutrientes (Spurr y Barnes, 1980) y en términos más generales, con la supervivencia de las plantas (Flores, 1992). En la fase de evaluación ningún tratamiento de las cuatro especies ni en ninguna evaluación realizada durante el experimento, la biomasa de la raíz superó a la biomasa de la parte aérea de las plantas. Esto no es inusual, ya que en las plantaciones de hábitats secos las plantas están caracterizadas por una alta proporción de materia seca en las ramas y en toda la parte aérea (Murphy y Lugo, 1986). A pesar de ello, las plantas que crecieron en los contenedores de menor tamaño mostraron valores muy cercanos a 1, sobre todo en los tratamientos sin fertilizante. Este comportamiento se observó en tres especies, pero no en *Acacia macilenta*, en la que los valores más cercanos a 1 estuvieron asociados al tratamiento con fertilización en el contenedor pequeño; en los contenedores grandes los valores nunca fueron mayores de 0.7 en las cuatro especies.

De acuerdo a los resultados de este experimento, no es posible identificar a una especie como la de mejor crecimiento global, ya que cada una de ellas tuvo valores bajos y altos para diferentes variables. Por lo tanto, la decisión de cuál especie se puede utilizar en distintas condiciones de reforestación puede ser variable. Por ejemplo, si se quisiera introducir alguna de estas especies en sitios con cobertura herbácea alta posiblemente *Acacia macilenta*, que alcanzó alturas hasta de 60 cm (ver Tabla 6), sería la mejor elección, pero si fuera necesario contar con una especie capaz de producir rápidamente una buena cobertura vegetal, entonces *Lysiloma tergeminum* podría ser una mejor opción, puesto que alcanzó valores promedios hasta de 4498 cm² (ver Tabla 6; Apéndice 3).

En conclusión, de acuerdo a los patrones de crecimiento observados para las cuatro especies estudiadas, basados en su velocidad de su crecimiento, las tallas alcanzadas por ellas y la

acumulación de biomasa, y tomando en cuenta que las etapas de germinación, establecimiento y crecimiento inicial son las más críticas en el ciclo de vida de una planta (Harper, 1977), se puede afirmar que todas ellas pueden ser propagadas masivamente en viveros rústicos y que por lo tanto, al menos desde esta perspectiva, tienen un gran potencial para ser utilizadas en los diferentes programas de reforestación en La Montaña, en otras regiones del estado de Guerrero, y seguramente también en otras regiones del trópico seco del país y del continente americano donde éstas crezcan de forma natural.

LITERATURA CITADA

- Angulo, R., Montilla, Y., Rivas, M., Clavero, T., Razz, R. y Castro, C., 1997. Efecto de diferentes aguas residuales sobre el crecimiento de la *Leucaena leucocephala* en condiciones de vivero. *Interciencia*, 22: 28-30.
- Aranguren Becerra, A., 1994. *Caracterización de los bosques tropicales caducifolios y del aprovechamiento de sus recursos por comunidades nahuas de La Montaña de Guerrero*. Tesis de Maestría (Ecología y Ciencias Ambientales), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Arriaga M., V., Cervantes G., V. y Vargas-Mena, A., 1994 *Manual de reforestación con especies nativas. Colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas*. SEDESOL-Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Billings, W. D., 1970. *Las plantas y el ecosistema*. 2a ed., Herrero Hermanos Sucesores México, D.F.
- Borchert, R., 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75: 1437-1449.
- Campo, J., Jaramillo, V. J., Maass, J. M., 1998 Pulses of soil phosphorus availability in a Mexican tropical dry forest: Effects of seasonality and level of wetting *Oecologia-Berlin*, 115: 167-172.
- Carabias, J., Provencio, E. y Toledo, C., 1994. *Manejo de recursos naturales y pobreza rural*. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

- Cervantes, V., 1996 *La reforestación en la Montaña de Guerrero: Una estrategia alternativa con leguminosas nativas*. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Cervantes, V., Arriaga, V. y J. Carabias, 1996 La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la región de La Montaña, Guerrero, México *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 59: 67-80.
- Cervantes, V., Arriaga, V., Meave, J., y Carabias, J., 1998. Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 110: 329-341.
- Cervantes G., V., López G, M, Salas N., N. y Hernández C., G, 2001. *Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación*. Las Prensas de Ciencias, México, D.F
- Challenger, A 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología (UNAM) y Agrupación Sierra Madre, S C , México, D.F.
- Clavero, T., Razz, R., González, C., Reyes, J y Urdaneta, T, 1998. Effect of fertilization on initial growth of *Humboldtella ferruginea* under nursery conditions. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 32: 191-199.
- Chaverri, A., Zúñiga, E. y A. Fuentes, 1997. Crecimiento inicial de una plantación mixta de *Quercus*, *Cornus*, *Alnus* y *Cupressus* en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 45: 777-782.
- Daubenmire, R. F., 1979. *Ecología Vegetal*. 3a ed., Limusa, México, D.F.

