



Universidad de Valladolid

**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN FORESTAL
SOSTENIBLE**

TESIS DOCTORAL:

**Germinación y crecimiento de especies nativas
potenciales para reforestación en el estado de
Tabasco, México**

Presentada por Georgina Vargas Simón para optar al grado de
Doctora en Conservación y Uso Sostenible de Sistemas
Forestales por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:

Dr. Pablo Martínez Zurimendi

Dra. Marivel Domínguez Domínguez

Palencia, 2017



TESIS DOCTORAL

Universidad de Valladolid

Instituto Universitario de Investigación
en Gestión Forestal Sostenible



Germinación y crecimiento de especies nativas potenciales para reforestación en el estado de Tabasco, México



Georgina Vargas Simón

Palencia, 2017

DEDICATORIA

A un olmo seco

Antonio Machado

Al olmo viejo, hendido por el rayo
y en su mitad podrido,
con las lluvias de abril y el sol de mayo
algunas hojas verdes le han salido.

¡El olmo centenario en la colina
que lame el Duero! Un musgo amarillento
le mancha la corteza blanquecina
al tronco carcomido y polvoriento.

No será, cual los álamos cantores
que guardan el camino y la ribera,
habitado de pardos ruiseñores.

Ejército de hormigas en hilera
va trepando por él, y en sus entrañas
urden sus telas grises las arañas.

Antes que te derribe, olmo del Duero,
con su hacha el leñador, y el carpintero
te convierta en melena de campana,
lanza de carro o yugo de carreta;
antes que rojo en el hogar, mañana,
ardas en alguna mísera caseta,
al borde de un camino;
antes que te descuaje un torbellino
y tronche el soplo de las sierras blancas;
antes que el río hasta la mar te empuje
por valles y barrancas,
olmo, quiero anotar en mi cartera
la gracia de tu rama verdecida.

Mi corazón espera
también, hacia la luz y hacia la vida,
otro milagro de la primavera.

A mis padres Adalberto y Socorro

AGRADECIMIENTOS

A Víctor Manuel Sámano Labastida y a Misael Sámano Vargas por todo...

Al Dr. Pablo Martínez Zurimendi del Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible y El Colegio de la Frontera Sur, y a la Dra. Marivel Domínguez Domínguez del Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de aprender cosas nuevas.

Al Dr. Reinaldo Pire Cordero, de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (Barquisimeto, Venezuela) por su solidaridad de siempre.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) y a la Universidad de Valladolid por haberme permitido cumplir una meta más en mi vida profesional. Particularmente a la MCA Rosa Martha Padrón López por su gestión en la División Académica de Ciencias Biológicas.

A los Dres. Felipe Bravo Oviedo, Rosario Sierra de Grado, Juan A. Pajares Alonso, Valentín Pando Fernández, José A. Reque Kilchenmann, M^a. José Fernández Nieto, Pablo Martín Pinto, Carolina Martínez Ruiz, y demás profesores de la Universidad de Valladolid, por su paciencia y sapiencia. También a Celia Redondo Marina, solidaria siempre y eficaz gestora.

Al M.V.Z Álvaro Bellizia Napoleón, por su confianza y gran apoyo para realizar una parte del experimento en su predio. A mis estimados colegas M.C. Jesús M. Ascencio Rivera, M.C. Eduardo J. Moguel Ordoñez y Dra. Luisa del C. Cámara Cabrales de la DACBiól. por su respaldo continuo.

A la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional Forestal por permitirme el uso del Laboratorio de Germoplasma y del vivero, así como por la disponibilidad de plantas en la última parte del experimento.

A los Biólogos Manuel L. Núñez Piedra y Jackelín Ruiz Vidal, quienes fueron mis constantes soportes para esta investigación. De igual manera a la Ing. Tania E. Ramírez González y a la Biól. Maritza Avalos Ramón.

Al Colegio de la Frontera Sur, por su acogida en sus instalaciones y por la oportunidad de participar en sus Semanas de Intercambio Académico donde fui premiada por dos ocasiones.

A mis queridos partícipes de la DACBiól, quienes me hicieron más leve el trabajo en campo y en el vivero: Alma D. de la Cruz Ascencio, Alina Martínez Rosales, William Álvarez Jiménez, Wiliam R. Alegría González, Cristina Chapuz Victorino, Jade Soberano Orueta, Julio Moguel Yanez, Ana Gabriela Magaña de Dios, Alejandro Romero García y Leisy M. Arévalo Galán. Eternamente agradecida.

A mis hermanas Cecilia y Eréndira; Carlos Cuevas, Benjamín Zavala, Maritza Nogales, Cinthia Sánchez, Jesús Flores y demás sobrinos quienes han estado directa e indirectamente involucrados en este proceso, por su fraternal cariño.

A mis amigos Cristóbal Rullán, Adriana Olthoff, losody Silva y Amparo Glices por los momentos gratos durante mis estancias en Palencia. A los de siempre Lulú Trejo, Fernando Molina, Jaquelina Gamboa, Leticia García, Rocío López, Salomón Páramo, J.Francisco Molina, Guadalupe Rivas, Angeles Guadarrama, Wilfrido Contreras, Arlette Hernández, Ma. Leandra Salvadores, Miguel Pérez, entre otros de la División Académica de Ciencias Biológicas por los ratos agradables y su solidaridad.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera estuvieron presentes y solidarios en esta etapa de mi vida profesional.

Contenido

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Estructura de la Tesis	3
CAPITULO 1. Introducción General	9
1.1. Recursos forestales.....	9
1.2. Datos sobre las especies de estudio.....	11
1.3. Germinación, tolerancia a la desecación y latencia en semillas	12
1.4. Producción de plantas en vivero	13
1.5. Evaluación de especies nativas en campo.....	14
1.6. Distribución geográfica y ecológica de especies forestales nativas mediante Sistemas de Información Geográfica.....	15
1.7. Características ecogeográficas del estado de Tabasco, México	16
1.7.1. Vegetación.....	18
1.8. Objetivo General	20
1.8.1. Objetivos Particulares	20
1.9. Bibliografía	21
CAPÍTULO 2. Germinación de semillas de <i>Ormosia macrocalyx</i> , una especie forestal tropical amenazada.....	28
2.1. Resumen.....	28
2.2. Abstract	29
2.3. Introducción	30
2.4. Materiales y métodos	34
2.4.1. Experimento 1. Efecto de la madurez del fruto.....	34
2.4.2. Experimento 2. Efecto de tratamientos pregerminativos	34
2.4.3. Germinación	34
2.4.4. Análisis estadístico.....	35
2.5. Resultados	36
2.5.1. Experimento 1. Efecto de la madurez del fruto.....	36
2.5.2. Experimento 2. Efecto de tratamientos pregerminativos	38
2.6. Discusión.....	41
2.6.1. Experimento 1. Efecto de la madurez del fruto.....	41
2.6.2. Experimento 2. Efecto de tratamientos pregerminativos	44
2.7. Conclusiones	46

2.8. Bibliografía	47
CAPÍTULO 3. Crecimiento preliminar de seis especies forestales del trópico húmedo	57
3.1. Resumen	57
3.2. Abstract.....	58
3.3. Introducción.....	59
3.4. Materiales y Métodos	62
3.4.1. Sitio de estudio.....	62
3.4.2. Selección de especies y trabajo de vivero.....	62
3.4.3. Descripción morfológica de plántulas.....	63
3.4.4. Variables de crecimiento	63
3.4.5. Análisis de datos.....	64
3.5. Resultados	65
3.5.1. Germinación	65
3.5.2. Descripción de plántulas.....	65
3.5.3. Variables de crecimiento	72
3.5.3.1. Longitud de tallo	72
3.5.3.2. Diámetro basal de tallo	72
3.5.3.3. Número de hojas juveniles.....	73
3.5.3.4. Tasas relativas de crecimiento (TRC).....	75
3.6. Discusión	78
3.6.1. Germinación	78
3.6.2. Descripción de plántulas.....	79
3.6.3. Longitud de tallo y diámetro basal de tallo	80
3.6.3.2 Número de hojas juveniles.....	83
3.6.3.3. Tasa relativa de crecimiento (TRC).....	84
3.6.4. Supervivencia de plántulas	86
3.7. Conclusiones	89
3.8. Bibliografía	90
CAPÍTULO 4. Especies arbóreas potenciales para reforestación en zonas costeras del trópico húmedo.....	101
4.1. Resumen	101
4.2. Abstract.....	102
4.3. Introducción.....	103
4.4. Materiales y Métodos	105
4.4.1. Variables	107

4.4.2. Diseño experimental y análisis estadístico.....	108
4.5. Resultados.....	111
4.5.1. Supervivencia.....	111
4.5.2. Crecimiento: longitud de tallo y diámetro basal de tallo.....	112
4.5.3. Tasas relativas de crecimiento (TRC): longitud de tallo y diámetro basal de tallo	114
4.5.4. Área basimétrica (AB).....	116
4.6. Discusión.....	119
4.6.1. Supervivencia.....	119
4.6.2. Crecimiento: longitud de tallo y diámetro basal de tallo.....	120
4.6.3. Tasas relativas de crecimiento (TRC): longitud de tallo y diámetro basal de tallo	123
4.6.4. Área basimétrica.....	125
4.7. Conclusiones.....	127
4.8. Bibliografía.....	128
CAPÍTULO 5. Distribución geoecológica de <i>Ormosia macrocalyx</i> en México y delimitación de sus áreas de ocupación.....	137
5.1. Resumen.....	137
5.2. Abstract.....	138
5.3. Introducción.....	139
5.4. Materiales y métodos.....	141
5.4.1. Patrón geográfico y ecológico.....	141
5.4.2. Obtención de las áreas de ocupación (AO).....	142
5.5. Resultados.....	147
5.5.1. Patrón geográfico de <i>O. macrocalyx</i>	147
5.5.2. Patrón ecológico de <i>O. macrocalyx</i>	147
5.5.3. Áreas de ocupación (AO).....	151
5.6. Discusión.....	156
5.6.1. Patrón ecogeográfico de <i>O. macrocalyx</i>	156
5.6.2. Áreas de ocupación (AO).....	158
5.7. Conclusiones.....	159
5.8. Bibliografía.....	160
CAPÍTULO 6. Discusión General.....	167
6.1. Germinación de semillas de <i>Ormosia macrocalyx</i> , una especie forestal tropical amenazada.....	168

6.2. Crecimiento inicial de seis especies forestales del trópico húmedo.....	169
6.3. Especies arbóreas para reforestación en zonas costeras del trópico húmedo.....	171
6.4. Distribución geoecológica de <i>Ormosia macrocalyx</i> en México y delimitación de sus áreas de ocupación	173
6.5. Bibliografía	175
CAPÍTULO 7. Conclusiones Generales	185
ANEXO	189

Resumen

La presente Tesis Doctoral tiene por objetivo contribuir al conocimiento de los procesos de producción de planta y de la reforestación forestal con especies nativas. Se muestran los resultados de los procesos de germinación de una especie en peligro de extinción (*Ormosia macrocalyx*), bajo dos experimentos independientes: 1) germinación de semillas obtenidas de frutos en tres etapas de maduración y 2) germinación de semillas almacenadas por 17 meses en condiciones de refrigeración, bajo tratamientos pregerminativos (control, escarificación mecánica, remojo por 24 horas y escarificación mecánica + Ácido giberélico al 1%). Además, se evaluó el crecimiento de seis especies nativas tropicales (*Calophyllum brasiliense*, *Bravaisia integerrima*, *Dialium guianense*, *Piscidia piscipula*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Enterolobium cyclocarpum*), bajo 50% de sombra, las variables analizadas fueron: longitud de tallo, diámetro basal y tasas relativas de crecimiento durante seis meses. Paralelamente, se estableció un experimento en campo sobre un suelo arenoso para obtener el porcentaje de supervivencia y el crecimiento de cinco especies arbóreas (*Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Ceiba pentandra* y *Brosimum alicastrum*) en un diseño de bloques al azar. Las mediciones de la longitud de tallo y diámetro basal por 23 meses, sirvieron para obtener las tasas relativas de crecimiento y las áreas basimétricas. Por último, con información de los diversos herbarios nacionales e internacionales, georreferenciados se obtuvieron mapas temáticos, donde se muestra la distribución geográfica y ecológica de *Ormosia macrocalyx* en México. Los mismos datos sirvieron para establecer sus Áreas de Ocupación por medio del Método Cartográfico de Conglomerados. La germinación de *O. macrocalyx* fue exitosa con semillas de frutos cerrados y semi-abiertos; el mejor tratamiento pregerminativo fue el de escarificación solo o combinado (68 %). Las especies con longitud de tallo y diámetro basal más alto en seis meses de evaluación bajo umbráculo, fueron *E. cyclocarpum* (44.0 cm) y *C. brasiliense* (29.8), esta última también mostró mayor cantidad de hojas; el diámetro basal fue 0.5 cm para *B. integerrima* y *T. donnell-smithii*. La mayor tasa relativa de crecimiento la presentaron *B. integerrima* con 0.0052 cm cm⁻¹ día⁻¹ y *C. brasiliense* con 0.0059 cm cm⁻¹ día⁻¹. Las especies establecidas en campo que presentaron mayor supervivencia fueron *C. pentandra* con 86.4% y *G. sepium* con 88.5%, los mayores valores en todas las variables medidas fueron para las mismas especies, alcanzando longitudes de tallo promedio 2.8 m *C. pentandra* y 2.5 m *G. sepium*, diámetro basal de 7.8 cm en *C. pentandra* y de 3.9 cm en *G. sepium*, aunque ésta se comportó como un arbusto, incrementando su área basimétrica a nivel del suelo a 5.9 m² ha⁻¹, en comparación con *C. pentandra* que fue el más alto 23 m² ha⁻¹; *B. alicastrum*, tuvo una alta mortandad (74%), a los 3 meses de evaluación y 100% en el período siguiente. *Ormosia macrocalyx*, se distribuye en zonas de alta precipitación (>800 mm por año) y en elevaciones menores de 1150 msnm, prefiere suelos del tipo Gleysol. El área de ocupación calculada se remite a cinco conglomerados y seis satélites, las zonas coinciden con el Corredor Biológico Mesoamericano, lo que podría ayudar en la protección y en el restablecimiento de sus hábitat. Con estos resultados se muestra la posibilidad de utilizar especies nativas para programas de restauración y de reforestación para las zonas tropicales y para áreas costeras de baja fertilidad.

Palabras clave: Tratamientos pregerminativos, crecimiento preliminar, vivero, áreas basimétricas, zonas costeras, Áreas de Ocupación

Abstract

The purpose of this Doctoral Thesis is to contribute to knowledge in processes of plant production and forest reforestation with native species. The results of the germination processes of an endangered species (*Ormosia macrocalyx*), are shown under two independent experiments: 1) germination of seeds obtained from fruits in three stages of maturation and 2) germination of seeds stored during 17 months in refrigeration conditions, under pregerminative treatments (control, mechanical scarification, 24 hour soaking and mechanical scarification + 1% gibberellic acid). In addition, the growth of six native tropical species (*Calophyllum brasiliense*, *Bravaisia integerrima*, *Dialium guianense*, *Piscidia piscipula*, *Tabebuia donnell-smithii* and *Enterolobium cyclocarpum*) was evaluated under 50% shade, the variables analyzed were: stem length, stem length, basal diameter and relative rates of growth over six months. In parallel, a field experiment on sandy soil was established to obtain the percentage of survival and growth of five tree species (*Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Ceiba pentandra* and *Brosimum alicastrum*) in a randomized block design. Measurements of stem length and basal diameter for 23 months served to obtain relative growth rates and basimetric areas. Finally, with information from the different national and international herbaria, georeferenced thematic maps were obtained, showing the geographic and ecological distribution of *Ormosia macrocalyx* in Mexico. The same data served to establish their Occupational Areas by means of the Cartographic Method of Conglomerates. The germination of *O. macrocalyx* was successful with seeds of closed and semi-open fruits; the best pregerminative treatment was single or combined scarification (68%). The species with higher stem length and basal diameter in six months of evaluation under umbracle were *E. cyclocarpum* (44.0 cm) and *C. brasiliense* (29.8), the latter also showed more leaves; the basal diameter was 0.5 cm for *B. integerrima* and *T. donnell-smithii*. The highest relative growth rate was presented by *B. integerrima* with $0.0052 \text{ cm}^{-1}\text{day}^{-1}$ and *C. brasiliense* with 0.0059. The established species in field of higher survival were *C. pentandra* with 86.4% and *G. sepium* with 88.5%, the highest values in all the measured variables were for the same species, reaching average stem sizes of 2.8 m *C. pentandra* and 2.5 m *G. sepium*, basal diameter of 7.8 cm in *C. pentandra* and of 3.9 cm in *G. sepium*, although this one behaved as a shrub, increasing its basimetric area at ground level at $5.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, compared to *C. pentandra* which was the highest $23 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. *B. alicastrum*, presented a high mortality (74%), with in 3 months of evaluation and 100% in the following period. *O. macrocalyx*, is distributed in high precipitation zones (> 800 mm per year) and at elevations inferior to 1150 masl. It prefers soils of Gleysol kind. The calculated Area of Occupation refers to five conglomerates and six satellites, areas coinciding with the Mesoamerican Biological Corridor, which could assist in the protection and restoration of their habitats. These results show the possibility of using native species for restoration and reforestation programs for the tropics and for coastal areas of low fertility.