- Flores, S., 1992. Growth and seasonality of seedlings and juveniles of primary species of a cloud forest in northern Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*, 8: 229-305.
- García, M. J. y Muñoz, F. J., 1998. Efecto de la fertilización química sobre el desarrollo de *Cornus disciflora* D.C. en vivero. *Ciencia Forestal en México*, 23: 41-52.
- Gerhardt, K., 1995. Biomass allocation by broad-leaf mahogany seedlings, *Swietenia macrophylla* (King), in abandoned pasture and secondary dry forest in Guanacastle, Costa Rica. *Biotropica*, 27: 174-182.
- Gerhardt, K., 1996. Germination and development of sown mahogany (*Swietenia macrophylla* (King) in secondary tropical dry forest habitats in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 12: 275-289.
- Gillespie, T. W., 1999. Life history characteristics and rarity of woody plants in tropical dry forest fragments of Central America. *Journal of Tropical Ecology*, 15: 637-649.
- Goor, A. Y. y Barney, C. W., 1976. *Forest tree planting in arid zones*. 2a ed., Ronald Press, Nueva York.
- Guizar, N. y Sánchez, V., 1991. *Guía para el reconocimiento de los principales árboles del Alto Balsas*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Grime, P., 1982. *Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación*. Limusa, México, D.F.
- Haggar, P. J., Briscoe, C. B. y Butterfield, P. R., 1998. Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. *Forest Ecology and Management*, 106: 195-203.
- Hall, A. E., Cannell, G. H., y Lawton, H. W., 1979. *Agriculture in semi-arid environments*. Springer-Verlag, Berlín

- Hall, M. A., 1976. *Plant structure, function and adaptation*. The MacMillan Press, Aberystwyth R.U.
- Harper, J.L., 1977. *Population biology of plants*. Academic Press, Londres
- Hunt, R., 1982. *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold, Londres.
- Hunt, R. y Parson, I., 1977. Plant growth analysis: of further applications of a recent curve-fitting program *Journal of Applied Ecology*, 14: 965-968.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1997. *Anuario Estadístico del Estado de Guerrero* Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 1994 *Curso sobre viveros y plantaciones forestales*. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) México, D F.
- Jacobs, M., 1988 *The tropical rain forest*. Springer-Verlag. Nueva York.
- Kimmins, J. P., 1997. *Forest Ecology*. 2a ed., Prentice-Hall Upper Saddle River, Nueva Jersey
- Kramer, J. P., 1974. *Relaciones hídricas de suelo y plantas*. Edutex, S.A. y Centro Regional de Ayuda Técnica. México, D F./ Buenos Aires
- Kumar, B. M., Jacob, S. G., Jamaludheen, V y Suresh, T. K., 1998 Comparison of biomass production, tree allometry and nutrient use efficiency of multipurpose trees grown in woodlot and silvopastoral experiments in Kerala, India. *Forest Ecology and Management* 112: 145-163.

- Landa O., R. M. A., 1992. *Evaluación regional del deterioro ambiental en la Montaña de Guerrero*. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Landa, R., Meave, J. y Carabias, J., 1997. Environmental deterioration in rural Mexico: an examination of the concept. *Ecological Applications* 7: 316-329
- Landis, T. D., Tinus, R. W. y Barnett, J. P., 1999. *Seedling Propagation, Vol 6, The Container Tree Nursery Manual* Agricultural Handbook 674, USDA Forest Service, Washington, D C
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E. y Barnett, J. P., 1989. *Seedling Nutrition and Irrigation, Vol. 4, The Container Tree Nursery Manual*. Agricultural Handbook 674, USDA Forest Service, Washington, D.C.
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E. y Barnett, J. P., 1990. *Containers and Growing Media, Vol 2, The Container Tree Nursery Manual*. Agricultural Handbook 674, USDA Forest Service, Washington, D C
- Longman, K. A., y Jenik, J., 1987. *Tropical forest and its environment*. 2a edición., Longman, Londres.
- Lugo, E. A. y Lowe, C., 1995. *Tropical Forests: Management and Ecology*. Springer-Verlag, Nueva York.
- Martínez-Ramos, M., 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. (Eds. A Gómez-Pompa y S del Amo) pp 191-239 *Investigaciones sobre la Regeneración de Selvas Altas en Veracruz, México Vol. II*. INIREB y Alhambra, México, D.F.

- Maass, J. M., 1995. Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture. In: *Seasonally dry tropical forests*. (Eds. S. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina) pp 399-422. Cambridge University Press, Cambridge.
- Martínez-Yrizar, A. y Sarukhán, J., 1990. Litterfall patterns in a tropical deciduous forest in Mexico over a five-year period. *Journal of Tropical Ecology*, 6: 433-444.
- Mc Vaugh, R., 1987. *Flora Novo-Galiciana: A descriptive account of the vascular plants of western Mexico. Volume 5 Leguminosae*. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Miller, P. M., 1999. Coppice shoot and foliar crown growth after disturbance of a tropical deciduous forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 116: 163-173.
- Mulkey, S. S., Chazdon, R. L. y Smith, A. P., 1996. *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman & Hall, Londres.
- Murphy, P. G. y Lugo, A. E., 1995. Dry forest of Central America and the Caribbean. In: *Seasonally dry tropical forests* (eds. S. Bullock. H. A. Mooney y E. Medina) pp. 9-34, Cambridge University Press Cambridge.
- Murphy, P. G. y Lugo, A. E., 1986. Ecology of Tropical Dry Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 67-88.
- Niembro Rocas, A., 1988. *Semillas de árboles y arbustos. ontogenia y estructura*. Limusa, México, D.F.
- Medina, E., Mooney, H. A. y Vázquez-Yanes, C., 1983. *Physiological ecology of plants of the wet tropics*. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht, Holanda.
- Orians, G. H., Dirzo, R., y Cushman, J. H., 1996. *Biodiversity and ecosystem processes in tropical forest* Springer-Verlag. Nueva York.