Key words: pregerminative treatments, preliminary growth, nursery, basimetric areas, coastal areas, Areas of Occupation

Estructura de la Tesis

La memoria de Tesis Doctoral involucra un capítulo de Introducción general (Capítulo 1) y en los siguientes cuatro capítulos (2 a 5) se muestra la introducción, objetivo general y particulares, materiales y métodos, así como los resultados, discusión y las conclusiones de los objetivos propuestos de cada apartado. En el Capítulo 6 se indica la Discusión General y en el Capítulo 7 las Conclusiones de cada proceso experimental.

Esta Tesis Doctoral tiene como propósito proporcionar información sobre el proceso germinativo, crecimiento en vivero y en campo de algunas especies arbóreas nativas tropicales que pudieran ser seleccionadas en proyectos de reforestación, de acuerdo a la rapidez en su germinación y comportamiento de desarrollo y crecimiento tanto en vivero, como en campo. Así como, establecer áreas de ocupación de una especie amenazada mediante sistemas de información geográfica que sirva para programas de protección.

En el **Capítulo 2. Germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx*, una especie forestal tropical amenazada**, se establecen los objetivos: 1) Obtener el mejor comportamiento germinativo de semillas de *Ormosia macrocalyx* de acuerdo al estado de madurez del fruto y 2) Mejorar la tasa de germinación en semillas almacenadas de *O. macrocalyx* mediante la aplicación de tratamientos pregerminativos. Se selecciona a *Ormosia macrocalyx*, por ser una especie que requiere estudios puntuales ya que está en peligro de extinción. Para tal efecto, se establecieron dos experimentos en condiciones de laboratorio: 1) se seleccionaron frutos de tres etapas fenológicas (cerrados, semicerrados y abiertos), se relacionó con el comportamiento germinativo, midiendo las variables: porcentaje de germinación, tiempo de iniciación de la germinación y tasa de germinación. El experimento 2), consistió en almacenar semillas de frutos abiertos en refrigeración durante 17 meses a 4 °C, después de los cuales se aplicaron tratamientos pregerminativos para corroborar su latencia y su tolerancia a dicha temperatura. Se evaluaron las mismas variables que en el primer experimento.

En el **Capítulo 3. Crecimiento preliminar de seis especies forestales del trópico húmedo** se plantea el objetivo: Evaluar el crecimiento de seis especies arbóreas nativas tropicales, *Calophyllum brasiliense*, *Bravaisia integerrima*, *Dialium guianense*, *Piscidia piscipula*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Enterolobium cyclocarpum*

para observar su crecimiento y desarrollo durante seis meses en condiciones de umbráculo. El primer evento a evaluar es el proceso de germinación, clasificando las especies en función de la posición de los cotiledones y de su tipo, foliáceos o de reserva; posteriormente se define y se cuantifica cada hoja juvenil y el crecimiento se registra como longitud y diámetro basal de tallo.

En el **Capítulo 4. Especies arbóreas potenciales para reforestación en zonas costeras del trópico húmedo**, se tiene por objetivo: Describir el crecimiento de cinco especies arbóreas nativas en suelo arenoso: *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Ceiba pentandra* y *Brosimum alicastrum*. Las plantas se obtienen de viveros regionales y se trasplantan para evaluar su crecimiento durante 23 meses en diseño de bloques al azar, de 6 bloques y 5 repeticiones. Para tal efecto, se mide la longitud y el diámetro basal. Con estas variables se obtuvieron sus respectivas tasas relativas de crecimiento y áreas basimétricas.

En el **Capítulo 5. Distribución geocológica de *Ormosia macrocalyx* en México y delimitación de sus áreas de ocupación**, el objetivo se enfoca a: verificar mediante datos obtenidos en ejemplares de herbario, literatura citada y observaciones directas la distribución geográfica y ecológica de la especie que se encuentra en peligro de extinción. Los datos adquiridos se georreferencian y se producen mapas temáticos usando el programa ArcGIS 10.2. Asimismo, el estudio se enfoca en delimitar las Áreas de Ocupación de *O. macrocalyx* en México para obtener zonas de protección de los ecosistemas en donde la especie se distribuye. Las Áreas de Ocupación se generan por el método cartográfico de conglomerados, por previos cálculos y se superponen en un mapa tipo Shape (Marco Geoestadístico v. 6.2 del Instituto Nacional de Geografía y Estadística). Las zonas geográficas donde la especie se encuentra se identifican y delimitan, así como los ecosistemas en los que está relacionada, para su manejo y conservación.

Esta Tesis Doctoral por consiguiente tiene como propósito proporcionar información sobre el proceso germinativo, crecimiento en vivero y en campo de algunas especies arbóreas nativas tropicales que pudieran ser seleccionadas en proyectos de reforestación para la restauración de zonas degradadas o fragmentadas, de acuerdo a la rapidez en su germinación, desarrollo y crecimiento tanto en vivero, como en campo. Así mismo la obtención de áreas de ocupación de una especie amenazada que muestra su distribución geográfica y ecológica para

establecer áreas de conservación. La selección de las especies se hizo en función de su importancia ecológica, por ser especies multipropósito y de la disponibilidad de semillas y plantas.

En los Capítulos 2 y 5. Se seleccionó a *Ormosia macrocalyx*, ya que además de ser una especie arbórea amenazada, su introducción en áreas degradadas mejoraría las condiciones de suelo por su alta capacidad de fijación de nitrógeno.

En el Capítulo 3. 'Crecimiento preliminar de seis especies forestales del trópico húmedo', se escogieron especies que raramente están disponibles en los viveros forestales mexicanos y de las que no se dispone de información completa sobre la producción de planta

En el Capítulo 4. 'Especies arbóreas potenciales para reforestación en zonas costeras', se trabajó con plantas habitualmente disponibles en los viveros forestales de México pero en las que se requiere de más información para fomentar su utilización más amplia y adecuada.

CAPÍTULO 1 Introducción General



CAPITULO 1. Introducción General

En este apartado se da un encuadre de la problemática de los recursos forestales en México y de los programas forestales disponibles para la reforestación. Se proporcionan datos generales de la importancia ecológica y económica de las especies de estudio, algunos aspectos de la relevancia de analizar el proceso de la germinación en este tipo de especies, así como la clasificación de las diferentes semillas de acuerdo a su tolerancia a la desecación y bajas temperaturas, elementos básicos para su conservación y manejo sobre todo porque son tropicales. Así mismo, se recalca la necesidad de generar conocimientos sobre el comportamiento de las especies tropicales en vivero y en campo con fines de reforestación. Se justifica también la importancia de ubicar geográfica y ecológicamente a las especies arbóreas con fines de conservación y por último se proporciona información relevante sobre el área de colecta de las semillas y de estudio para una comprensión adecuada del trabajo.

1.1. Recursos forestales

Es primordial conservar los bosques ya que constituyen una fuente amplia de productos maderables y no maderables, así como de servicios ambientales. Existen diversas poblaciones que dependen directamente de estos ecosistemas para satisfacer sus necesidades de alimentos, energía y vivienda (Chaudard 2016).

Sin embargo, en la región tropical del mundo, la pérdida anual neta de superficie forestal entre 2000 y 2010 fue de aproximadamente 7 millones de hectáreas (FAO 2015), debido principalmente al desplazamiento de la frontera agrícola, construcción de carreteras, ganaderización y tala ilegal, entre otras (Kuusela y Amacher 2016). La deforestación tiene consecuencias graves en la pérdida de biodiversidad y ha sido uno de los factores desencadenantes del cambio climático (López 2012).

Particularmente en el estado de Tabasco, México, el área de las selvas tropicales ha disminuido severamente, pasando de 14.87% en el año 1976 a 7.7% en el 2000, en la actualidad a este tipo de vegetación le corresponde menos del 0.95% del total del territorio estatal (Castillo *et al.* 2008, Sánchez-Munguía 2011). Además, la gran problemática es que las comunidades vegetales presentan diferentes grados de perturbación, encontrándose en una fase sucesional secundaria (SEMARNAT-CONAFOR 2013).

Varias especies que pertenecen a los bosques tropicales se encuentran con algún grado de amenaza (NOM-059-Semarnat, Semarnat 2010) como *Calophyllum brasiliense* Cambess, *Ormosia macrocalyx* Ducke, *Bravaisia integerrima* (Spreng.) Standl., *Rhizophora mangle* L. y *Vatairea lundellii* (Standl.) Killip ex Record, entre las especies arbóreas. Además de epífitas como algunas orquídeas y bromelias que forman parte de estos ecosistemas.

Las estrategias adecuadas en el uso de los territorios, que tienen concordancia con el potencial ecológico de los mismos son escasas (Castillo *et al.* 2008). Por ello es necesario dirigir esfuerzos y proponer estrategias de manejo, restauración, rehabilitación, mejoramiento y/o conservación de los ecosistemas forestales y de las especies prioritarias. Ante esta problemática, existe la posibilidad de mitigar los peores efectos de la pérdida de los bosques mediante el mantenimiento de zonas de protección, corredores, extensos bloques de bosques naturales, así como mediante la restauración ecológica y la repoblación forestal (Wilcox 1999). Una forma puede ser el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas, Corredores Biológicos, Unidades para la Conservación, Manejo y Uso Sostenible de la Vida Silvestre (UMA) o sistemas agrosilvipastorales (Miller *et al.* 2001, Retana-Guiascón *et al.* 2011, Villanueva-López *et al.* 2016).

El gobierno federal mexicano, mediante la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), organismo dependiente de la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) encauza recursos económicos para la producción de plantas de vivero y su consecuente reforestación mediante el programa PRONAFOR (Programa Nacional Forestal), complementado con otro llamado Compensación Ambiental por Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales, entre otros (DOF 2017).

Particularmente, en la Gerencia Estatal del estado de Tabasco, existe el apoyo económico y técnico a propietarios de terrenos que deseen reforestar o establecer plantaciones comerciales con especies como melina (*Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.), teca (*Tectona grandis* L.f.), acacia (*Acacia mangium* Willd.), y eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill). O con especies nativas como: caoba (*Swietenia macrophylla* King), cedro (*Cedrela odorata* L.), bojón (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken), pino tropical (*Pinus caribaea* Morelet), tinto (*Haematoxylum campechianum* L.) y macuilis (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.), hasta el año 2016.

En todos los casos, los programas gubernamentales no se aplican para todo el país simultáneamente, sino que dependiendo de un previo análisis anual, se detectan áreas “elegibles” a reforestar o a restaurar y además las especies a propagar son variables, la selección se hace mediante Reglas de Operación que se publican en el Diario Oficial de la Federación; y es de hacer notar que en este año, el estado de Tabasco no fue contemplado como área elegible para reforestación (DOF 2017).

En este trabajo, se contempla que una de las estrategias necesarias para rescatar o rehabilitar las zonas perturbadas en el estado de Tabasco, México debe ser con especies forestales nativas, las cuales tienen la gran ventaja de estar adaptadas a las condiciones ambientales, algunas de ellas prosperan en sitios degradados, y pueden mejorar la fertilidad del suelo cuando se asocian con organismos simbiotes (Moya-Roque y Tenorio-Monge 2013).

Vázquez-Yanes *et al.* (1999) seleccionan un total de 240 especies arbóreas, la mayoría nativas y siete naturalizadas en México, que son árboles multipropósito, es decir, importantes prestadoras de servicios al ambiente, proveedoras de uno o varios productos útiles al hombre y con características prometedoras para emplearse en programas de restauración y reforestación en las diferentes regiones ecológicas del país. Niembro *et al.* (2010) eligen un total de 100 especies nativas útiles en la reforestación, describen la morfología de sus semillas, dado que el conocimiento sobre ellas es incompleto, los criterios de selección de tales especies son: que sean frecuentes, que brinden beneficios ambientales y que sean fuente de variados productos de uso diario y tradicional; además algunas están clasificadas con cierto nivel de amenaza, según la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-Semarnat, SEMARNAT 2010).

1.2. Datos sobre las especies de estudio

Las especies de los experimentos que componen esta tesis son originarias de América Tropical, lo que incluye México hasta Brasil. Algunas forman parte del bosque tropical perennifolio (*C. brasiliense*, *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith y *O. macrocalyx*), las demás son parte del bosque tropical subcaducifolio y del tropical caducifolio. *Tabebuia rosea* se encuentra en diferentes ecosistemas: bosques de encino (*Quercus* spp.), de galería, mesófilo de montaña; en los bosques tropicales caducifolio, perennifolio, subcaducifolio y subperennifolio, así como en pastizal tipo

sabana (Pennington y Sarukhán 2005, Rzedowski 2006), además se localiza en relictos de dichos bosques y como árboles aislados.

Son especies multipropósito, *C. brasiliense*, *T. rosea*, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *D. guianense* y *O. macrocalyx* cuyo principal uso es la madera, importantes en sistemas agrosilvopastoriles como, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp y *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. *G. sepium* es una especie sumamente apreciada como cerco vivo, alimento de ganado y fijadora de nitrógeno en su asociación con bacterias (Cordero y Boshier 2003, Pennington y Sarukhán 2005). El tipo de propagación de forma natural de las especies en estudio es por semilla, salvo *G. sepium* que se propaga generalmente por estacas cuando se establece en campo. Las especies *C. brasiliense*, *T. rosea* y *T. donnell-smithii*, son recalcitrantes. Las semillas de *G. sepium* y *O. macrocalyx* tienen una cubierta seminal semidura por lo que su clasificación en cuanto a su tolerancia a la desecación es posiblemente intermedia; en cambio *E. cyclocarpum* es posiblemente ortodoxa (obs. personal).

1.3. Germinación, tolerancia a la desecación y latencia en semillas

Para cualquier programa de reforestación, restauración o conservación de germoplasma, es fundamentalmente necesario el conocimiento acerca de las semillas, tanto de sus características bioquímicas, morfológicas como de las anatómicas, ya que dependiendo de ello, su proceso germinativo será diferente y la forma de conservación, deberá aplicarse según sea el caso. La capacidad de las semillas para germinar dependerá de su naturaleza intrínseca y de las condiciones ambientales donde se siembren.

Existe una diferencia marcada en las semillas con lo que respecta a su tolerancia a la desecación y a las bajas temperaturas. Las denominadas recalcitrantes, son las que requieren de siembra inmediata una vez que se cosechan, porque tienen una gran sensibilidad a la deshidratación (Berjak y Parmmenter 2008). En comparación, las ortodoxas pueden almacenarse en condiciones de baja humedad sin deterioro de sus propiedades germinativas. Los factores hacia esta respuesta, derivan de las condiciones genéticas y del medio en las que se desarrollan; por ejemplo, las semillas de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. cuentan con 36% de humedad, y *Artocarpus champeden* Stokes con 70% y ambas se clasifican como recalcitrantes.

En el caso de las semillas ortodoxas pueden conservarse hasta con 10% o menos de contenido de humedad y además pueden almacenarse a bajas temperaturas, como las del género *Acer* sp. y *Carya illinoensis* (Hong y Ellis 1996). Según Walters *et al.* (2013), cerca del 75-80% de las angiospermas producen semillas ortodoxas que pueden sobrevivir un secado y almacenamiento prolongado a -20°C . En contraste con el 5 al 10% del mismo grupo que produce semillas recalcitrantes que no sobreviven a la desecación, sus embriones se mueren porque se forman cristales en sus tejidos. Por ello, es de vital importancia conocer este comportamiento, sobre todo porque la siembra estaría restringida a la cosecha anual.

Dentro de las semillas de plantas silvestres tropicales, en varias de las especies aún se desconoce si muestran algún tipo de latencia, propiedad importante para su desempeño germinativo. La latencia se presenta cuando a pesar de que las semillas se encuentran en condiciones adecuadas para germinar, no lo hacen (Bewley *et al.* 2013). Baskin y Baskin (2004) clasifican este período de descanso según sea de tipo fisiológico o morfológico o bien una combinación de estos; en el primer caso debido a la inmadurez del embrión y en el segundo por la lignificación de la cubierta seminal. En semillas cultivadas, esta propiedad se ha perdido, pero en las especies silvestres, este período de reposo, les sirve a las semillas para esperar las condiciones adecuadas para germinar (Bewley *et al.* 2013).

De los estudios más completos sobre especies arbóreas tropicales están los realizados por Sautu *et al.* (2006, 2007), quienes revisaron el proceso germinativo de 94 especies de la región panameña, en cuanto a su longevidad y latencia, sus resultados involucran varias especies del trópico mexicano. Un poco más del 50% de las semillas estudiadas no presentaron ningún tipo de latencia y de las que lo presentaban, 23 tienen latencia fisiológica, 13 física y dos muestran latencia combinada.

1.4. Producción de plantas en vivero

Un paso necesario para los programas de reforestación y/o restauración es el contar con plantas de calidad, y son los viveros los sitios adecuados para producirlas. Estos han cobrado un papel relevante como depositarios y proveedores de especies nativas, sobre todo ahora que se reconoce su importancia para la conservación de la biodiversidad, y pueden utilizarse como sitios de experimentación que permitan la

caracterización, selección y manejo; esto permite diseñar, conocer y adecuar las técnicas propicias para la producción masiva de las especies nativas (Benítez *et al.* 2002, Del Amo *et al.* 2009, González *et al.* 2014).

Existen pocos trabajos realizados con especies forestales tropicales silvestres. González *et al.* (2014) evalúan nueve especies en Cuba, obteniendo resultados importantes sobre los contenedores y sustratos ideales. Adegoke *et al.* (2014) evaluaron variables de crecimiento en *Terminalia ivorensis* (Chev.). Pérez-Hernández *et al.* (2011) observaron el crecimiento de *Aspidosperma megalocarpon* Müll. Arg., *Eugenia* sp., *Lonchocarpus castilloi* Standl., *Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *O. macrocalyx* y *Rollinia mucosa* (Jacq.) Baill. bajo diferentes porcentajes de sombreado.

Para otros estados de la República Mexicana como Veracruz y Yucatán, se cuenta con fichas técnicas de producción elaboradas por la CONAFOR sobre especies nativas tropicales: *C.odorata*, *S. macrophylla*, *T. rosea.*, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *C. alliodora*, *Cordia dodecandra* DC., *Brosimum alicastrum* Sw., *Lippia* sp., *Enterolobium cyclocarpum* y *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. donde se establecen parámetros de calidad de la planta como diámetro del cuello, altura, fertilización y grado de lignificación para su tamaño comercial (CONAFOR 2005).

1.5. Evaluación de especies nativas en campo

Las actividades de reforestación y/o restauración requieren la validación de la supervivencia y el crecimiento de las especies en campo. La reforestación, es una práctica donde se plantan árboles seleccionados por su capacidad de germinación, supervivencia y alta tasa de crecimiento (Ruiz 2002). Por su parte, la restauración se define como toda actividad intencional mediante la cual se inicia o se acelera el proceso de recuperación de un ecosistema en situación de degradación (Sabogal *et al.* 2013). Aun si solamente se puede realizar un programa de reforestación en zonas degradadas, hay diferentes beneficios cuando se utilizan especies nativas en dichos programas, entre los más importantes está el incremento en el hábitat de la vida silvestre y en la biodiversidad, así como protección de superficies y de las reservas de mantos acuíferos (Streed *et al.* 2006).

Resalta el trabajo de van Breugel *et al.* (2011), quienes evaluaron 49 especies forestales en diferentes áreas de Panamá durante dos años; ellos concluyen que la

fertilidad del suelo tuvo una influencia directa en el crecimiento. Entre las especies con mayor supervivencia se encuentran *G. sepium*, *Spondias mombin* L., *Tectona grandis* L.f. y *Diphysa americana* (Mill.) M. Sousa, las especies con mayor crecimiento fueron *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., *Hura crepitans* L., *Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson, *Erythrina fusca* Lour y *Muntingia calabura* L.

Santos *et al.* (2012) prueban una reforestación mediante siembra directa en un terreno usado originalmente para la agricultura y en un pastizal. La emergencia de las plántulas fue mayor (54%) en el terreno agrícola, así como también la supervivencia y el crecimiento en longitud y diámetro basal de seis especies nativas en ocho meses de evaluación. El método de siembra directa tiene la ventaja de involucrar menores costos por el ahorro del sistema de vivero, pero tiene la desventaja de tener menores porcentajes de supervivencia. Sin embargo, los autores mencionan casos exitosos en plantas originarias de bosques de ribera (los que se desarrollan cercanos a los cuerpos de agua), y con *Pinus* spp. Por su parte, López *et al.* (2010) evalúan una plantación mixta de especies tropicales tanto introducidas como locales, midiendo diámetro normal y altura; la melina (*G. arborea*) tuvo el mejor desempeño. Dentro de las nativas, destacó *T. donnell-smithii* que en cinco años alcanzó altura de 4.2-4.6 m y diámetro normal promedio de 0.04 m, incrementos medios anuales de 0.7-0.8 m año⁻¹ en longitud y de 0.013- 0.43 m año⁻¹ en diámetro normal, las variaciones dependieron del sitio de la plantación.

1.6. Distribución geográfica y ecológica de especies forestales nativas mediante Sistemas de Información Geográfica

La descripción de los recursos naturales en un área en donde se concentre información de uso de suelo, clima y vegetación es posible a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta herramienta, a través de una adecuada organización, permitirá realizar una mejor toma de decisiones para la gestión del uso y manejo de recursos naturales (Trucíos *et al.* 2013). Un SIG es útil para modelación de la realidad referido a un sistema de georreferencias y permite representar gráfica y cartográficamente los ambientes seleccionados. Particularmente en México, existe información geográfica creada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) que proporciona una variedad de metadatos geoespaciales sobre la República Mexicana en cuanto a edafología, clima y vegetación, entre otros.

Los factores físicos como el suelo y la topografía influyen directamente sobre las condiciones ambientales, las que a su vez definen los diferentes tipos de vegetación (Rzedowski 2006). Entre las aplicaciones encontradas en este tema, Hernández y Gómez-Hinostrosa (2011) usan datos de herbario para georreferenciar puntos de especies endémicas de cactus. Ochoa-Gaona y de la Cruz Arias (2002) conducen un estudio sobre la distribución y fenología de la flora arbórea del estado de Tabasco, México. Rivers *et al.* (2010, 2011) establecen diversos métodos para estimar el grado de conservación de las poblaciones vegetales para ser utilizados por la International Union for Conservation of Nature (IUCN) para determinar su status. Hernández y Navarro (2007) obtienen las áreas de ocupación (AO), con datos de herbarios para cactáceas, usando el método cartográfico por conglomerados, toman en cuenta la existencia de disyuntivas en el rango de distribución de las especies. De esta manera se obtienen mapas con las áreas a ser conservadas.

Entonces, en un país megadiverso como México, pero con grandes daños y fragmentación en sus ecosistemas, la utilización de especies nativas es una opción para la reforestación y la restauración. Por ello este trabajo, se enfoca a mostrar resultados que coadyuven a los programas de restablecimiento forestal en las zonas del trópico húmedo, mediante la experimentación en laboratorio, vivero y campo; así como la aplicación de los sistemas de información geográfica con base en datos de herbario para la conservación de las especies y sus ecosistemas.

1.7. Características ecogeográficas del estado de Tabasco, México

El área general de estudio es el estado de Tabasco, se localiza en el sureste de México, entre los meridianos 90° 59' 08" y 94° 07' 00" W y entre los paralelos 17° 15' 00" y 18° 38' 45" N (Figura 1.1). Cuenta con una extensión territorial de 24 738 km², representa el 1.3% del territorio nacional; se caracteriza por tener clima cálido húmedo (A), de acuerdo a la clasificación de García (1981). La temperatura media es de 27 °C, con valores máximos de 36 °C en verano y mínimos de 18.5 °C en invierno y lluvias abundantes en verano. Anualmente, se ha cuantificado una precipitación de 2,500 mm anuales en promedio (Ruiz-Álvarez *et al.* 2012, SEMARNAT-CONAFOR 2014).

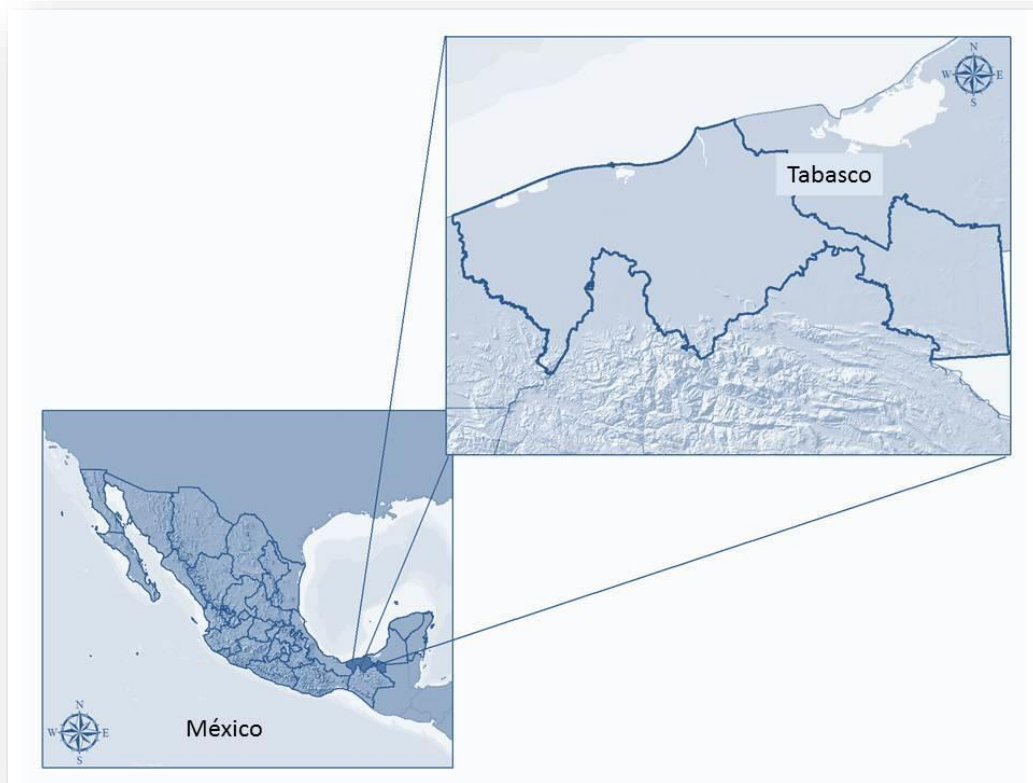


Figura 1.1. Mapa de localización del estado de Tabasco, México.

Cabe señalar que la mayor parte de la superficie prácticamente es plana y de acuerdo a su historia geológica se han identificado tres ambientes morfogenéticos, que han determinado diferentes tipos de suelo: Arenosol, Solonchak, Histosol, Gleysol, Fluvisol y Vertisol en las planicies; Alisol, Acrisol y Luvisol en las terrazas costeras, lomeríos y montañas sobre rocas detríticas; y Leptosol, Vertisol y Cambisol en paisajes kársticos. (Zavala-Cruz *et al.* 2016). En cuanto a textura, la mayoría tienen un alto contenido de arcillas (30% o más) y las zonas costeras contienen suelos arenosos (Palma *et al.* 2007).

1.7.1. Vegetación

Según la clasificación de Rzedowski (2006), en el estado de Tabasco se pueden encontrar diferentes tipos de vegetación: los Bosques tropicales, perennifolio, subcaducifolio; además de pastizal, Bosque de *Quercus* y vegetación acuática y subacuática. En este apartado, sólo se describen los asociados al trabajo de tesis.

El Bosque tropical perennifolio (en otra clasificación selvas alta perennifolia y mediana subperennifolia), está representado por árboles de 30 metros de altura y alrededor de 1.5 m de diámetro normal, está conformado por tres estratos arbóreos y uno herbáceo compuesto por integrantes de las familias Araceae, Maranthaceae y además de helechos; también, se presentan lianas y varios tipos de epífitas. Como su nombre indica está formado mayoritariamente por árboles con hojas permanentes. En el estado solo existen relictos, las especies arbóreas más comunes son: *S. macrophylla*, *C. odorata*, *Andira galeottiana* Standl., *Spondias mombin*, *T. rosea*, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Nectandra ambigens* (S.F. Blake) C.K. Allen, *Castilla elástica* Sessé, *C. brasiliense*, *Guatteria anomala* R.E. Fr., *Dialium guianense* y *Cordia alliodora* (Rzedowski 2006, González-Valdivia et al. 2012).

Un tipo peculiar de este ecosistema es el bosque de *Bravaisia integerrima*, que se desarrolla principalmente en suelos que permanecen inundados por largos períodos, presenta la singularidad de producir raíces adventicias “zancudas” se le encuentra asociado con *H. campechianum*, *Diospyros digyna* Jacq., *P. aquatica* y *Salix humboldtiana* Willd. (Rzedowski 2006).

El Bosque tropical subcaducifolio, se caracteriza porque sus especies pierden hojas en temporada de sequía, que en Tabasco corresponde generalmente entre marzo y mayo. Son árboles de alturas y diámetros normales similares al tropical perennifolio, las especies más comunes son: *B. alicastrum*, *E. cyclocarpum*, *Cedrela mexicana* M.Roem., *Dalbergia granadillo* Pittier, *Astronium graveolens* Jacq., *Hymenaea courbaril* L. y *Platymiscium dimorphandrum* Donn. Sm. (Pennington y Sarukhán 2005, Rzedowski 2006).

En la literatura revisada se cuenta con información escasa sobre el manejo del germoplasma, proporcionada particularmente por la Comisión Nacional Forestal, entidad que se encarga del proceso de reforestación en México para algunas especies tropicales que se abordan en este trabajo como *T. rosea*, *T. donnell-smithii*, *B. alicastrum*, *E. cyclocarpum* y *P. piscipula* (SEMARNAT 2015), pero se carece de

información suficiente de éstas y de otras especies propuestas en esta tesis sobre el proceso germinativo y el desarrollo plantular. También existen escasos trabajos sobre las tasas de crecimiento en campo, especialmente para el estado de Tabasco, una entidad altamente deforestada y de condiciones ambientales particulares.

Así mismo, el estudio de los bancos de germoplasma y la época ideal de su colecta son pasos imprescindibles en el manejo de las especies arbóreas. Aunado a la revisión del vigor germinativo con respecto al tiempo, así como la posible aplicación de tratamientos pregerminativos que generen una germinación homogénea para poder establecer estrategias de manejo forestal y obtención de plantas de calidad.

Dada la problemática de la deforestación en el estado de Tabasco, México son necesarios los trabajos enfocados a la reforestación con fines de restauración, siendo las especies nativas una excelente opción por las diversas ventajas ecológicas que ofrecen. Por ello se seleccionaron diferentes especies multipropósito y de interés ecológico para realizar los diferentes experimentos que componen esta Tesis Doctoral.

1.8. Objetivo General

Esta tesis doctoral tiene como objetivo general, proporcionar información sobre el proceso germinativo, crecimiento en vivero y en campo de algunas especies arbóreas nativas tropicales de las que se tiene poco o nulo conocimiento en la zona de estudio que pudieran ser seleccionadas en proyectos de reforestación, de acuerdo a la rapidez en su germinación y comportamiento de desarrollo y crecimiento tanto en vivero, como en campo. Así como, establecer áreas de ocupación de una especie amenazada mediante sistemas de información geográfica que sirva para programas de protección.

1.8.1. Objetivos Particulares

- 1) Obtener el mejor comportamiento germinativo de semillas de *Ormosia macrocalyx* de acuerdo al estado de madurez del fruto.

- 2) Mejorar la tasa de germinación en semillas almacenadas de *O. macrocalyx* mediante la aplicación de tratamientos pregerminativos.

- 3) Cuantificar el crecimiento y desarrollo de seis especies arbóreas nativas tropicales en condiciones de vivero para fines de uso en la reforestación o restauración: *Calophyllum brasiliensis*, *Bravaisia integerrima*, *Dialium guianense*, *Piscidia piscipula*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Enterolobium cyclocarpum*.

- 4) Evaluar el crecimiento de cinco especies arbóreas nativas tropicales en un suelo arenoso para ser utilizadas en programas de reforestación: *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Ceiba pentandra* y *Brosimum alicastrum*.

- 5) Describir las características geográficas y ecológicas de *O. macrocalyx* que sirvan para establecer estrategias de su conservación en México.

- 6) Delimitar las Áreas de Ocupación de *O. macrocalyx* en México para delimitar zonas de protección de los ecosistemas en donde se distribuye.

1.9. Bibliografía

- Adegoke F, Akinyele A, Ogunwande O. 2014. Effect of seed size and source on early seedling growth of *Terminalia ivorensis* (Chev.). *Agriculture and Forestry* **60**: 157-166.
- Aristizábal-Borja J, Pozo-Montuy G, Pérez-Torres J, Serio-Silva JC. 2011. Annotations on the feeding ecology of black howler monkeys in an overcrowded fragment in Balancán, Tabasco, México. *Universitas Scientiarum* **16**: 140-146.
- Baskin MJ, Baskin CC. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* **14**: 1-16.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. 2013. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd edition). New York. Springer.
- Benítez G, Equihua M, Pulido-Salas MT. 2002. Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **8**: 5-12.
- Berjak P, Pammenter NW. 2008. From *Avicennia* to *Zizania*: seed recalcitrance in perspective. *Annals of Botany* **101**: 213-228.
- Castillo RJJ, Gama L, Zequeira CL. 2008. Análisis de regresión lineal en un sistema de información geográfico para determinar la tasa de deforestación en el estado de Tabasco. *Kuxulkab'* **15**: 15-18.
- Cernusak LA, Winter K, Martínez C, Correa E, Aranda J, García M, Jaramillo C, Turner BL. 2011. Responses of legume versus non legume tropical tree seedlings to elevated CO₂ concentration. *Plant physiology* **157**: 372-385.
- Chauchard L. (comp.). 2016. *Casos ejemplares de manejo forestal sostenible en Chile, Costa Rica, Guatemala y Uruguay*. Santiago de Chile Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Cordero J, Boshier DH. (eds.). 2003. *Árboles de Centroamérica, un Manual para Extensionistas*. Oxford Forestry Institute. Turrialba. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), CD-ROM.
- Del Amo S, Vergara MC, Ramos JM, Sainz C. 2009. *Germinación y manejo de especies forestales tropicales* (No. 635.8 Z94). Veracruz. Universidad Veracruzana.

- DOF 2017. *Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2017*. Diario Oficial (DOF), Decimocuarta sección, Poder Ejecutivo, Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México. 28 de diciembre de 2016.
- FAO 2015. *La Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- García E. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Ciudad de México. Offset Larios.
- González E, Cobas M, Bonilla M, Sotolongo R, Castillo I, García I, Medina M. 2014. Experiencias en la producción de plantas cultivadas en los viveros forestales en contenedores. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* **2**: 1-13.
- González-Valdivia N, Ochoa-Gaona S, Ferguson BG, Pozo C, Kampichler C, Pérez-Hernández I. 2012. Análisis comparativo de la estructura, diversidad y composición de comunidades arbóreas de un paisaje agropecuario en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **83**: 83-99.
- Hernández H, Gómez-Hinostrosa C. 2011. Areas of endemism of Cactaceae and the effectiveness of the protected area network in the Chihuahuan Desert. *Oryx* **45**: 191-200.
- Hernández H, Navarro M. 2007. A new method to estimate areas of occupancy using herbarium data. *Biodiversity and Conservation* **16**: 2457-2470.
- Hong TD, Ellis RH. 1996. *A protocol to determine seed storage behaviour*. Technical Bulletin No. 1. Rome. International Plant Genetic Resource Institute.
- Joker D, Salazar R. 2000. *Calophyllum brasiliense* Cambess. *Seed Leaflet*. CATIE Nota Técnica Num. 46. Denmark. Danida Forest Seed Centre.
- Kuusela OP, Amacher GS. 2016. A Review of Performance Bonding in Forest Policy Settings. *Current Forestry Reports* **2**: 189-200.
- López AJL, Sánchez MV, Hernández ME. 2010. Crecimiento inicial de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **1**: 65-79.
- López A. 2012. *Deforestación en México: análisis preliminar*. Ciudad de México. Centro de Investigación y Docencia Económicas AC.