- Paliwal, K. y Kannan, D., 1999. Growth and nutritional characteristics of four woody species under nursery conditions and growth after transplantation in semi-arid field conditions at Madurai, India. *Journal of Arid Environments*, 43: 133-141.
- Pinard, M. A., Putz, F. E., Rumíz, D., Guzmán, R. y Jardim, A., 1999. Ecological characterization of tree species for guiding forest management decisions in seasonally dry forests in Lomerío, Bolivia. *Forest Ecology and Management*, 113: 201-213.
- Ricker, M., Siebe, C., Sánchez B., S., Shimada, K., Larson, B. C., Martínez-Ramos, M. y Montagnini, F. 2000. Optimising seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in a Mexican rainforest. *Forest Ecology and Management* 139: 63-77.
- Rzedowski, J., 1979. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F.
- Sousa, M., Ricker, M. y Hernández, H. M., 2001. Tree species of the family Leguminosae in Mexico. *Harvard Papers in Botany* 6: 339-365.
- Spurr, S. H. y Barnes, B. V., 1980. *Forest ecology*. 3a ed., John Wiley. Nueva York
- Tilki, F. y Fisher, R. F. 1998. Tropical leguminous species for acid soils: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 108: 175-192.
- Torres Rojo, J. M. y Velázquez Sánchez, J. R. 1996. Eficiencia relativa en viveros forestales de la SEMARNAP. *Ciencias Forestal en México*, 21: 97-112
- Vázquez-Yanes, C. y Batis, A. I., 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58: 75-84.
- Vickery, L. M., 1991. *Ecología de plantas tropicales*. Limusa, México, D.F.
- Zar, J. H., 1999. *Biostatistical Analysis*. 4a ed., Prentice Hall, Upper Saddle River

Apéndice I. Promedios (± 1 E.E.) obtenidos para cada variable y por tratamiento para *Acacia macilenta* durante el experimento.

a) Altura (cm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	10.88 \pm 1.55	11.00 \pm 1.03	12.08 \pm 1.29	11.46 \pm 0.94
42	14.38 \pm 1.27	14.63 \pm 1.01	13.04 \pm 1.53	12.79 \pm 0.72
63	21.75 \pm 2.51	24.50 \pm 1.83	25.58 \pm 2.18	22.83 \pm 2.45
84	44.00 \pm 3.92	34.75 \pm 3.11	32.25 \pm 2.26	29.42 \pm 2.08
105	34.00 \pm 3.17	38.25 \pm 3.67	36.00 \pm 1.87	33.58 \pm 2.27
126	40.33 \pm 3.27	52.83 \pm 3.65	44.50 \pm 1.82	40.25 \pm 2.72
147	48.58 \pm 5.33	55.08 \pm 3.30	43.92 \pm 3.96	34.58 \pm 2.01
168	62.50 \pm 3.55	58.92 \pm 5.07	47.50 \pm 5.32	36.83 \pm 4.67

b) Cobertura (cm²)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	35.51 \pm 6.86	37.35 \pm 4.30	43.65 \pm 6.23	54.15 \pm 5.73
42	77.38 \pm 12.56	79.56 \pm 9.04	72.17 \pm 13.56	79.28 \pm 12.76
63	224.00 \pm 36.52	246.65 \pm 38.61	276.93 \pm 37.67	249.11 \pm 74.73
84	718.67 \pm 95.50	510.85 \pm 47.73	299.99 \pm 55.41	305.19 \pm 62.01
105	1010.53 \pm 174.21	789.08 \pm 129.08	392.06 \pm 58.14	523.12 \pm 131.87
126	1322.09 \pm 209.78	1093.94 \pm 153.25	643.29 \pm 117.78	568.19 \pm 62.08
147	1414.11 \pm 113.09	1446.28 \pm 221.73	697.06 \pm 75.02	656.05 \pm 69.19
168	1443.76 \pm 201.72	1168.67 \pm 179.23	806.37 \pm 121.40	539.55 \pm 36.73

c) Diámetro basal (mm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	1.33 \pm 0.07	1.39 \pm 0.07	1.37 \pm 0.05	1.30 \pm 0.06
42	1.58 \pm 0.07	1.68 \pm 0.05	1.42 \pm 0.09	1.65 \pm 0.08
63	2.31 \pm 0.09	2.42 \pm 0.10	2.52 \pm 0.10	2.21 \pm 0.13
84	3.75 \pm 0.22	3.38 \pm 0.16	2.94 \pm 0.17	2.76 \pm 0.10
105	4.17 \pm 0.26	4.08 \pm 0.16	3.58 \pm 0.17	3.24 \pm 0.21
126	5.41 \pm 0.30	5.35 \pm 0.21	4.58 \pm 0.19	4.27 \pm 0.18
147	6.13 \pm 0.24	6.27 \pm 0.31	5.40 \pm 0.16	4.95 \pm 0.20
168	6.98 \pm 0.28	6.33 \pm 0.28	5.68 \pm 0.32	5.10 \pm 0.25

d) Peso seco total (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.16 \pm 0.03	0.19 \pm 0.02	0.18 \pm 0.02	0.17 \pm 0.02
42	0.52 \pm 0.07	0.44 \pm 0.04	0.42 \pm 0.06	0.52 \pm 0.05
63	0.88 \pm 0.11	1.14 \pm 0.13	1.37 \pm 0.12	1.09 \pm 0.18
84	4.44 \pm 0.61	3.21 \pm 0.40	3.25 \pm 0.81	2.04 \pm 0.20
105	5.69 \pm 0.94	4.77 \pm 0.52	3.91 \pm 0.50	3.18 \pm 0.70
126	9.33 \pm 1.36	8.34 \pm 0.80	6.35 \pm 0.62	5.39 \pm 0.43
147	14.45 \pm 1.44	14.30 \pm 1.90	9.23 \pm 0.90	6.61 \pm 0.47
168	18.89 \pm 1.88	14.02 \pm 1.73	10.66 \pm 1.53	7.14 \pm 0.99

e) Peso seco parte aérea (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.11 \pm 0.02	0.12 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.11 \pm 0.01
42	0.34 \pm 0.05	0.28 \pm 0.02	0.22 \pm 0.03	0.27 \pm 0.02
63	0.63 \pm 0.08	0.82 \pm 0.10	0.93 \pm 0.08	0.73 \pm 0.15
84	3.04 \pm 0.42	2.05 \pm 0.27	2.19 \pm 0.77	1.18 \pm 0.14
105	4.09 \pm 0.70	3.30 \pm 0.38	2.26 \pm 0.31	1.95 \pm 0.45
126	6.58 \pm 1.05	5.68 \pm 0.56	4.11 \pm 0.46	3.32 \pm 0.31
147	9.60 \pm 1.05	9.49 \pm 1.38	5.60 \pm 0.59	3.71 \pm 0.30
168	12.94 \pm 1.42	9.61 \pm 1.27	7.00 \pm 1.13	4.56 \pm 0.74

f) Peso seco raíz (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.05 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01
42	0.18 \pm 0.03	0.16 \pm 0.02	0.19 \pm 0.02	0.26 \pm 0.03
63	0.25 \pm 0.03	0.32 \pm 0.04	0.45 \pm 0.05	0.36 \pm 0.04
84	1.40 \pm 0.20	1.15 \pm 0.14	1.06 \pm 0.14	0.86 \pm 0.07
105	1.61 \pm 0.25	1.47 \pm 0.16	1.66 \pm 0.21	1.23 \pm 0.26
126	2.75 \pm 0.35	2.66 \pm 0.27	2.23 \pm 0.20	2.07 \pm 0.14
147	4.85 \pm 0.44	4.82 \pm 0.55	3.63 \pm 0.34	2.90 \pm 0.19
168	5.95 \pm 0.51	4.41 \pm 0.47	3.66 \pm 0.42	2.58 \pm 0.28

g) Cociente raíz / parte aérea

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.50 \pm 0.05	0.59 \pm 0.08	0.57 \pm 0.05	0.49 \pm 0.04
42	0.57 \pm 0.03	0.59 \pm 0.05	0.88 \pm 0.08	0.97 \pm 0.09
63	0.42 \pm 0.03	0.42 \pm 0.04	0.50 \pm 0.05	0.60 \pm 0.07
84	0.47 \pm 0.03	0.58 \pm 0.03	0.71 \pm 0.08	0.76 \pm 0.03
105	0.41 \pm 0.02	0.45 \pm 0.03	0.76 \pm 0.06	0.88 \pm 0.05
126	0.44 \pm 0.03	0.48 \pm 0.03	0.58 \pm 0.03	0.66 \pm 0.04
147	0.53 \pm 0.03	0.52 \pm 0.02	0.67 \pm 0.04	0.80 \pm 0.04
168	0.48 \pm 0.02	0.49 \pm 0.03	0.61 \pm 0.03	0.80 \pm 0.04

GC = Contenedor grande con fertilización
 GS = Contenedor grande sin fertilización
 PC = Contenedor pequeño con fertilización
 PS = contenedor pequeño sin fertilización

Apéndice II. Promedios (± 1 E.E.) obtenidos para cada variable y por tratamiento para *Havardia acallensis* durante el experimento.