- Miller K, Chang E, Johnson N. 2001. *En busca de un enfoque común para el Corredor Biológico Mesoamericano*. Washington DC. World Resources Institute.
- Molina MOE, Castillo LOG. 2014. *Caracterización morfológica in situ de ojushte (Brosimum alicastrum Swartz) y su incidencia en la selección de germoplasma de alto potencial nutricional en El Salvador*. Disertación Doctoral Universidad de El Salvador.
- Moya-Roque R, Tenorio-Monge C. 2013. Características de combustibilidad de diez especies de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* **10**: 26-33.
- Niembro A, Vázquez M, Sánchez O. 2010. *Árboles de Veracruz: 100 especies para la reforestación estratégica*. Xalapa. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución, Centro de Investigaciones Tropicales.
- NOM-059-SEMARNAT-Semarnat, 2010. *Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- Ochoa-Gaona S, de la Cruz-Arias V. 2002. La distribución y fenología de la flora arbórea del estado de Tabasco con base en la información de herbario. *Universidad y Ciencia* **18**: 114-127
- Palma-López DJ, Cisneros JD, Moreno E, Rincón-Ramírez JA. 2007. *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Villahermosa. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB.
- Pennington T, Sarukhán J. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica.
- Quiroz-Carranza J, Orellana R. 2010. Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques* **16**: 47-67.

- Retana-Guiascón O, Aguilar-Nah M, Niño-Gómez G. 2011. Uso de la vida silvestre y alternativas de manejo integral: El caso de la comunidad maya de Pich, Campeche, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **14**: 885-890.
- Rivers M, Bachman S, Meagher T, Lughadha E, Brummitt N. 2010. Subpopulations, locations and fragmentation: applying IUCN red list criteria to herbarium specimen data. *Biodiversity and Conservation* **19**: 2071-2085.
- Rivers M, Taylor L, Brummitt N, Meagher T, Roberts D, Lughadha E. 2011. How many herbarium specimens are needed to detect threatened species? *Biological Conservation* **144**: 2541-2547.
- Rudd VE. 1968. *Contributions from The United States National Herbarium (LEGUMINOSAE)*. Arch. Jard. Bot. Rio de Janeiro 3: 137. 1992. TYPE: Brazil, Amazonas: LagoTeffem Duke 7345 (BM, isotype, not seen). Washington DC. Smithsonian Institution Press. p. 519.
- Ruiz-Álvarez O, Arteaga-Ramírez R, Vázquez-Peña MA, Ontiveros CRE, López-López R. 2012. Balance hídrico y clasificación climática del Estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* **28**: 1-14.
- Ruiz BI (ed). 2002. *Manual de reforestación para América Tropical*. San Juan. United States Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. General Technical Report IITF-GTR-18.
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Ciudad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sabogal C, Guariguata MR, Broadhead J, Lescuyer G, Savilaakso S, Essoungou JN, Sist P. 2013. *Manejo forestal de uso múltiple en el trópico húmedo; oportunidades y desafíos para el manejo forestal sostenible*. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Bogor, Indonesia, Centro Internacional de Investigación Forestal FAO Forestry Paper No. 173.
- Sánchez-Munguía A. 2011. *Tabasco naturaleza en agonía causas del calentamiento estatal: un análisis geográfico*. Villahermosa. Colección José N. Rovirosa. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Santos PL, Ferreira RA, Aragão AGD, Amaral LA, Oliveira AS. 2012. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de sementeira direta para recuperação de áreas degradadas. *Revista Árvore* **36**: 237-245.

- Sautu A, Baskin JM, Baskin CC, Condit R. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology and Management* **234**: 245-263.
- Sautu A, Baskin JM, Baskin CC, Deago J, Condit R. 2007. Classification and ecological relationships of seed dormancy in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Seed Science Research* **17**: 127-140.
- SEMARNAT 2015. *Manual para el manejo de germoplasma forestal*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México: Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Economía, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.
- SEMARNAT-CONAFOR 2013. *Inventario estatal forestal y de suelos*. Guadalajara. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional forestal (Conafor).
- Streed E, Nichols JD, Gallatin K. 2006. A financial analysis of small-scale tropical reforestation with native species in Costa Rica. *Journal of Forestry* **104**: 276-282.
- Trucíos R, Estrada J, Delgado G, Rivera M, Cerano J. 2013. SIG para manejo de recursos naturales. *Agrofaz* **13**: 133-146.
- Van Breugel M, Hall JS, Craven DJ, Gregoire TG, Park A, Dent DH, Wishniea MH, Mariscal E, Deago J, Ibarra D, Cedeño N. 2011. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management* **261**: 1580-1589.
- Vargas-Simón G, Molina-Martínez R, Moguel-Ordoñez E. 2003. Caracterización del fruto, semilla y estudios de germinación del guapaque (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith.). *Universidad y Ciencia* **38**: 77-83.
- Vázquez-Yanes C, Batis BIM, Alcocer MI, Sánchez-Dirzo C. 1999. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Reporte Técnico del Proyecto J084. Ciudad de México. CONABIO. Instituto de Ecología. UNAM.
- Villanueva-López G, Martínez-Zurimendi P, Ramírez-Avilés L, Aryal DR, Casanova-Lugo F. 2016. Live fences reduce the diurnal and seasonal fluctuations of soil CO₂ emissions in livestock systems. *Agronomy for Sustainable Development* **36**: 23.

- Viveros H, Hernández J, Velasco M, Robles R, Ruiz C, Aparicio AA, Martínez M, Hernández J, Hernández M. 2015. Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencia Forestal* **6**: 52-65.
- Walters C, Berjak P, Pammenter N, Kennedy K, Raven P. 2013. Preservation of recalcitrant seeds. *Science* **339**: 915-916.
- Wilcox DA, Whillans TH. 1999. Techniques for restoration of disturbed coastal wetlands of the Great Lakes. *Wetlands* **19**: 835-857.
- Zavala-Cruz J, Jiménez-Ramírez R, Palma-López D, Bautista-Zúñiga F, Gavi-Reyes F. 2016. Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* **3**: 161-171. doi:<http://dx.doi.org/10.19136/era.a3n8.643>.

CAPÍTULO 2 Germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx*, una especie forestal tropical amenazada



Este capítulo reproduce íntegramente el texto del Artículo publicado:

Vargas-Simón G, Domínguez-Domínguez M, Martínez-Zurimendi P, Pire R. 2017.

Seed germination in *Ormosia macrocalyx*, an endangered tropical forest tree.

Botanical Sciences **95**: 329-341 DOI: 10.17129/botsci.823

CAPÍTULO 2. Germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx*, una especie forestal tropical amenazada

2.1. Resumen

Ormosia macrocalyx es una especie tropical amenazada. Sus semillas tienen problemas de dispersión y aparente latencia física por cubierta seminal dura. Las hipótesis son: Las etapas de maduración de los frutos de *Ormosia macrocalyx* repercutirán en el comportamiento germinativo de sus semillas; los tratamientos pregerminativos mejorarán el proceso germinativo de las semillas almacenadas en refrigeración. Se establecieron dos experimentos para analizar el proceso de la germinación: 1) Evaluación de la germinación en semillas de frutos en tres estados de madurez (cerrados, semi-abiertos y abiertos); y 2) Aplicación de cuatro tratamientos, tres pregerminativos (remojo en agua por 24 h, escarificación mecánica y escarificación mecánica+ácido giberélico al 1 %) más un testigo, en semillas almacenadas bajo refrigeración por 17 meses. Se identificaron diferencias estadísticas entre los tratamientos del Experimento 1), en la tasa de germinación (TG), tasa de germinación corregida (TGC) y días para alcanzar el 50 % de germinación (T_{50}), con semillas de frutos abiertos los cuales presentaron una menor respuesta (3.31 \% día^{-1} para TG y TGC y 15.8 días para T_{50}), aunque todos los tratamientos mostraron tiempos similares en el inicio de la germinación (IG) y en el porcentaje de germinación final (PG). En el Experimento 2), la escarificación tuvo mayor efecto que los demás tratamientos. Sus valores fueron 68.0 % (PG), 12.0 días (IG), 4.53 \% día^{-1} (TG), 6.65 (TGC) y 14.5 días (T_{50}). La adición del ácido giberélico no promovió mayor ventaja sobre la escarificación sola. Se concluye que las semillas de frutos abiertos tienden a ser más lentas en la germinación, aunque el PG final no es afectado. Las semillas almacenadas presentan latencia física, pierden viabilidad con el almacenamiento, tanto si han sido almacenadas, como si se colectan después de permanecer adheridas al árbol por tiempo indefinido, la escarificación puede mejorar su germinación.

Palabras clave: maduración de frutos, latencia, tratamientos pregerminativos, almacenamiento

2.2. Abstract

Ormosia macrocalyx is a tropical forest tree classified as endangered. Its seeds experience problems of dispersion and apparent physical dormancy due to their hard seed coating. The hypotheses are: 1) The stages of dehiscence of the fruits of *Ormosia macrocalyx* influence the germinative behavior of its seeds. 2) Pregerminative treatments will improve the germination process of the seeds stored under refrigeration. Two completely randomized experiments were conducted in order to analyze the germination process by 1) evaluating germination in seeds from fruit at three stages of dehiscence (closed, semi-open, and open fruit) and 2) applying four treatments, including three pregerminative treatments (water soaking for 24 h, mechanical scarification and scarification+1% gibberellic acid) plus an untreated control, to seeds stored under refrigeration for 17 months. Differences were found in germination rate (GR), corrected germination rate (CGR) and time to attain 50 % germination (T_{50}) among treatments in the first experiment, with the seeds from open fruits presenting the lowest response (3.31 % day⁻¹ for GR and CGR, and 15.8 days for T_{50}), although all treatments showed similar times for the initiation of germination (GI) and final germination percentage (GP). In the second experiment, the effect of scarification was greater than both the control and soaking treatments. Scarification treatment values were 68.0 % (GP), 12.0 days (GI), 4.53 % day⁻¹ (GR), 6.65 (CGR) and 14.5 days (T_{50}). Addition of gibberellic acid did not produce any further advantage over scarification alone. Seeds from open fruits have lower germination rates, although the final GP is not affected. Stored seeds present physical dormancy but lose viability with storage and, when collected after remaining attached to the tree for undefined periods, scarification can greatly improve their germination rate.

Additional key words fruit maturation, dormancy, pregerminative treatments, storage

2.3. Introducción

Los bosques tropicales han sufrido un alto grado de deforestación (Huerta *et al.* 2014) y algunas de sus especies actualmente están en varias categorías de riesgo. Un ejemplo de ello es *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae: Papilionoideae), una especie arbórea nativa de las zonas tropicales de América Latina (Rudd 1968a), que en México está clasificada como amenazada (SEMARNAT 2010). Esta especie se encuentra en los bosques altos y medianos perennifolios, también en bosques inundables y como vegetación secundaria asociada con ecosistemas que presentan diversidad de especies arbóreas (Ochoa-Gaona *et al.* 2008b, Pérez-Hernández *et al.* 2011). Los individuos de *O. macrocalyx* pueden alcanzar hasta 50 m de altura y entre 35 y 60 cm de diámetro normal (Ochoa-Gaona *et al.* 2008b). La madera de esta especie es utilizada para elaboración de muebles, construcción, durmientes (traviesas) de ferrocarril y canoas (Rudd 1968a, Román *et al.* 2012). Los árboles proveen sombra para el ganado y las semillas son usadas para joyería artesanal (Ochoa-Gaona *et al.* 2008a, Baigts 2009). Sus frutos tienen 10 cm de largo x 3 cm de ancho, son dehiscentes, de color pardo, coriáceos, y contienen de 1 a 6 semillas (normalmente 2 o 3) (Rudd 1968b). Las semillas tienen de 10 a 13 mm de largo, 10 mm de ancho y 7- 8 mm de grosor, con un color rojo brillante (Rudd 1968b, Ochoa-Gaona *et al.* 2008a). *Ormosia macrocalyx* puede jugar un papel importante en la captura de CO₂: Elias y Potvin (2003) demostraron que esta especie fija un 44.4% de C en el tronco, existiendo una relación directamente proporcional con el incremento en su diámetro normal. Cernusak *et al.* (2011) encontraron que *O. macrocalyx* puede alcanzar altas tasas de nodulación (48.9 mg·g⁻¹) en suelos sin fertilizar y una relación positiva entre la fijación de N₂ y la tasa de nodulación; los autores infieren que este árbol tiene mayor tasa de fijación de N₂ en comparación con otras leguminosas. Ellos estiman que la proporción de nitrógeno de la planta adquirido por esta vía es de 84 %.

Las semillas de leguminosas presentan una latencia física distintiva debido a su cubierta seminal dura e impermeable por contener capas de esclereidas (Baskin y Baskin 2004). El rompimiento de latencia requiere la fragmentación de la cubierta utilizando agua caliente, escarificación química o mecánica. Por ejemplo, *Ormosia arborea* Harms requiere inmersión durante 15 min en ácido sulfúrico para obtener 91 % de germinación (Silva *et al.* 2014), mientras que *Ormosia nitida* Prain requiere 10

min en el ácido, para conseguir 96.25 %, o escarificación mecánica para lograr 93.75 % de germinación (Lopes *et al.* 2006).

Los estudios de fisiología y propagación de *O. macrocalyx* son escasos en México; una evaluación de la germinación en el campo y bajo condiciones de vivero produjo germinación media de 75% después de 100 días (Pérez-Hernández *et al.* 2011). Datos similares fueron registrados por Foster y Delay (1998) para la misma especie bajo condiciones de vivero, el proceso mejoró cuando las semillas fueron escarificadas en la región hilar, promoviendo 100% de germinación en el décimo día. Las semillas sin tratamiento muestran 41.1 % de germinación (Foster 2008).

Es un hecho notable que las semillas de esta especie permanecen adheridas al fruto por un largo período de tiempo, posiblemente de igual manera que *O. arborea*, cuyas semillas permanecen en la planta madre por alrededor de dos años o más; estudios conducidos en algunas Papilionoideae demostraron la regulación genética de la abscisión del fruto (Couzigou *et al.* 2016). Foster y Delay (1998) afirman que las semillas miméticas de *O. macrocalyx* engañan a las aves de la familia Psittacidae para la dispersión, lo cual sucede cuando los frutos suculentos o jugosos escasean. Estos autores consideran que la dispersión más importante sucede por aves y roedores, aunque mencionan que estos dispersores parecen ser insuficientes por sí solos para mantener las poblaciones.

El hecho de que las semillas permanezcan unidas al fruto en el árbol por un período largo de tiempo representa un obstáculo para la propagación exitosa de la especie, ya que la respuesta germinativa puede ser variable y dependerá de la edad de la semilla. Dado que existe una baja lluvia de semillas, no puede crearse un banco de semillas adecuado; se sabe que una estrategia apropiada para la restauración de paisajes degradados es la recolonización de la flora nativa a través de bancos de semillas (Abiyu *et al.* 2016), el cual es definido como la cantidad de semillas maduras y viables depositadas en la superficie del suelo. Idealmente, este banco de semillas debe ser abundante para obtener una alta producción de plántulas y garantizar la permanencia de la especie y es también un mecanismo necesario para la sucesión secundaria (Martins y Engel 2007). Otra característica aparente es que las semillas de *O. macrocalyx* presentan latencia física (Sautu *et al.* 2006).

El establecimiento de especies nativas en áreas degradadas es una opción importante para contrarrestar el problema de la pérdida de biodiversidad. Estas especies pueden participar en la recuperación del suelo y en el establecimiento de flora nativa y fauna debido al hecho de que están bien adaptadas al ambiente. Además, con un manejo adecuado pueden brindar beneficios económicos y ecológicos a corto, mediano y largo plazo (Moya-Roque y Tenorio-Monge 2013, Casermeiro *et al.* 2015). Las semillas de especies nativas están disponibles para los pequeños productores, los costos de producción serían menores y se evitaría la dependencia de los distribuidores (Vázquez-Yanez *et al.* 1999, Casermeiro *et al.* 2015). Sin embargo existen limitaciones para su uso tales como la ausencia de información técnica sobre la biología de la semilla y su manejo en vivero (Britos *et al.* 2013). Los estudios de factibilidad para conservar la diversidad genética y la viabilidad de las semillas de especies nativas son esenciales para satisfacer la demanda de plántulas para propósitos comerciales, reforestación o restauración (Dresch *et al.* 2014).

En términos generales, tanto el fruto como la semilla deben estar maduros, la desecación es un indicativo de la maduración y en esta condición las semillas responden favorablemente a la germinación (Srimathi *et al.* 2013, Silva *et al.* 2015); en frutos dehiscentes, el proceso siguiente es la apertura del fruto, la cual es una característica evolutiva que permite la dispersión de las semillas y ocurre cuando los frutos se han secado completamente (McAtee *et al.* 2013). En leguminosas, el proceso está acompañado por la lignificación de la cubierta del fruto, esto es para evitar daños a las semillas por exceso de humedad y les permite mantenerse latentes hasta que las condiciones ambientales sean favorables (Smýkal *et al.* 2014).

Debido a la alta importancia ecológica y económica de *O. macrocalyx*, este estudio se lleva a cabo para generar conocimientos relacionados con el comportamiento germinativo, así como para generar información que puede contribuir a la reforestación, restauración o programas de conservación que involucren a este árbol, especialmente en vista de la escasez actual de estudios sobre la fisiología de sus semillas.

Este estudio considera dos hipótesis: 1) Las etapas de dehiscencia de los frutos de *Ormosia macrocalyx* repercutirán en el comportamiento germinativo de sus

semillas; 2) Los tratamientos pregerminativos mejorarán el proceso germinativo de las semillas almacenadas en refrigeración.

2.4. Materiales y métodos

Este estudio se efectúa en dos experimentos independientes: 1) evaluación de la relación entre la madurez del fruto y la tasa de germinación de las semillas, y 2) revisión de la respuesta germinativa de semillas almacenadas en refrigeración durante 17 meses, sujetas a cuatro tratamientos (tres tratamientos pregerminativos y un control sin tratamiento). Para ambos experimentos se utilizaron frutos y semillas cosechados en el campo experimental de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (17°59' N; 92°58' W), Villahermosa, Tabasco, México. El clima del sitio es cálido húmedo (Am), de acuerdo a García (1981), con una precipitación media anual de 1954 mm.

2.4.1. Experimento 1. Efecto de la madurez del fruto

Se cosecharon frutos estacionales en tres estados de madurez: cerrados, semi-abiertos (3 mm de apertura) y abiertos. En todos los casos, el fruto estaba seco y con una apariencia pardo-grisácea, las semillas se sembraron inmediatamente en charolas de poliestireno, cada cavidad con un volumen de 8 mL, conteniendo peat moss como sustrato. Se consideró a la semilla germinada cuando los cotiledones de almacenamiento emergieron de la superficie del sustrato. La prueba duró 30 días.

2.4.2. Experimento 2. Efecto de tratamientos pregerminativos

Las semillas se tomaron de los frutos abiertos y se colocaron en refrigeración a 4 °C durante 17 meses, previamente empacadas en bolsas de papel y dentro de un contenedor de latón sellado. Las semillas se pusieron en cajas Petri de 15 cm de diámetro, usando papel toalla para mantener la humedad. Los tratamientos consistieron en: control (sin tratamiento); remojo en agua durante 24 h; escarificación mecánica por 5 segundos mediante lijado (lija de madera de grano mediano: 100-120); escarificación mecánica con lija + aplicación de AG₃ (ácido giberélico al 1%) a la siembra. En todos los casos, la escarificación se aplicó en la región chalazal para evitar el daño al embrión. El experimento duró 60 días.

2.4.3. Germinación

La germinación se clasificó de acuerdo a Lobo *et al.* (2014). Ambos experimentos (1 y 2) se establecieron en condiciones de laboratorio a temperaturas máximas de 28.4 ± 2.1 °C y mínimas de 26.2 ± 1.6 °C, bajo luz artificial (5 μmol m⁻² s⁻²), 6 h de luz/18 h oscuridad. Las variables evaluadas fueron porcentaje de germinación (PG);

velocidad de germinación (VG): curva acumulada de PG vs tiempo; inicio de germinación (IG): número de días requeridos para que el proceso de germinación inicie; tasa de germinación: $\sum(PG/X)$, donde PG = porcentaje de germinación en cada día de evaluación y X = día de evaluación; tasa de germinación corregida (TGC): $100 \times TG/PGF$, donde PGF corresponde a PG final (Dewir *et al.* 2011) y T₅₀: número de días requeridos para alcanzar el 50% de las semillas que germinaron (Kodde *et al.* 2012).

2.4.4. Análisis estadístico

El experimento 1 se condujo utilizando un diseño completamente aleatorio con 5 repeticiones, cada una de 20 semillas, para cada estado de madurez de los frutos (3), el número total de semillas fue 300. El experimento 2 comprendió 4 tratamientos en un diseño completamente aleatorio con 4 repeticiones de 25 semillas cada uno (400 semillas en total). Los resultados fueron analizados con un ANOVA y prueba de medias Tukey, utilizando el software Statistix v.8 (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA). Antes del análisis, los datos de porcentaje fueron transformados siguiendo la función arcoseno, con el objetivo de normalizar la distribución de los datos.

2.5. Resultados

2.5.1. Experimento 1. Efecto de la madurez del fruto

La germinación de *O. macrocalyx* se considera epígea fanerocotilar con cotiledones de reserva (Lobo *et al.* 2014). La germinación inicia con la elevación de los cotiledones de reserva, protegidos por la cubierta seminal. La cubierta es subsecuentemente eliminada y el epicótilo emerge con un par de paracotiledones foliáceos verde brillantes, opuestos, ovados, de margen entero, base redondeada y ápice largamente acuminado (paracotiledones, término descrito por de Vogel (1980) (Figura 2.1).



Figura 2.1. Plántulas de *Ormosia macrocalyx*, mostrando la radícula, hipocótilo y cotiledones de reserva (a), epicótilo y paracotiledones (b,c).

El porcentaje de germinación es ≥ 97 % en todos los tratamientos de frutos maduros (media, 99%), no existen diferencias significativas entre tratamientos

(Tukey, $P > 0.05$) ($F_{2,12} = 2.54$) (Tabla 2.1). Tampoco se encuentran diferencias estadísticas en el número de días requeridos para el inicio de la germinación (IG) ($F_{2,12} = 2.43$), porque las semillas inician el proceso prácticamente al mismo tiempo (10 u 11 días después de la siembra). No obstante la tasa de germinación y la tasa de germinación corregida, las cuales reflejan el vigor de las semillas durante la germinación, es baja para las semillas de frutos abiertos (Tukey, $P \leq 0.05$) ($F_{2,12} = 23.1$; $F_{2,12} = 27.1$). Lo mismo ocurre en T_{50} , ya que las semillas de frutos abiertos tardan 4 días más para alcanzar ese valor y presentan el menor porcentaje de germinación, alcanzando el valor máximo en el día 26, 10 días después que las semillas de frutos cerrados y semi-cerrados ($F_{2,12} = 7.44$) (Figura 2.2).

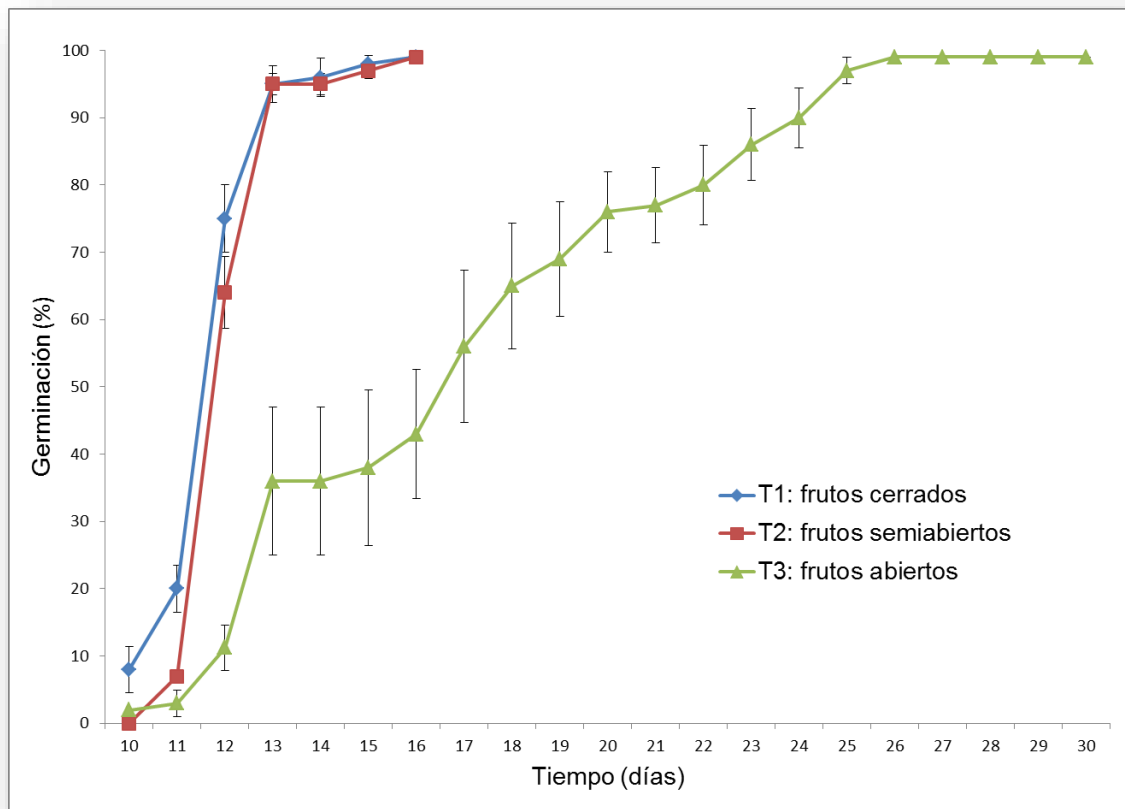


Figura 2.2. Germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx* en función del tiempo de acuerdo a la dehiscencia del fruto. Las barras verticales representan el error estándar (donde no se muestran es porque su longitud es menor al tamaño del marcador).

Tabla 2.1. Efecto de la madurez en la germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx*

Tratamientos	PG	IG (días)	TG (% día ⁻¹)	TGC (% día ⁻¹)	T ₅₀ (días)
Semillas de frutos cerrados	100 ± 0.0 a	10.2 ± 0.4 a	8.3 ± 0.1 a	8.3 ± 0.1 a	12.0 ± 0.0 a
Semillas de frutos semi-abiertos	97.0 ± 4.4 a	10.6 ± 0.5 a	7.8 ± 0.1 a	8.0 ± 0.1a	12.0 ± 0.0 a
Semillas de frutos abiertos	100 ± 0.0 a	11.4 ± 1.3 a	6.0 ± 0.8 b	6.0 ± 0.6 b	15.8 ± 3.1 b

PG: porcentaje de germinación; IG: inicio de la germinación; TG: tasa de germinación; TGC: tasa de germinación corregida; T₅₀: tiempo para obtener 50 % del porcentaje de germinación final. Medias en cada columna seguidas de letras diferentes, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

2.5.2. Experimento 2. Efecto de tratamientos pregerminativos

El más alto porcentaje de germinación se obtuvo en los tratamientos de escarificación mecánica o con la combinación de este con el ácido giberélico, presentando valores de 68.0% en el primero y 61.3 % en el segundo (Tabla 2.2). Esto indica que, después de 17 meses de almacenamiento, las semillas de *O. macrocalyx* muestran un decremento en el porcentaje de germinación comparado con las semillas del mismo tipo de frutos cuando no fueron almacenados (PG ≥ 97 %).

Los tratamientos de escarificación mecánica, sólo o combinado con ácido giberélico, mostraron la tasa más alta de germinación y el menor tiempo requerido para inicio de la germinación y T₅₀ (F_{3,9}=38.1) (Figura 2.3). Ambos tratamientos fueron diferentes significativamente (Tukey P≤0.05) del control y de las semillas que fueron remojadas por 24 horas (F_{3,9}=22.7) (Tabla 2.2).

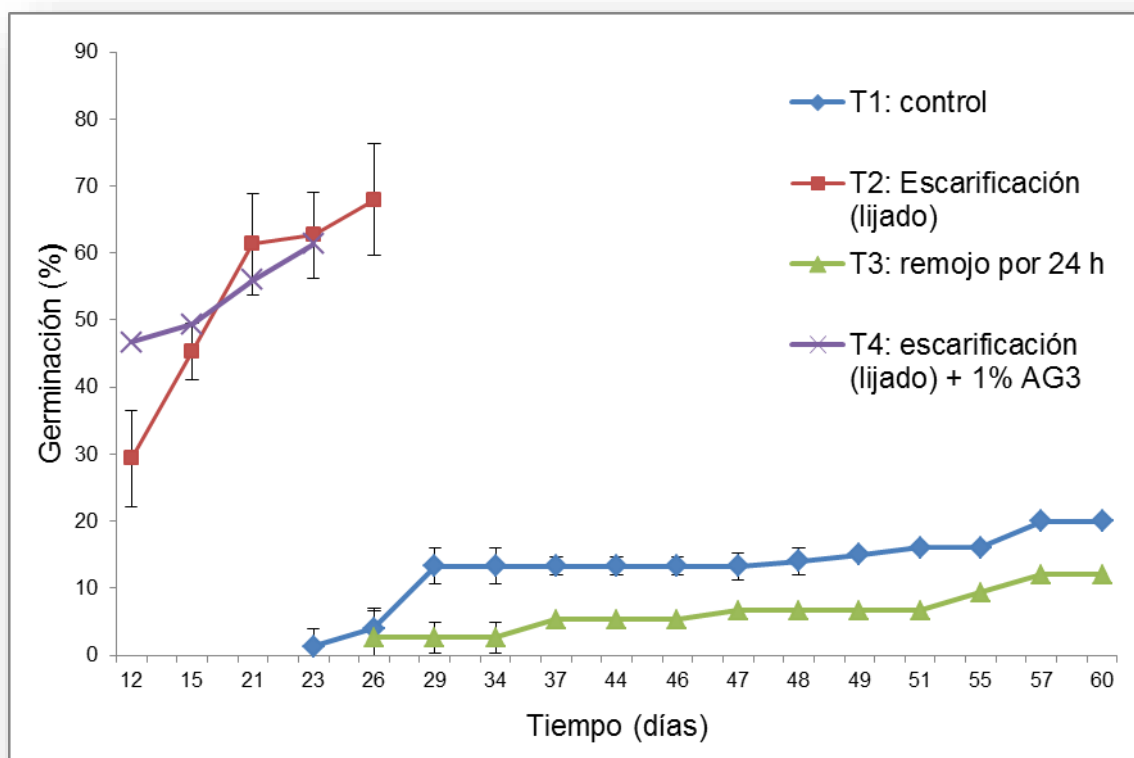


Figura 2.3. Germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx* en función del tiempo bajo tres tratamientos pregerminativos. Las barras verticales representan el error estándar (donde no se muestran es porque su longitud es menor al tamaño del marcador).

La tasa de germinación tiende a mostrar bajos valores comparados a los encontrados en el experimento 1, mientras que la tasa de germinación corregida en relación al porcentaje de germinación se incrementó notablemente con respecto a la tasa de germinación inicial (en semillas no almacenadas). En general los valores registrados fueron bajos. No se encontraron diferencias entre el control y el tratamiento de remojo en ninguna de las variables (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Efecto de tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx*.

Tratamientos	PG	IG (días)	TG (% día ⁻¹)	TGC (% día ⁻¹)	T ₅₀ (días)
Control	20.0 ± 4.0 b	26.0 ± 2.4 a	0.6 ± 0.1 b	3.0 ± 0.1b	28.0 ± 1.7 a
Escarificación mecánica (lijado)	68.0 ± 14.4 a	12.0 ± 0.0 b	4.5 ± 1.0 a	6.6 ± 0.2 a	14.0 ± 3.4 b
Remojo en agua por 24 h	12.0 ± 4.0 b	28.6 ± 3.7 a	0.3 ± 0.0 b	2.7 ± 0.3 b	29.6 ± 6.3 a
Escarificación mecánica (lijado) + AG ₃ (1 %)	61.0 ± 12.6 a	12.0 ± 0.0 b	4.5 ± 1.0 a	7.5 ± 0.2 a	12.0 ± 0.0 b

PG: porcentaje de germinación; IG: inicio de la germinación; TG: tasa de germinación; TGC: tasa de germinación corregida; T₅₀: tiempo para obtener 50 % del porcentaje de germinación final; AG₃ (Ácido giberélico). Medias en cada columna seguidas de letras diferentes, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

2.6. Discusión

2.6.1. Experimento 1. Efecto de la madurez del fruto

Ormosia macrocalyx mostró la germinación epigea fanerocotilar similar a otras especies del mismo género, *Ormosia fastigiata* Tul. y *Ormosia discolor* Benth, pero distinta de *O. arborea*, la cual presenta una germinación semi-hipógea (Lobo *et al.* 2014). Se ha demostrado que las plántulas epigeas producen biomasa aérea más rápidamente que las plántulas hipógeas (Ibarra-Manríquez *et al.* 2001). Asimismo, *O. macrocalyx* posee dos tipos de cotiledones, conocidos como de reserva y foliares (paracotiledones), los primeros son la principal fuente de reservas energéticas y los posteriores, los responsables de la fotosíntesis. Estos resultados muestran la gran capacidad de estas semillas para adaptarse al ambiente, comparadas con otras especies tropicales (Soriano *et al.*, 2013). Sin embargo, otros factores tales como la predación y la humedad de suelo juegan un papel importante en la supervivencia cuando se encuentran en condiciones de campo (Pérez-Hernández *et al.* 2011).