a) Altura (cm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	10.58 \pm 0.66	10.00 \pm 0.88	11.08 \pm 0.49	11.58 \pm 1.06
42	11.79 \pm 0.99	12.04 \pm 0.57	14.37 \pm 0.36	14.38 \pm 0.71
63	17.25 \pm 1.45	16.33 \pm 1.37	20.42 \pm 1.38	17.00 \pm 1.08
84	21.42 \pm 1.96	21.00 \pm 1.95	20.83 \pm 1.75	21.5 \pm 1.97
105	22.00 \pm 1.39	25.00 \pm 1.54	24.17 \pm 2.43	22.00 \pm 1.65
126	25.00 \pm 2.52	29.92 \pm 1.88	25.33 \pm 3.04	25.00 \pm 1.75
147	34.17 \pm 1.74	32.50 \pm 1.59	30.58 \pm 2.70	26.25 \pm 2.04
168	35.00 \pm 2.57	29.33 \pm 2.17	23.83 \pm 2.22	28.08 \pm 1.73

b) Cobertura (cm²)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	23.64 \pm 3.49	20.44 \pm 3.39	19.60 \pm 3.11	15.70 \pm 2.10
42	43.44 \pm 3.37	34.73 \pm 6.25	39.54 \pm 6.25	37.08 \pm 5.37
63	450.23 \pm 77.56	344.46 \pm 74.52	221.95 \pm 39.74	178.23 \pm 18.51
84	806.56 \pm 121.61	732.33 \pm 179.70	351.45 \pm 64.35	204.66 \pm 29.59
105	2217.91 \pm 328.32	1628.78 \pm 172.34	607.23 \pm 96.52	500.23 \pm 82.88
126	2849.19 \pm 391.74	2264.56 \pm 309.56	559.99 \pm 103.36	497.21 \pm 87.66
147	2527.65 \pm 181.22	2639.30 \pm 280.21	644.12 \pm 77.98	694.41 \pm 54.17
168	2885.80 \pm 277.68	2586.92 \pm 320.13	711.41 \pm 104.96	786.64 \pm 156.15

c) Diámetro basal (mm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	1.80 \pm 0.09	1.88 \pm 0.13	2.01 \pm 0.13	2.07 \pm 0.10
42	2.22 \pm 0.07	2.11 \pm 0.06	2.18 \pm 0.08	2.25 \pm 0.11
63	3.36 \pm 0.11	3.37 \pm 0.14	3.19 \pm 0.13	3.20 \pm 0.12
84	4.30 \pm 0.19	4.34 \pm 0.20	3.78 \pm 0.09	3.38 \pm 0.11
105	5.61 \pm 0.15	5.50 \pm 0.19	4.30 \pm 0.11	4.24 \pm 0.13
126	6.74 \pm 0.24	6.82 \pm 0.12	4.94 \pm 0.17	4.83 \pm 0.20
147	7.83 \pm 0.17	7.43 \pm 0.21	5.82 \pm 0.12	5.73 \pm 0.13
168	8.67 \pm 0.13	8.29 \pm 0.16	6.09 \pm 0.16	6.21 \pm 0.14

d) Peso seco total (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.28 \pm 0.02	0.25 \pm 0.03	0.27 \pm 0.03	0.29 \pm 0.03
42	0.73 \pm 0.05	0.67 \pm 0.07	0.72 \pm 0.08	0.70 \pm 0.04
63	2.30 \pm 0.18	1.80 \pm 0.16	2.08 \pm 0.10	1.96 \pm 0.17
84	5.16 \pm 0.50	4.68 \pm 0.52	4.00 \pm 0.19	2.78 \pm 0.21
105	10.69 \pm 0.73	9.19 \pm 0.95	6.14 \pm 0.55	4.95 \pm 0.38
126	16.66 \pm 1.87	16.01 \pm 1.02	7.40 \pm 0.52	6.86 \pm 0.87
147	26.24 \pm 0.95	24.16 \pm 1.61	11.39 \pm 0.78	9.42 \pm 0.63
168	33.23 \pm 1.75	27.25 \pm 1.59	12.06 \pm 0.98	11.26 \pm 0.82

e) Peso seco parte aérea (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.22 \pm 0.01	0.20 \pm 0.02	0.21 \pm 0.02	0.22 \pm 0.02
42	0.48 \pm 0.03	0.43 \pm 0.05	0.46 \pm 0.06	0.44 \pm 0.03
63	1.74 \pm 0.15	1.23 \pm 0.11	1.39 \pm 0.09	1.28 \pm 0.10
84	3.25 \pm 0.33	3.03 \pm 0.35	2.10 \pm 0.11	1.61 \pm 0.16
105	7.12 \pm 0.57	6.12 \pm 0.60	3.60 \pm 0.34	2.94 \pm 0.29
126	11.82 \pm 1.44	10.97 \pm 0.69	4.55 \pm 0.38	4.08 \pm 0.58
147	16.66 \pm 0.60	15.30 \pm 1.09	6.35 \pm 0.44	5.37 \pm 0.32
168	22.73 \pm 1.38	17.42 \pm 1.07	6.79 \pm 0.65	6.56 \pm 0.59

f) Peso seco raíz (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.06 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01
42	0.25 \pm 0.03	0.24 \pm 0.03	0.27 \pm 0.03	0.26 \pm 0.02
63	0.57 \pm 0.04	0.56 \pm 0.06	0.69 \pm 0.04	0.68 \pm 0.07
84	1.91 \pm 0.22	1.65 \pm 0.19	1.90 \pm 0.12	1.17 \pm 0.07
105	3.57 \pm 0.32	3.08 \pm 0.37	2.54 \pm 0.26	2.01 \pm 0.13
126	4.85 \pm 0.49	5.03 \pm 0.40	2.85 \pm 0.22	2.78 \pm 0.32
147	9.58 \pm 0.41	8.86 \pm 0.58	5.04 \pm 0.37	4.05 \pm 0.33
168	10.50 \pm 0.49	9.83 \pm 0.57	5.27 \pm 0.40	4.70 \pm 0.31

g) Cociente raíz / parte aérea

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.28 \pm 0.03	0.25 \pm 0.03	0.25 \pm 0.02	0.34 \pm 0.05
42	0.53 \pm 0.04	0.56 \pm 0.04	0.61 \pm 0.04	0.59 \pm 0.03
63	0.34 \pm 0.03	0.46 \pm 0.03	0.51 \pm 0.04	0.53 \pm 0.03
84	0.63 \pm 0.08	0.55 \pm 0.04	0.92 \pm 0.06	0.8 \pm 0.08
105	0.53 \pm 0.05	0.51 \pm 0.03	0.72 \pm 0.05	0.73 \pm 0.05
126	0.44 \pm 0.03	0.46 \pm 0.03	0.65 \pm 0.04	0.73 \pm 0.06
147	0.58 \pm 0.02	0.59 \pm 0.03	0.80 \pm 0.03	0.75 \pm 0.03
168	0.47 \pm 0.02	0.57 \pm 0.02	0.84 \pm 0.06	0.74 \pm 0.04

GC = Contenedor grande con fertilización
 GS = Contenedor grande sin fertilización
 PC = Contenedor pequeño con fertilización
 PS = contenedor pequeño sin fertilización

Apéndice III. Promedios (± 1 E.E) obtenidos para cada variable y por tratamiento para *Lysiloma tergeminum* durante el experimento.

a) Altura (cm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	8.08 \pm 0.50	7.92 \pm 0.86	8.00 \pm 0.65	7.88 \pm 0.64
42	10.29 \pm 0.99	9.96 \pm 0.89	11.25 \pm 0.52	11.75 \pm 0.91
63	15.33 \pm 1.16	14.75 \pm 0.98	16.08 \pm 1.38	17.08 \pm 1.10
84	27.33 \pm 1.77	25.50 \pm 1.77	19.08 \pm 1.99	23.17 \pm 1.67
105	32.58 \pm 3.05	31.67 \pm 1.85	25.50 \pm 2.11	23.17 \pm 2.02
126	40.92 \pm 4.21	42.17 \pm 4.17	31.17 \pm 3.39	29.75 \pm 3.74
147	42.58 \pm 2.99	37.17 \pm 2.33	27.92 \pm 2.07	30.67 \pm 2.37
168	48.67 \pm 3.63	46.42 \pm 3.29	33.33 \pm 3.05	26.00 \pm 2.37

b) Cobertura (cm²)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	49.25 \pm 5.45	36.82 \pm 4.57	46.52 \pm 5.31	50.26 \pm 7.34
42	90.25 \pm 13.09	89.21 \pm 12.47	85.20 \pm 7.87	80.31 \pm 8.98
63	444.65 \pm 41.71	353.05 \pm 46.04	209.39 \pm 25.11	224.06 \pm 21.19
84	606.41 \pm 66.90	506.55 \pm 33.49	32.42 \pm 47.81	273.91 \pm 27.97
105	1471.67 \pm 205.43	1216.34 \pm 121.58	722.11 \pm 63.37	478.90 \pm 51.53
126	2099.87 \pm 145.77	1719.81 \pm 163.50	873.30 \pm 80.21	663.37 \pm 74.20
147	2980.68 \pm 181.52	3121.91 \pm 170.46	1098.18 \pm 127.81	778.36 \pm 77.80
168	4498.00 \pm 334.08	3445.06 \pm 291.53	1078.81 \pm 182.53	896.99 \pm 173.46

c) Diámetro basal (mm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	1.58 \pm 0.08	1.53 \pm 0.06	1.47 \pm 0.07	1.52 \pm 0.06
42	1.91 \pm 0.07	1.82 \pm 0.09	1.88 \pm 0.07	1.88 \pm 0.07
63	3.44 \pm 0.11	3.22 \pm 0.18	2.70 \pm 0.15	2.67 \pm 0.12
84	4.61 \pm 0.28	4.23 \pm 0.10	2.67 \pm 0.17	3.43 \pm 0.07
105	5.81 \pm 0.16	5.48 \pm 0.19	4.58 \pm 0.10	4.04 \pm 0.08
126	7.30 \pm 0.22	7.17 \pm 0.25	5.28 \pm 0.18	4.89 \pm 0.23
147	8.30 \pm 0.21	8.03 \pm 0.24	5.67 \pm 0.14	5.62 \pm 0.23
168	9.49 \pm 0.27	8.83 \pm 0.25	6.04 \pm 0.15	5.79 \pm 0.22

d) Peso seco total (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.35 \pm 0.03	0.25 \pm 0.02	0.29 \pm 0.03	0.26 \pm 0.03
42	0.77 \pm 0.09	0.79 \pm 0.07	0.77 \pm 0.08	0.74 \pm 0.07
63	2.59 \pm 0.17	2.27 \pm 0.23	1.71 \pm 0.19	1.67 \pm 0.15
84	6.73 \pm 0.86	5.49 \pm 0.29	3.79 \pm 0.43	3.48 \pm 0.27
105	10.94 \pm 0.85	9.73 \pm 0.94	6.75 \pm 0.32	4.08 \pm 0.24
126	22.22 \pm 1.18	20.04 \pm 1.69	10.09 \pm 0.79	7.99 \pm 1.07
147	31.68 \pm 1.83	27.4 \pm 2.16	11.61 \pm 0.84	10.09 \pm 0.75
168	43.83 \pm 2.66	36.39 \pm 2.74	13.81 \pm 1.34	11.75 \pm 1.58