Semillas recién formadas de *O. macrocalyx* de frutos cerrados (T1) no requieren tratamientos pregerminativos y muestran altos valores de germinación, tal y como lo describen Bewley *et al.* (2013), haciendo referencia a que las semillas de este tipo de frutos alcanzan su madurez fisiológica, lo que va seguido por un aumento en su habilidad para germinar rápidamente, interpretado como un incremento en su vigor. Pérez-Hernández *et al.* (2011) encontraron resultados similares: tanto en campo como en vivero, la germinación fue de 75 y 87 %, respectivamente. No obstante, debido a la presencia de la cubierta seminal dura, las semillas bajo latencia física tuvieron tasas de germinación menores al 1 % (Foster y Delay, 1998) o para germinar requirieron tratamientos pregerminativos (Baskin y Baskin, 2004). Norsworthy y Oliveira (2009) afirman que las semillas leguminosas pueden ser permeables cuando las macroesclereidas se encuentran en la región hilar y pueden ser fragmentadas como un resultado de altas temperaturas. En el caso de *O. macrocalyx*, esta región se caracteriza por una hendidura hilar fracturada en semillas recién formadas, y por la presencia del lente, también conocido como estrofiolo (Figura 2.4). Se ha mostrado que estas estructuras son áreas importantes para la imbibición de agua en semillas de leguminosas (de Paula *et al.* 2012). Las altas temperaturas también pueden degradar a los lípidos de la cubierta seminal,

facilitando la permeabilidad al agua (Zeng *et al.* 2005), un proceso que ayuda al adelgazamiento del tejido en esa región seminal (Varela y Albornoz 2013).

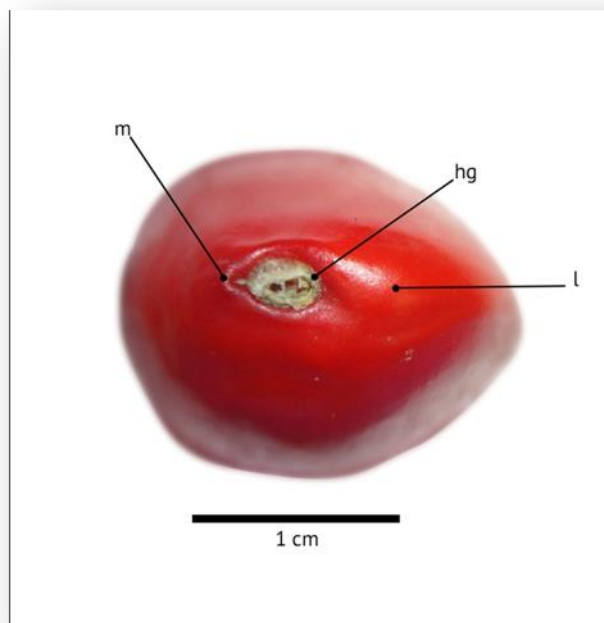


Figura 2.4. Semilla de *Ormosia macrocalyx* mostrando el micrópilo (m), lente (l) y hendidura hilar (hg).

La tasa de germinación fue similar o más alta a las registradas en *O. nitida* ($0.54 \% \text{ día}^{-1}$) y *Bauhinia cheilantha* (Bong) D.Dietr. ($3.53 \% \text{ día}^{-1}$) (Lopes *et al.* 2006, Arruda *et al.* 2015). Cabe destacar que estas tasas son inversamente proporcionales al tiempo transcurrido desde la siembra al inicio de la germinación. En este estudio, la germinación inició a los 10 días en todos los tratamientos (Tabla 2.1) y las tasas correspondientes fueron bajas: $8.3 \% \text{ día}^{-1}$ para frutos cerrados, $7.8 \% \text{ día}^{-1}$ semi-abiertos y $6.0 \% \text{ día}^{-1}$ para frutos abiertos, pero similares a los obtenidos con los frutos pardo-amarillentos de *Dalbergia cochichinensis* Pierre (8.17%) (Hung 2003), a diferencia de Arruda *et al.* (2015) quienes obtienen tasas de germinación de $38.43 \% \text{ día}^{-1}$ en *Acacia polyphylla* DC., y $31.19 \% \text{ día}^{-1}$ en *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, ambas Fabaceae. Las semillas de *O.*

macrocalyx sin tratamiento pregerminativo, germinan después de 10-11 días (Tabla 2.1), lo que representa un periodo relativamente corto para esta especie, aunque similar a lo registrado por diferentes autores para *O. macrocalyx* (Sautu *et al.* 2007, Pérez-Hernández *et al.* 2011, Román *et al.* 2012).

Se registran diferencias estadísticas en la tasa de germinación entre los tratamientos y T_{50} , con los valores más bajos registrados en semillas de frutos abiertos (Tabla 2.1). La diferencia en el tiempo de germinación entre este tipo de semillas y otras agrícolas es notoria. Por ejemplo, la T_{50} más baja de esta especie (12.0 días) fue superior que en semillas de leguminosas cultivadas, que pueden germinar 50% en menos de 3 días sin tratamiento germinativo en *Glycine max* (L.) Merr. (Sadeghi *et al.* 2011) y *Phaseolus vulgaris* L. (Bayuelo-Jiménez *et al.* 2002).

Las semillas de *O. macrocalyx* de frutos completamente abiertos, están expuestas al ambiente, presentando un retraso importante en el inicio de la germinación (casi 4 días) en comparación con las de frutos cerrados y semi-abiertos. Tomando en consideración la aseveración propuesta por Dam *et al.* (2009) que el fruto y las semillas pasan a través de fases histológicas de diferenciación, llenado de semillas y deshidratación, nuestros resultados sugieren que los frutos secos pero aún cerrados, contienen semillas con embriones maduros y viables. Una vez que los frutos están abiertos (dehiscencia), sus semillas están sujetas a la deshidratación, lo que promueve la dispersión, con el consecuente desarrollo de la latencia seminal (Silva *et al.* 2014). La latencia en semillas es una estrategia natural que maximiza la probabilidad de establecimiento de plántulas, limita las oportunidades de la germinación en un término corto y evita la germinación cuando las condiciones son desfavorables (Moïse *et al.* 2005, Baskin *et al.* 2006, van Klinken *et al.* 2013).

Anatómicamente las células de la cubierta seminal lignificada reducen la permeabilidad (Hudson *et al.* 2015). La condición de permanencia de las semillas en el fruto se considera un banco aéreo de semillas, tal y como se describe en *Parkia pendula* Benth. ex Walp. (Fabaceae), donde algunas de las semillas se dispersan en la madurez mientras que el resto permanece en el árbol, unido a las vainas péndulas (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado 2009). Esto sirve para dispersar las semillas durante un período de tiempo, reduciendo así el impacto de la depredación, también proporcionando un período de permanencia en el suelo hasta que las condiciones ambientales sean favorables para la germinación (de Oliveira *et al.* 2006).

2.6.2. Experimento 2. Efecto de tratamientos pregerminativos

Cuando se aplican los tratamientos pregerminativos a las semillas previamente almacenadas, se obtiene un porcentaje de germinación de 68%, en comparación con el 20% del tratamiento control. En otros estudios, la escarificación de las semillas promueve el 100% de germinación en *O. macrocalyx* (Foster y Delay 1998), 95 % en *O. nitida* (Lopes *et al.* 2006) y más del 90 % en *O. arborea* (Marques *et al.* 2004, Gonçalves *et al.* 2011). No obstante, otros autores han obtenido germinaciones de 22.75 % para *O. nitida* (Basqueira *et al.* 2011); esta respuesta baja se atribuyó a la presencia de compuestos fenólicos en la semilla. De manera similar, Mews *et al.* (2012) encontraron que semillas escarificadas de *Ormosia paraensis* Ducke, germinaron en un 28.4 %, y sugirieron que la abrasión pudo haber afectado la viabilidad del embrión.

En la tasa de germinación corregida, que es un ajuste del porcentaje de germinación (aunque se observa un incremento marcado con respecto a la tasa de germinación original), los valores permanecen moderadamente bajos: 4.53 y 4.59 % día⁻¹, incluso para los mejores tratamientos en este experimento (Tabla 2.2). Beikmohammadi *et al.* (2012) reportan tasas superiores de germinación (13.2 % día⁻¹) en la leguminosa *Colutea buhsei* (Boiss.) Shapar.

En cuanto al inicio de germinación, Mews (2012) determinó que *O. paraensis* requiere sólo de 28 días para iniciar la germinación en semillas escarificadas, comparado a los 35 días que se obtuvo en este estudio en el control; tiempos de germinación aún más cortos fueron registrados en semillas de *O. nitida* (7.8 días) (Lopes *et al.* 2006) y *O. arborea* (11 días) (Marques *et al.* 2004). Estos resultados indican que se requiere escarificación para fracturar las células de esclereidas de las cubiertas seminales de las especies de *Ormosia* e iniciar la germinación; un tratamiento común para semillas de leguminosas que presentan latencia profunda debido a la cubierta dura (Mantoan *et al.* 2012, Freitas *et al.* 2013).

En el caso de los tratamientos control y remojo en agua, hubo retrasos en el inicio de germinación y el tiempo de iniciación del proceso fue más largo que en las semillas escarificadas (Tabla 2.2). Una posible explicación para este retraso sería la lenta imbibición de agua y del intercambio gaseoso, lo cual conlleva que la emergencia de la radícula sea obstaculizada, como lo describen Baskin y Baskin (2004), Finch-Savage y Leubner-Metzger (2006). Esta respuesta sugiere que el

almacenamiento en seco promueve la latencia de la semilla (Baskin *et al.* 2006), lo que representa una estrategia benéfica para evitar el inicio de la germinación bajo condiciones de clima seco (Gremer y Sala 2013).

La combinación de la escarificación mecánica y la aplicación del ácido giberélico como un tratamiento pregerminativo produjo en las semillas de *O. macrocalyx* una respuesta similar a la obtenida con el uso de la escarificación sola. Linkies y Leubner-Metzger (2012) y Zhang *et al.* (2012) describen la escarificación como la ruptura de la cubierta seminal que permite que el intercambio químico ocurra, disparando el proceso germinativo, mientras que el ácido giberélico rompe la latencia fisiológica mediante el alargamiento del eje embrionario. Una tasa de germinación baja ($<23\% \text{ día}^{-1}$) se observó en semillas de *O. arborea* tratadas con una concentración de $\text{GA}_3 \leq 20 \text{ mg L}^{-1}$ (Curiel y Moraes 2011), mientras que en *C. buhsei* se obtuvo una respuesta de germinación similar a la de este estudio (66.2 %), cuando aplicaron ácido sulfúrico concentrado y ácido giberélico (100 mgL^{-1}) combinados (Beikmohammadi *et al.* 2012).

En este experimento, el porcentaje de germinación más alto obtenido en semillas almacenadas y escarificadas fue 68 %, no alcanzando los altos valores obtenidos en el primer experimento, donde se obtuvo casi el 100 %; esta pérdida de vigor germinativo se asocia con el almacenamiento por un largo período. Hong y Ellis (1996) y Ferreira y Gentil (2003) han afirmado que la pérdida de la viabilidad de la semilla que ocurre con el almacenamiento en refrigeración, posiblemente es causada por las bajas temperaturas y la deshidratación del embrión, como en el caso de las semillas intermedias. Resultados similares se encontraron en *Coccoloba uvifera* L. (Polygonaceae) después de 15 meses (Vargas-Simón y Pire 2010) y en *Gliricidia sepium* después de 12 meses de almacenamiento bajo las mismas condiciones (Reis *et al.* 2012).

Sautu *et al.* (2006) registran una tasa de germinación de 49 % en semillas de *O. macrocalyx* almacenadas durante tres años a 20°C con un contenido de humedad de 13.5 %. En un experimento previo (datos no publicados), semillas de *O. macrocalyx* almacenadas bajo refrigeración (4°C) por 36 meses mostraron solo un 5 % de germinación después de remojarlas durante 24 h, pero después de la escarificación con lija la germinación alcanzó 58 %. Román *et al.* (2012) también demostraron que las semillas de *O. macrocalyx* pueden ser almacenadas a 20°C

durante 36 meses y permanecer viables; pero estos autores no especifican el porcentaje de germinación logrado después de este período de almacenamiento.

Los valores de germinación en este estudio confirman la efectividad de la escarificación para romper la latencia física y sugieren una pérdida de viabilidad por el incremento del tiempo de almacenamiento bajo refrigeración, factores que deben tomarse en cuenta cuando se planifique el manejo de semilla en vivero. Los estudios sobre métodos de almacenamiento de estas semillas deben promoverse, porque la supervivencia en campo por siembra directa es muy baja, menor del 4% (Pérez-Hernández *et al.* 2011). Por esta razón, las alternativas para la conservación de germoplasma de la especie deben incluir: regeneración natural asistida (restauración pasiva), protección de los remanentes del bosque tropical en los que se encuentra (Abiyu *et al.* 2016); cosecha de las semillas y producción de plantas en vivero para la subsecuente introducción al ecosistema. Considerando que es una especie tardía con requerimiento de sombra en el primer estado de su vida (Krause *et al.* 2012), puede ser trasplantada con 4 meses de edad para maximizar la posibilidad de supervivencia (Villacís *et al.* 2016).

2.7. Conclusiones

Semillas recién formadas de *O. macrocalyx*, tomadas de frutos cerrados y semi-abiertos, presentan alta germinación. Las semillas de frutos abiertos muestran menores tasas de germinación, aunque el porcentaje final no fue afectado. Cuando las semillas fueron almacenadas durante 17 meses bajo refrigeración, su viabilidad disminuye marcadamente, lo que se refleja en bajos valores en las tasas y porcentajes de germinación; además de un retraso en el inicio de la germinación y en el tiempo requerido para alcanzar el 50 % del porcentaje final de la germinación. Los porcentajes más altos se alcanzan con semillas escarificadas o con la aplicación de ácido giberélico. De esta forma, semillas colectadas de frutos no dispersados por períodos indefinidos de tiempo requieren tratamientos pregerminativos para asegurar la necesaria ruptura de la cubierta seminal para interrumpir la latencia física. Estos datos de manejo de las semillas pueden contribuir a la recuperación y conservación de *O. macrocalyx*, el cual es de un valor particular considerando la escasez de estudios en la fisiología reproductiva y propagación de esta importante especie arbórea.

2.8. Bibliografía

- Abiyu A, Teketay D, Glatzel G, Gratzner G. 2016. Seed production, seed dispersal and seedling establishment of two afro-montane tree species in an area around a church forest: implications for forest restoration. *Forest Ecosystems* **3**: 16, DOI 10.1186/s40663-016-0076-5
- Arruda DM, Brandão DO, Veloso MDM, Nunes YRF. 2015. Germinação de sementes de três espécies de Fabaceae típicas de floresta estacional decidual. *Pesquisa Florestal Brasileira* **35**: 135-142.
- Baigts CRB. 2009. Semillas utilizadas para elaborar artesanías lacandonas en Chiapas, México. *Lacandonia* **3**: 45-58.
- Baskin MJ, Baskin CC. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* **14**: 1-16.
- Baskin CC, Thompson K, Baskin JM. 2006. Mistakes in germination ecology and how to avoid them. *Seed Science Research* **16**: 165-168.
- Basqueira RA, Pessa H, Souza-Leal TD, Pedroso-de-Moraes C. 2011. Superação de dormência em *Ormosia arborea* (Fabaceae: Papilionoideae) pela utilização de dois métodos de escarificação mecânica em diferentes pontos do tegumento. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* **4**: 547-561.
- Bayuelo-Jiménez JS, Craig R, Lynch JP. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Science* **42**: 1584-1594.
- Beikmohammadi A, Tehranifar A, Nematy H, Shoor M. 2012. Study of dormancy type and effect of different pre-sowing treatments on seed germination of bladder-senna (*Colutea bohsei* Boiss.) in laboratory conditions. *Notulae Scientia Biologicae* **4**: 112-115.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. 2013. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd edition) Springer, New York.
- Brançalion PH, Novembre AD, Rodrigues RR, Filho MJ. 2010. Dormancy as an adaptation to protect mimetic seeds against deterioration before dispersal. *Annals of Botany* **105**: 991-998.
- Britos GAP, Quinteros Doldán M, Enciso MM. 2013. Crecimiento de especies forestales nativas en una plantación mixta, en el alto Paraná. *Investigación Agraria* **8**: 50-57.

- Casermeiro J, Spahn E, de Petre A, Prand M, Ronconi AP, Rosenberger J, Martínez MH, Apaulaza J, Casermeiro L, Meza D, Müller A. 2015. Enriquecimiento de sistemas forestales degradados del distrito Ñandubay con especies nativas leñosas. *Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento* **5**: 1-24.
- Cernusak LA, Winter K, Martínez C, Correa E, Aranda J, García M, Jaramillo C, Turner BL. 2011. Responses of legume versus non legume tropical tree seedlings to elevated CO₂ concentration. *Plant Physiology* **157**: 372-385.
- Couzigou JM, Magne K, Mondy S, Cosson V, Clements J, Ratet P. 2016. The legume NOOT-BOP-COCH-LIKE genes are conserved regulators of abscission, a major agronomical trait in cultivated crops. *New Phytologist* **209**: 228-240.
- Curiel AC, Pedroso de Moraes C. 2011. Germinação de *Ormosia arborea* (Vell.) Harms submetida a diferentes períodos de exposição e concentração de GA₃ pós escarificação mecânica. *Scientia Plena* **7**: 1-6.
- Dam S, Laursen SB, Ørnfelt HJ, Jochimsen B, Stærfeldt HH, Friis C, Nielsen K, Goffard N, Besenbacher S, Krusell K, Sato S, Tabata S, Thøgersen BI, Enghild JJ, Stougaard J. 2009. The proteome of seed development in the model legume *Lotus japonicus*. *Plant Physiology* **149**: 1325-1340.
- De Voguel EF. 1980. *Seedlings of dicotyledons*. Wageningen. Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- De Oliveira MCP, Ferraz IDK, de Oliveira GJ. 2006. Dispersão e superação da dormência de sementes de *Parkia pendula* (Willd.) Walp. (visgueiro) na Amazônia Central, AM, Brasil. *Hoehnea* **33**: 485-493.
- De Paula AS, Delgado CML, Paulilo MTS, Santos M. 2012. Breaking physical dormancy of *Cassia leptophylla* and *Senna macranthera* (Fabaceae: Caesalpinioideae) seeds: water absorption and alternating temperatures. *Seed Science Research* **22**: 259-267.
- Dewir HY, El-Mahrouk MES, Naidoo Y. 2011. Effects of some mechanical and chemical treatments on seed germination of *Sabal palmetto* and *Thrinax morrisii* palms. *Australian Journal of Crop Science* **5**: 248-253.
- Dresch DM, Scalón SDPQ, Masetto TE, Mussury RM. 2014. Storage of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg seeds: influence of water content and environmental temperature. *American Journal of Plant Sciences* **5**: 2555-2565.