e) Peso seco parte aérea

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.20 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.18 \pm 0.02	0.17 \pm 0.02
42	0.46 \pm 0.06	0.48 \pm 0.06	0.46 \pm 0.05	0.46 \pm 0.05
63	1.86 \pm 0.13	1.66 \pm 0.17	0.99 \pm 0.13	1.06 \pm 0.10
84	4.04 \pm 0.50	3.39 \pm 0.18	2.04 \pm 0.23	1.88 \pm 0.15
105	7.28 \pm 0.57	6.67 \pm 0.64	4.12 \pm 0.28	2.62 \pm 0.18
126	14.62 \pm 0.79	13.07 \pm 1.09	6.28 \pm 0.52	4.79 \pm 0.69
147	20.12 \pm 1.31	16.53 \pm 1.30	6.56 \pm 0.52	5.82 \pm 0.42
168	30.25 \pm 1.81	25.42 \pm 2.05	8.35 \pm 1.03	7.42 \pm 1.28

f) Peso seco raíz

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.14 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01	0.11 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01
42	0.31 \pm 0.04	0.31 \pm 0.03	0.31 \pm 0.04	0.28 \pm 0.03
63	0.73 \pm 0.06	0.62 \pm 0.06	0.72 \pm 0.08	0.61 \pm 0.07
84	2.69 \pm 0.38	2.10 \pm 0.13	1.76 \pm 0.20	1.60 \pm 0.14
105	3.66 \pm 0.31	3.06 \pm 0.36	2.63 \pm 0.23	1.47 \pm 0.09
126	7.61 \pm 0.45	6.97 \pm 0.62	3.81 \pm 0.30	3.20 \pm 0.40
147	11.56 \pm 0.72	10.87 \pm 0.93	5.05 \pm 0.48	4.27 \pm 0.38
168	13.59 \pm 1.06	10.97 \pm 0.96	5.45 \pm 0.55	4.34 \pm 0.32

g) Cociente raíz/parte aérea

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.67 \pm 0.08	0.52 \pm 0.06	0.63 \pm 0.07	0.47 \pm 0.05
42	0.72 \pm 0.09	0.68 \pm 0.06	0.68 \pm 0.06	0.66 \pm 0.07
63	0.41 \pm 0.04	0.38 \pm 0.02	0.81 \pm 0.14	0.59 \pm 0.06
84	0.65 \pm 0.04	0.62 \pm 0.03	0.86 \pm 0.04	0.85 \pm 0.04
105	0.51 \pm 0.02	0.47 \pm 0.04	0.68 \pm 0.08	0.59 \pm 0.05
126	0.52 \pm 0.02	0.53 \pm 0.03	0.62 \pm 0.03	0.70 \pm 0.04
147	0.59 \pm 0.03	0.66 \pm 0.03	0.79 \pm 0.08	0.74 \pm 0.04
168	0.45 \pm 0.03	0.44 \pm 0.03	0.75 \pm 0.12	0.71 \pm 0.08

GC = Contenedor grande con fertilización
 GS = Contenedor grande sin fertilización
 PC = Contenedor pequeño con fertilización
 PS = contenedor pequeño sin fertilización

Apéndice IV. Promedios (± 1 E.E.) obtenidos para cada variable y por tratamiento para *Mimosa benthamii* durante el experimento.

a) Altura (cm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	3.00 \pm 0.21	2.83 \pm 0.34	3.17 \pm 0.28	3.71 \pm 0.40
42	5.38 \pm 0.25	5.92 \pm 0.56	6.83 \pm 0.51	6.92 \pm 0.41
63	17.17 \pm 1.74	16.83 \pm 1.32	14.75 \pm 1.66	14.33 \pm 1.38
84	22.25 \pm 2.11	22.92 \pm 1.18	16.92 \pm 1.57	19.33 \pm 1.50
105	38.00 \pm 3.52	37.67 \pm 3.06	27.92 \pm 2.02	24.50 \pm 1.76
126	49.75 \pm 4.00	42.92 \pm 2.02	30.83 \pm 2.88	32.58 \pm 2.46
147	48.33 \pm 2.44	55.50 \pm 4.06	37.17 \pm 2.52	30.67 \pm 2.36
168	59.75 \pm 3.60	64.67 \pm 6.02		

b) Cobertura (cm²)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	10.75 \pm 1.69	7.44 \pm 0.93	8.12 \pm 0.85	10.20 \pm 1.50
42	45.45 \pm 8.01	42.20 \pm 5.09	43.26 \pm 8.41	42.36 \pm 7.15
63	232.59 \pm 35.93	239.89 \pm 22.99	163.69 \pm 28.42	109.72 \pm 22.80
84	402.35 \pm 58.81	427.94 \pm 42.76	347.00 \pm 34.28	262.37 \pm 32.06
105	1018.45 \pm 79.48	1033.71 \pm 116.45	611.73 \pm 75.18	480.52 \pm 54.15
126	1424.24 \pm 64.43	1158.44 \pm 149.73	559.22 \pm 68.30	625.21 \pm 64.62
147	1925.21 \pm 134.41	1489.16 \pm 168.41	669.71 \pm 73.75	583.34 \pm 47.83
168	2124.55 \pm 324.50	2127.30 \pm 216.80		