- Elias M, Potvin C. 2003. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. *Canadian Journal of Forest Research* **33**: 1039-1045.
- Ferreira SDN, Gentil DDO. 2003. Armazenamento de sementes de camu-camu (*Myrciaria dubia*) com diferentes graus de umidade e temperaturas. *Revista Brasileira de Fruticultura* **25**: 440-442.
- Finch-Savage EW, Leubner-Metzger G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* **171**: 501–523.
- Foster MS, Delay LS. 1998. Dispersal of mimetic seeds of three species of *Ormosia* (Leguminosae). *Journal of Tropical Ecology* **14**: 389-411.
- Foster MS 2008. Potential effects of arboreal and terrestrial avian dispersers on seed dormancy, seed germination and seedling establishment in *Ormosia* (Papilionoideae) species in Peru. *Journal of Tropical Ecology* **14**: 619-627.
- Freitas AR, Lopes JC, Matheus MT, Mengarda LHG, Venancio LP, Caldeira MVW. 2013. Superação da dormência de sementes de jatobá. *Pesquisa Florestal Brasileira* **33**: 85-90.
- Gonçalves EP, Soares FSDJ, Silva SDS, Tavares DDS, Viana JS, Cardoso BCC. 2011. Dormancy breaking in *Ormosia arborea* seeds. *International Journal of Agronomy*, Article ID 524709, 5 pp.
- Gremer JR, Sala A. 2013. It is risky out there: the costs of emergence and the benefits of prolonged dormancy. *Oecologia* **172**: 937-947.
- Hong TD, Ellis RH. 1996. *A protocol to determine seed storage behaviour*. Rome. Technical Bulletin No. 1. International Plant Genetics Resources Institute.
- Hudson A, Ayre DJ, Ooi MK. 2015. Physical dormancy in a changing climate. *Seed Science Research* **25**: 66-81.
- Huerta E, Kampichler C, Ochoa-Gaona S, de Jong BHJ, Hernández-Daumas S, Geissen V. 2014. A multi-criteria index for ecological evaluation of tropical agriculture in Southeastern Mexico. *Plos One* **9**, p. e112493.
- Hung LQ. 2003. Effect of maturation on seed germination of *Dalbergia cochichinensis* Pierre. *Seed Technology* **25**: 124-127.
- Ibarra-Manríquez G, Martínez-Ramos M, Oyama K. 2001. Seedling functional types in a lowland rain forest in Mexico. *American Journal of Botany* **88**: 1801-1812.

- Krause GH, Winter K, Matsubara S, Krause B, Jahns P, Virgo A, Aranda J, García M. 2012. Photosynthesis, photoprotection, and growth of shade-tolerant tropical tree seedlings under full sunlight. *Photosynthesis Research* **113**: 273-285.
- Kodde J, Buckley TW, Groot CC, Retiere M, Viquez ZAM, Groot SPC. 2012. A fast ethanol assay to detect seed deterioration. *Seed Science Research* **22**: 55–62.
- Linkies A, Leubner-Metzger G. 2012. Beyond gibberellins and abscisic acid: how ethylene and jasmonates control seed germination. *Plant Cellular Report* **31**: 253–270.
- Lobo GA, Santana DG, Salomão AN, Rehbein LS, Wielewicki AP. 2014. A technological approach to the morphofunctional classification of seedlings of 50 Brazilian forest species. *Journal of Seed Science* **36**: 087-093.
- Lopes JC, Dias PC, Macedo CMPD. 2006. Tratamentos para acelerar a germinação e reduzir a deterioração das sementes de *Ormosia nitida* Vog. *Revista Árvore* **30**: 171-177.
- McAtee P, Karim S, Schaffer RJ, David K. 2013. A dynamic interplay between phytohormones is required for fruit development, maturation, and ripening. *Frontiers in plant Science* **4**, Article 79, doi: 10.3389/fpls.2013.00079.
- Mantoan P, Souza-Leal T, Pessa H, Marteline MA, Pedroso-de-Moraes C. 2012. Escarificação mecânica e química na superação de dormência de *Adenanthera pavonina* L. (Fabaceae: Mimosoideae). *Scientia Plena* **8**: 1-8.
- Martins AM, Engel VL. 2007. Soil seed banks in tropical forest fragments with different disturbance histories in southeastern Brazil. *Ecological Engineering* **31**: 165-174.
- Marques MA, Rodrigues TJD, Paula RC. 2004. Germinação de sementes de *Ormosia arborea* (Vell.) Harms submetidas a diferentes tratamentos pré-germinativos. *Científica* **32**: 141-146.
- Mews CL, Silvério DV, Mews HA, Cury RTDS. 2012. Efeito do substrato e de diferentes tratamentos pré-germinativos na germinação de sementes de Tendo – *Ormosia paraensis* Ducke (Fabaceae). *Biotemas* **25**: 11-16.
- Moïse AJ, Han S, Gudynaite-Savitch L, Johnson AD, Miki BLA. 2005. Seed coats: structure, development, composition and biotechnology. *In vitro Cellular Development Biology-Plant* **41**: 620-644.

- Moya-Roque R, Tenorio-Monge C. 2013. Características de combustibilidad de diez especies de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* **10**: 26-33.
- Norsworthy KJ, Oliveira JM. 2009. Changes in *Senna obtusifolia* germination requirements over 12 months under field conditions. *International Journal of Agronomy*. Article ID 935205, 5 pp.
- Ochoa-Gaona S, Villanueva-López G, Hernández-Margalli I, Pérez-Hernández I. 2008a. *Manual de semillas de especies forestales de las montañas de Tenosique, Tabasco*. Villahermosa. El Colegio de la Frontera Sur.
- Ochoa-Gaona S, Pérez-Hernández I, Jiménez-Pérez NC. 2008b. *Descripción de las especies de árboles más comunes de la sierra de Tenosique, Tabasco, México*. Villahermosa. El Colegio de la Frontera Sur.
- Orozco-Segovia A, Sánchez-Coronado MC. 2009. *Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology*. In: Gamboa-de Buen A, Orozco-Segovia A and Cruz-García F (eds). *Functional diversity of plant reproduction*. Kerala. Research Signpost. 175-216.
- Pérez-Hernández I, Ochoa-Gaona S, Vargas-Simón G, Mendoza-Carranza M, González-Valdivia NA. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y Bosques* **17**: 79-91.
- Reis RCR, Pelacani CR, Antunes CGC, Dantas BF, Castro RDD. 2012. Physiological quality of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Leguminosae-Papilionoideae) seeds subjected to different storage conditions. *Revista Árvore* **36**:229-235.
- Román F, de Liones R, Sautu A, Deago J, Hall JS. 2012. *Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el neotrópico*. Environmental Leadership & Training Initiative (ELTI). Yale. Proyecto de reforestación con especies nativas (Prorena), School of Forestry & Environmental Studies.
- Rudd VE. 1968a. *Contributions from The United States National Herbarium LEGUMINOSAE*. Washington DC. Bulletin of the United States National Museum. Volume 32 Smithsonian Institution Press.
- Rudd VE. 1968b. Leguminosas de México-Faboideae I. Sophoreae y Podalyrieae. *Rhodora Journal of the New England Botanical Club* **70**: 492-532.

- Sadeghi H, Khazaei F, Yari L, Sheidaei S. 2011. Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean (*Glycine max* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* **6**: 39-43.
- Sautu A, Baskin JM, Baskin CC, Condit R. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology and Management* **234**: 245-263.
- Sautu A, Baskin JM, Baskin CC, Deago J, Condit R. 2007. Classification and ecological relationships of seed dormancy in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Seed Science Research* **17**: 127-141
- SEMARNAT. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- Silva LA, Dias DCFS, de Lima LB, de Morais GA. 2014. Methods for overcoming seed dormancy in *Ormosia arborea* seeds, characterization and harvest time. *Journal of Seed Science* **36**: 318-325.
- Silva JPN, Centeno DDC, Figueiredo-Ribeiro RDCL, Barbedo CJ. 2015. Maturation of seeds of *Poincianella pluviosa* (Caesalpinoideae). *Journal of Seed Science* **37**: 131-138.
- Smýkal P, Vernoud V, Blair MW, Soukup A, Thompson RD. 2015. The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Advances in Seed Biology*, Article 351, DOI: 10.3389/fpls.2014.00351.
- Soriano D, Orozco-Segovia A, Márquez-Guzmán J, Kitajima K, Gamboa-de Buen A, Huante P. 2011. Seed reserve composition in 19 tree species of a tropical deciduous forest in Mexico and its relationship to seed germination and seedling growth. *Annals of Botany* **107**: 939-951.
- Srimathi P, Mariappan N, Sundaramoorthy L, Sudhakar K. 2013. Studies on floral phenology, fruit and seed maturation and harvest index based on fruit colour in *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. *African Journal of Plant Science* **7**: 513-520.
- Van Klinken RD, Goulier JB. 2013. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* **23**: 181-188.

- Varela OR, Albornoz PL. 2013. Morpho-anatomy, imbibition, viability and germination of the seed of *Anadenanthera colubrina* var. cebil (Fabaceae). *Revista Biología Tropical* **61**: 1109-1118.
- Vargas-Simón G, Pire R. 2010. Efecto de dos condiciones de almacenamiento en la germinación de semillas de uva de playa (*Coccoloba uvifera* (L.) Jacq.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* **27**: 559-573.
- Vázquez-Yanes C, Batis BIM, Alcocer MI, Sánchez-Dirzo C. 1999. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Reporte Técnico del Proyecto J084. Ciudad de México. CONABIO. Instituto de Ecología. UNAM.
- Villacís J, Casanoves F, Hang S, Keesstra S, Armas C. 2016. Selection of forest species for the rehabilitation of disturbed soils in oil fields in the Ecuadorian Amazon. *Science of the Total Environment* 566: 761-770.
- Zeng LW, Cocks PS, Kailis SG, Kuo J. 2005. The role of fractures and lipids in the seed coat in the loss of hardseededness of six Mediterranean legume species. *Journal of Agricultural Science* **143**: 43-55.
- Zhang R, Wang Y, Liu G, Wang Y, Li J, Wang X, Yang C. 2012. Investigation of temporal variations in endogenous gibberellin A₃ and A₄ in the leaves of birch (*Betula platyphylla*). *Trees* **26**: 1113–1121.

CAPÍTULO 3 Crecimiento preliminar de seis especies forestales del trópico húmedo



CAPÍTULO 3. Crecimiento preliminar de seis especies forestales del trópico húmedo

3.1. Resumen

Las especies del bosque tropical están amenazadas por la alta deforestación; una estrategia para la reforestación es la utilización de especies nativas, las cuales tienen como principal ventaja estar adaptadas al ambiente y tener mayor oportunidad de sobrevivir, por ello este estudio tiene por objetivo evaluar algunas de ellas bajo condiciones de vivero. En este experimento se trabajó con seis especies: *Calophyllum brasiliense* Cambess. *Bravaisia integerrima* (Spreng.) Standl. *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Piscidia piscipula* L. (Sarg), *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb y *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith. Las semillas se colectaron en el estado de Tabasco, México y fueron sembradas en charolas de polipropileno en un diseño completamente aleatorio bajo condiciones de 50% de sombra en un clima cálido húmedo. En este experimento se evaluó el inicio de la germinación y por seis meses se describió la morfología y filotaxia de las plántulas y se midieron longitud de tallo (LT) y diámetro basal de tallo (DB), número de hojas juveniles, tasa relativa de crecimiento del tallo (TRCT) y tasa relativa de crecimiento del diámetro basal del tallo (TRCD), también la supervivencia. La germinación inició a los 7-10 días de la siembra. El crecimiento más alto de la LT a los seis meses fue obtenido en *E. cyclocarpum* 44.0 cm y *C. brasiliense* 29.8 cm; *B. integerrima* mostró DB de 0.5 cm y *T. donnell-smithii* 0.5 cm. El mayor número de hojas se cuantificó en *C. brasiliense* y *D. guianense*. Considerando las características deseables de una planta de vivero, la producción de plantas es factible para *B. integerrima* y *C. brasiliense*, con TRCT de 0.0052 y de 0.0059 cm cm⁻¹ día⁻¹; y TRCD de 0.0054 cm cm⁻¹ día⁻¹. El promedio de supervivencia fue de 70.1%.

Palabras clave heterofilia, longitud de tallo, diámetro basal de tallo, tasa relativa de crecimiento

3.2. Abstract

Tropical forest species are threatened by high deforestation; a strategy for reforestation is to use native species, which have as main advantage of being already adapted to the environment and have a greater chance of survival, therefore, this study was performed in order to evaluate some of them under nursery conditions. In this experiment we worked with six species: *Calophyllum brasiliense* Cambess. *Bravaisia integerrima* (Spreng.) Standl. *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Piscidia piscipula* L. (Sarg), *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb and *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith. Seeds were collected in the state of Tabasco, Mexico and seeded in polypropylene trays in a completely randomized design under conditions of 50% shading net in warm humid climate; In the experiment, the beginning of germination and growth was evaluated for six months, morphology and seedling phyllotaxis were described; stem length (SL) and basal stem diameter (BD), number of juvenile leaves, stem length relative growth rate (SRGR) and basal stem diameter relative growth rate (DRGR) as well as survival, were measured. Germination started 7 to 10 days after sowing. The highest growth in seedling SL in six months, were obtained in *E. cyclocarpum* 44.0 cm and *C. brasiliense* 29.8 cm; *B. integerrima* showed BD of 0.5 cm and *T. donnell-smithii* 0.5 cm. Number of leaves was greater for *C. brasiliense* y *D. guianense*. Considering the desirable features as a nursery plant, production of species is feasible: *B. integerrima* and *C. brasiliense*, with values for SRGR of 0.0052 and 0.0059 cm cm⁻¹ day⁻¹; and DRGR of 0.0054 cm cm⁻¹ day⁻¹. Average survival was of 70.1%.

Keywords Heterophylly, stem length, base diameter of stem, growth relative rate

3.3. Introducción

La deforestación tiene un serio impacto en la pérdida de biodiversidad y ha sido uno de los factores agravantes del cambio climático, la causa principal de la deforestación es el cambio en el uso del suelo, por prácticas agrícolas o ganaderas, o por extracción de madera (López 2012). Sumado a esto, las estrategias apropiadas en el uso de los territorios que tengan concordancia con el potencial ecológico son escasas y a menudo se produce una rápida fragmentación del hábitat (Castillo *et al.* 2008). Es necesario, en consecuencia, tener conocimiento de la problemática para dirigir esfuerzos y proponer mejores estrategias de manejo, restauración, rehabilitación y mejoramiento de los mismos. Particularmente en el estado de Tabasco, México, la disminución de los bosques ha sido alarmante, pasó de 14.87% en 1976 a 7.7% en 2000, actualmente este tipo de vegetación cuenta con menos del 0.95% del total del territorio estatal (Castillo *et al.* 2008, Sánchez 2011). Dentro de las estrategias necesarias para rescatar o rehabilitar zonas perturbadas está la reforestación con especies forestales nativas, muchas de las cuales poseen la capacidad de prosperar en sitios degradados, benefician la fertilidad del suelo por su asociación con organismos simbioses y se pueden utilizar además en sistemas agroforestales (Moya-Roque y Tenorio-Monge 2013). Los viveros han cobrado un papel relevante como depositarios y proveedores de este tipo de plantas, sobre todo ahora que se reconoce su importancia para la conservación de la biodiversidad; además pueden fungir como sitios de experimentación que permitan la caracterización, selección y manejo; esto permitirá diseñar, conocer y adecuar las técnicas propicias para la producción masiva de las especies nativas (Benítez *et al.* 2002, González *et al.* 2014). Existen pocos trabajos realizados con especies forestales tropicales, se tiene por ejemplo el de González *et al.* (2014), quienes evaluaron nueve especies en Cuba, obteniendo resultados importantes sobre los contenedores y sustratos ideales. Adegoke *et al.* (2014) evaluaron diferentes variables de crecimiento en *Terminalia ivorensis*. Pérez-Hernández *et al.* (2011) observaron el crecimiento de *Aspidosperma megalocarpon*, *Eugenia* sp., *Lonchocarpus castilloi* Standl., *Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *Ormosia macrocalyx* y *Rollinia mucosa* bajo diferentes porcentajes de sombra. El conocimiento de características morfológicas de plántulas también es necesario, ya que las estructuras en el estado juvenil son desconocidas, y constituyen una herramienta útil

para su identificación en campo, especialmente en estudios de recuperación de áreas dañadas. En trabajos realizados en áreas tropicales resaltan los de Duke (1965) en Puerto Rico y van Breugel *et al.* (2011) en Panamá, de Voguel (1980) en Malasia, Ibarra-Manríquez *et al.* (2001) en México y Wright *et al.* (2000) en Australia, quienes dan a conocer los diversos tipos de germinación y de cotiledones; así como la heterofilia y el número de hojas producidas durante la primera etapa de crecimiento de las plántulas.