c) Diámetro basal (mm)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.91 \pm 0.04	0.9 \pm 0.04	0.88 \pm 0.05	0.87 \pm 0.03
42	1.59 \pm 0.11	1.32 \pm 0.08	1.45 \pm 0.18	1.28 \pm 0.06
63	3.18 \pm 0.20	3.23 \pm 0.24	2.43 \pm 0.15	2.16 \pm 0.13
84	4.56 \pm 0.26	4.45 \pm 0.14	3.37 \pm 0.22	3.12 \pm 0.07
105	6.54 \pm 0.27	6.35 \pm 0.23	4.65 \pm 0.27	4.43 \pm 0.20
126	8.18 \pm 0.23	7.46 \pm 0.22	5.32 \pm 0.20	4.92 \pm 0.20
147	9.79 \pm 0.36	8.82 \pm 0.29	6.38 \pm 0.22	6.17 \pm 0.30
168	10.77 \pm 0.49	10.36 \pm 0.45		

d) Peso seco total (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.05 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01
42	0.32 \pm 0.05	0.28 \pm 0.03	0.28 \pm 0.05	0.28 \pm 0.03
63	2.01 \pm 0.27	1.89 \pm 0.31	1.27 \pm 0.18	0.86 \pm 0.10
84	6.56 \pm 0.87	7.10 \pm 0.39	3.90 \pm 0.30	3.04 \pm 0.27
105	15.80 \pm 1.33	13.75 \pm 1.31	7.92 \pm 0.93	5.78 \pm 0.50
126	29.32 \pm 2.09	23.4 \pm 2.13	7.28 \pm 0.73	7.57 \pm 0.52
147	38.85 \pm 3.46	34.40 \pm 3.65	11.32 \pm 1.34	10.17 \pm 1.31
168	52.59 \pm 5.92	49.32 \pm 5.73		

e) Peso seco parte aérea (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.03 \pm 0.00	0.03 \pm 0.00	0.03 \pm 0.00	0.04 \pm 0.00
42	0.21 \pm 0.04	0.18 \pm 0.02	0.19 \pm 0.04	0.18 \pm 0.01
63	1.54 \pm 0.22	1.49 \pm 0.25	0.94 \pm 0.15	0.65 \pm 0.09
84	3.98 \pm 0.53	4.37 \pm 0.19	2.06 \pm 0.15	1.79 \pm 0.16
105	11.65 \pm 1.09	10.46 \pm 1.07	5.57 \pm 0.81	4.01 \pm 0.54
126	20.40 \pm 1.54	15.97 \pm 1.62	4.73 \pm 0.53	5.09 \pm 0.37
147	26.41 \pm 2.51	23.62 \pm 2.57	7.03 \pm 1.04	6.00 \pm 0.99
168	37.63 \pm 4.84	36.34 \pm 4.22		

f) Peso seco raíz (g)

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.02 \pm 0.00	0.02 \pm 0.00	0.02 \pm 0.00	0.02 \pm 0.00
42	0.11 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.10 \pm 0.02
63	0.46 \pm 0.07	0.39 \pm 0.07	0.33 \pm 0.05	0.21 \pm 0.03
84	2.58 \pm 0.38	2.74 \pm 0.22	1.85 \pm 0.16	1.35 \pm 0.13
105	4.15 \pm 0.33	3.30 \pm 0.33	2.35 \pm 0.19	1.77 \pm 0.16
126	8.92 \pm 0.74	7.43 \pm 0.66	2.55 \pm 0.22	2.48 \pm 0.19
147	12.44 \pm 1.15	10.78 \pm 1.14	4.28 \pm 0.43	4.17 \pm 0.48
168	14.96 \pm 1.62	12.98 \pm 1.75		

g) Cociente raíz / parte aérea

Días	Tratamiento			
	GC	GS	PC	PS
21	0.64 \pm 0.04	0.67 \pm 0.11	0.67 \pm 0.11	0.51 \pm 0.09
42	0.71 \pm 0.18	0.63 \pm 0.17	0.47 \pm 0.06	0.53 \pm 0.10
63	0.34 \pm 0.04	0.26 \pm 0.02	0.40 \pm 0.07	0.36 \pm 0.06
84	0.69 \pm 0.07	0.62 \pm 0.03	0.90 \pm 0.05	0.73 \pm 0.04
105	0.37 \pm 0.03	0.33 \pm 0.03	0.53 \pm 0.09	0.56 \pm 0.10
126	0.44 \pm 0.03	0.49 \pm 0.04	0.57 \pm 0.04	0.50 \pm 0.03
147	0.49 \pm 0.04	0.46 \pm 0.02	0.67 \pm 0.06	0.82 \pm 0.12
168	0.42 \pm 0.04	0.37 \pm 0.04		

GC = Contenedor grande con fertilización
 GS = Contenedor grande sin fertilización
 PC = Contenedor pequeño con fertilización
 PS = contenedor pequeño sin fertilización