En México existe el Programa Nacional Forestal, que administra la Comisión Nacional Forestal, que otorga apoyos económicos a los ejidatarios y entre sus lineamientos para 2017 (DOF, 2017) se pueden utilizar diferentes especies en programas de plantaciones silvícolas, introducidas como melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis.*), acacia (*Acacia mangium*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill); o en reforestación con especies nativas como caoba (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*), bojón (*Cordia alliodora*, tinto (*Haematoxylum campechianum* L.), macuilis (*Tabebuia rosea*) y pino tropical (*Pinus caribaea* Morelet). Se observa que en estos programas el número de especies nativas utilizadas es poco diverso; por ello para resolver los requerimientos de producción, mediante el conocimiento de las fases de desarrollo inicial, la morfología y características descriptivas de las plántulas, se efectuó este trabajo donde se seleccionaron seis especies forestales nativas: *Calophyllum brasiliense* (Calophyllaceae), *Bravaisia integerrima* (Acanthaceae), *Piscidia piscipula* (Fabaceae), *Enterolobium cyclocarpum* (Fabaceae: Mimosoideae), *Tabebuia donnell-smithii* (Bignoniaceae) y *Dialium guianense* (Fabaceae).

Las especies seleccionadas tienen su distribución natural en las zonas tropicales de México, desde el estado de Tamaulipas hasta el sureste y suroeste de México y Centroamérica, son propios de selvas altas y bajas perennifolias, medianas subperennifolias, subcaducifolias y se encuentran también en vegetación secundaria (Cordero y Boshier 2003, Pennington y Sarukhan 2005, Niembro *et al.* 2010). Algunas, como *D. guianense*, *C. brasiliense*, *E. cyclocarpum* y *T. donnell-smithii* extienden sus fronteras hasta Venezuela y Brasil (Tropicos® 2016). Cada uno de estos árboles tiene una variedad de usos, aunque se utilizan primordialmente por su madera o como cerco vivo (Flores-Vindas y Obando-Vargas 2003). Particularmente *D. guianense*, *C. brasiliense*, *P. piscipula*, *T. donnell-smithii* y *E. cyclocarpum* se

consideran sumamente útiles para reforestación y restauración (Moreno-Casasola y Paradowska 2009, Niembro *et al.* 2010, López *et al.* 2012, Meli *et al.* 2014). Dos de estas especies *C. brasiliense* y *B. integerrima*, se encuentran en la categoría de amenazadas, según la NOM ECOL- 059 (SEMARNAT 2010) lo que aumenta la relevancia de este trabajo, cuyo objetivo es describir el desarrollo y evaluar el crecimiento inicial de seis especies forestales tropicales en condiciones de vivero; se trata también de que el conocimiento generado en este trabajo sirva para que los gestores de la conservación de los recursos vegetales tengan otras alternativas de especies para los programas ya referidos y puedan además conservar adecuadamente a las que se encuentran amenazadas.

3.4. Materiales y Métodos

3.4.1. Sitio de estudio

Las semillas se obtuvieron de diversas localidades del estado de Tabasco, México, de abril a junio de 2015, a excepción de *D. guianense* que se colectaron en junio de 2014 y fueron almacenadas a temperatura ambiente (25.2 ± 1.8 °C) hasta su siembra. El experimento se estableció en vivero bajo umbráculo de malla negra (50% de sombra), en las instalaciones de la Gerencia Estatal Tabasco de la Comisión Nacional Forestal ($17^{\circ} 96'LN$, $92^{\circ}95'W$), a 21.2 msnm, con un clima cálido húmedo con régimen de lluvias en verano. Durante el experimento se registraron temperaturas máximas de $33.4 \pm 0.6^{\circ}C$, mínimas de 24.5 ± 0.4 °C y porcentaje de humedad de 70.6 ± 5.1 .

3.4.2. Selección de especies y trabajo de vivero

Se seleccionaron seis especies para evaluar su desarrollo y crecimiento preliminar bajo condiciones de vivero: *C. brasiliense*, *B. integerrima*, *D. guianense*, *P. piscipula*, *T. donnell-smithii* y *E. cyclocarpum*. A las semillas de *D. guianense* y *E. cyclocarpum* se les efectuó tratamiento pregerminativo mecánico de lijado en la región contraria al hilum, durante 5 segundos para la primera especie y durante 10 segundos para la última, utilizando lija de madera de grano mediano (100-120) y de grano grueso (80), respectivamente. A las semillas de *C. brasiliense* se les elimina la cubierta seminal. Todas las semillas se desinfectan con Hipoclorito de sodio al 10% antes de la siembra, las semillas pequeñas de *P. piscipula*, *B. integerrima* y *T. donnell-smithii* se remojaron durante 1 minuto; durante 3 minutos *D. guianense* y *E. cyclocarpum*; y 5 minutos *C. brasiliense*. Se siembran directamente en charolas de vivero (polipropileno) de 220 cm³ de capacidad por cavidad, de dos a tres semillas por alvéolo para asegurar la ocupación de cada envase. El sustrato consiste en una mezcla de Peat moss (60 %), Vermiculita G2 8.5 (20 %), Agrolita hidro (20 %) y 3 kg de Multicote 8 (18-06-12 de N-P-K), recomendado por SEMARNAT (2014). Las plántulas se redistribuyen para completar un cubrimiento total en la charola, para ello se realizan los respectivos trasplantes en el momento en que los primeros eófilos estén bien desarrollados. Se aplicó riego cada tercer día, la precipitación acumulada del período fue de 1806 mm. En el mes de julio se presentó una infección fúngica por lo que se aplican dos tipos de fungicidas: Previcure Energy® (Propamocarb 53.0

% + Fosetil 31%, equivalente a 840 g de i.a. L⁻¹), y Derosal® (Carbendazim 500.76 g i.a. L⁻¹), se aplicó 1 mL L⁻¹ de solución en cada caso, asperjando 0.5 L de solución a cada charola. Asimismo, para controlar un insecto hemíptero que afecta a *E. cyclocarpum* se emplea el insecticida Decis Forte® (Deltametrina 100.0 g i.a. L⁻¹), a las mismas dosis que los anteriores y el mismo volumen de aspersión. Se realizan 8 aplicaciones de los fungicidas, las cuatro primeras con 4 días de intervalo y luego una cada mes (durante cuatro meses); el insecticida se aplica tres veces cada mes (durante tres meses), en los mismos períodos de tiempo, de manera intercalada.

3.4.3. Descripción morfológica de plántulas

Para obtener las descripciones morfológicas de cada especie se determinan: días al inicio y tipo de germinación (Ibarra-Manríquez *et al.* 2001); forma general del limbo (eófilos y metáfilos), y filotaxia, de acuerdo a Vozzo (2001) y literatura específica de cada especie. Se mide la longitud del limbo de los metáfilos a los 6 meses de edad. El término eófilo se aplica a la primera hoja de lámina expandida y verde; los metáfilos, son hojas juveniles definidas morfológicamente como hoja adulta. Particularmente en *B. integerrima*, que origina raíces adventicias, se mide el diámetro del conjunto de las raíces en su inserción al sustrato.

3.4.4. Variables de crecimiento

La longitud se mide con una regla y un flexómetro, el diámetro basal del tallo con un calibre; la primera medida desde el nivel del sustrato hasta el meristemo apical de vástago y el segundo a ras del sustrato; además se cuantifica el número total de hojas juveniles (eófilos y metáfilos) y en hojas compuestas, el número de folíolos por hoja en los períodos de 2, 4 y de 6 meses. Se obtiene la tasa de crecimiento relativo (TCR), la cual fue analizada en los mismos períodos en las variables longitud de tallo (Eq. 1) y diámetro basal de tallo (Eq. 2):

$$TCRT = \frac{[\ln(h_2) - \ln(h_1)]}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Donde h_2 es la longitud de tallo al final del período (t_2), h_1 es la longitud al inicio del período (t_1), la tasa de crecimiento relativo (TCR) expresada en $\text{cm cm}^{-1} \text{ día}^{-1}$

$$TCRD = \frac{[\ln(d_2) - \ln(d_1)]}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Donde d_2 es el diámetro basal de tallo al final del período (t_2), d_1 es el diámetro al inicio del período (t_1), la tasa de crecimiento relativa (TCR) expresada en $\text{cm cm}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Celis y Jose 2011). Se cuantifica además, la supervivencia de las plantas durante todo el estudio en los mismos períodos referidos.

3.4.5. Análisis de datos

El experimento se establece en un diseño completamente aleatorio, cuantificando 28 plántulas centrales en cada charola, representando las repeticiones; el número de charolas y de plántulas cuantificadas para cada especie fue diferente en cada medición, ya que dependió de la disponibilidad de semilla y de la supervivencia de las plántulas con respecto al tiempo. Los datos de las variables longitud y diámetro basal de tallo, número de hojas totales y tasas de crecimiento relativo se analizarán estadísticamente en tres períodos después de la siembra (0-2, 2-4 y 4-6 meses) mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, usando el programa Statistix 8.0, después de comprobar que los datos no presentaban una distribución normal.

3.5. Resultados

3.5.1. Germinación

El inicio de la germinación es variable para las especies, siendo las más precoces *B. integerrima*, *P. piscipula* y *E. cyclocarpum* (7 días), las demás inician el proceso en un lapso de 10-12 días. La mayoría de las especies tienen una germinación de tipo epigea fanerocotilar con cotiledones foliáceos o de reserva, solamente *C. brasiliense* germina bajo el tipo hipógea criptocotilar con cotiledones de reserva, los detalles de cada especie se especifican a continuación:

3.5.2. Descripción de plántulas

Calophyllum brasiliense. La germinación es hipógea criptocotilar con cotiledones de reserva, el primer evento es la emisión de la plúmula, la cual se produce a los 10 días de la siembra, momento de la germinación; la plántula consta de un hipocótilo reducido y epicótilo alargado, posteriormente a los 19 días se observa un par de eófilos, lanceolados, con base atenuada y ápice agudo, de márgenes lisos (Figura 3.1a). El limbo es verde brillante en el haz, verde pálido en el envés, coloraciones características también de los metáfilos que se forman posteriormente, siempre de consistencia coriácea, en una posición opuesta; los metáfilos maduros tienen una longitud de 11.7 ± 0.4 cm a los seis meses de edad. Al final del ensayo, se forman hojas juveniles anexas en la zona basal del epicótilo, las cuales son de menor tamaño (Figura 3.1b).



Figura 3.1. Plántula recién germinada (a) y planta de seis meses de edad (b) de *Calophyllum brasiliense*, desarrollada en vivero. El segmento de referencia de la imagen corresponde a 15 cm.

Bravaisia integerrima. La germinación es epígea fanerocotilar, sus cotiledones foliáceos son orbiculares, de base atenuada y ápice redondeado, de color verde y con tricomas simples. Los eófilos y metáfilos son ovados, sus bases atenuadas y el ápice agudo, margen ligeramente sinuado en los primeros meses, acentuándose en las hojas maduras del final del experimento; las plántulas presentan tricomas simples en el tallo, en el margen y en el haz de las hojas, más escasos en esta región (Figura 3.2a). Las hojas recién formadas son de color verde con tintes púrpura, pubescentes; forman 7.7 hojas juveniles en promedio con una filotaxia decusada, el tallo es articulado, con lenticelas. Al final se destaca la formación de raíces adventicias (2-4 por planta) en 17 % de las plantas evaluadas, las cuales alcanzan un diámetro promedio de 3.5 ± 1.3 cm (Figura 3.2b).



Figura 3.2. Plántula recién germinada (a) y planta de seis meses de edad (b) de *Bravaisia integerrima*, desarrollada en vivero. El segmento de referencia de la imagen corresponde a 15 cm.

Dialium guianense. Germinación epigea fanerocotilar con cotiledones de reserva muy delgados, forma primero un gancho hipocotilar, a los nueve días después de la siembra, posteriormente a los 16 días emite un par de paracotiledones ovados, peciolados con ápice caudado y márgenes lisos, de una coloración verde claro, de consistencia membranosa (Figura 3.3a). En un tercer evento se forman eófilos simples y posteriormente metáfilos imparipinnados en número de 3 y 5 folíolos, ocasionalmente 7, de la misma forma que los primeros eófilos; su filotaxia es alterna helicoidal. En el último período se denotó lignificación en el tallo de color café claro (Figura 3.3b).



Figura 3.3. Plántula recién germinada (a) y planta de seis meses de edad (b) de *Dialium guianense*, desarrollada en vivero. El segmento de referencia de la imagen corresponde a 15 cm.

Piscidia piscipula. La emisión de los cotiledones foliáceos comienza a los siete días, su germinación es epígea fanerocotilar con cotiledones foliáceos, oblongos, tanto la base como el ápice redondeados; el proceso de desarrollo continúa con la producción de un primer par de eófilos, peciolados muy pubescentes en los márgenes, cuyos limbos son ovados con un ápice agudo y márgenes lisos (Figura 3.4a). Entre los 30 y 60 días se originan eófilos simples, hasta 3.4 en promedio, de la misma forma que los anteriores. A los 4 meses, se producen metáfilos imparipinnados en número de 3 y 5, los pecíolos son pulvinados. El tallo ligeramente lignificado con lenticelas, presenta filotaxia alterna helicoidal (Figura 3.4b).



Figura 3.4. Plántula recién germinada (a) y planta de seis meses de edad (b) de *Piscidia piscipula*, desarrollada en vivero. El segmento de referencia de la imagen corresponde a 15 cm.

Tabebuia donnell-smithii. Germinación epigea fanerocotilar con cotiledones foliáceos de forma oblonga, con ápices marcadamente hendidos, observándose a los 10 días después de la siembra. A los 49 días se desarrolla el primer par de eófilos, peciolados, de forma ovada, ápice acuminado y margen aserrado. A los cuatro meses de la siembra se desarrollan eófilos simples, en par y trifoliados (Figura 3.5a); a los seis meses, se observan algunos metáfilos largamente peciolados, pentafoliados, con las mismas características del limbo que los primeros. El tallo presenta lignificación de color claro y la filotaxia es decusada. Las hojas de la imagen (Figura 3.5b) muestran pigmentación rojiza en las hojas debido a la infección fúngica.



Figura 3.5. Plántula recién germinadas (a) y planta de seis meses de edad (b) de *Tabebuia donnell-smithii*, desarrollada en vivero. El segmento de referencia de la imagen corresponde a 15 cm.

Enterolobium cyclocarpum. Germinación epigea fanerocotilar con cotiledones de reserva. La elevación de los cotiledones se considera el momento de la germinación, que en las condiciones de este experimento es de cinco días, en los tres días siguientes se origina un eófilo simple de nueve pares de folíolos (paripinnado) y un día después un eófilo bipinnado paripinnado de nueve pares de folíolos, opuestos, lineales, base sésil y ápice mucronado; tres días después se forma un eófilo de tres pares de folíolos, conteniendo 10, 11 y 11 pares de folíolos secundarios (Figura 3.6a). En una etapa posterior se desarrollan eófilos bipinnados, paripinnados hasta de cinco pares cada uno y a partir de los 4 meses, hasta de seis pares. De 5.7 ± 0.4 , 9.7 ± 0.4 , 12.2 ± 0.7 , 13.7 ± 0.7 , 14.5 ± 0.8 , 16.1 ± 2.6 pares de folíolos secundarios a los seis meses de edad. El último par de folíolos secundarios en todas las hojas son unguilados. La filotaxia de la plántula es alterna helicoidal y desarrolla lenticelas en el tallo (Figura 3.6b).



Figura 6. Plántula recién germinada (a) y planta de seis meses de edad (b) de *Enterolobium cyclocarpum* desarrollada en vivero. El segmento de referencia de la imagen corresponde a 15 cm.

3.5.3. Variables de crecimiento

3.5.3.1. Longitud de tallo

Las especies que más crecieron en el tiempo de experimentación fueron *E. cyclocarpum*, de 28.3 cm a los dos meses, pasó a los 44.0 cm en seis meses y *C. brasiliense* de 13.0 a 29.8 cm; las de menor longitud fueron *D. guianense* (15.3 cm a los seis meses) y *T. donnell-smithii* (13.3 cm a los seis meses). En esta variable se obtuvieron diferencias estadísticas altamente significativas entre las medianas (prueba Kruskal-Wallis) (Tabla 3.1).

3.5.3.2. Diámetro basal de tallo

Las especies con el grosor de tallo mayor, fueron *B. integerrima* y *T. donnell-smithii*, con 0.6 cm a los seis meses de evaluación; la primera destaca en los tres períodos de evaluación (Tabla 3.1), la más pequeña fue *D. guianense* (0.26 cm a los seis meses). Se detectan diferencias estadísticas altamente significativas entre los rangos promedio (prueba Kruskal-Wallis).

Tabla 3.1. Longitud y diámetro basal de tallo de seis especies forestales del trópico húmedo en tres etapas de crecimiento.

Especies	Longitud (cm)			Diámetro basal (cm)		
	Edad de la planta (meses)					
	2	4	6	2	4	6
<i>Calophyllum brasiliense</i>	13.1 b	22.8 b	29.8 a	0.20 b	0.25 c	0.34 c
<i>Bravaisia integerrima</i>	5.9 d	16.3 c	21.6 b	0.34 a	0.51 a	0.65 a
<i>Dialium guianense</i>	11.9 b	12.4 d	15.3 d	0.15 d	0.20 d	0.26 d
<i>Piscidia piscipula</i>	7.9 c	19.2 b	21.8 c	0.17 c	0.33 b	0.40 b
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	8.7 c	12.4 d	14.3 d	0.17 c	0.43 a	0.50 a
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	28.3 a	42.4 a	44.0 a	0.20 b	0.35 b	0.41 b
Número de plantas	946	740	595	946	740	595
Prueba Kruskal-Wallis	H=676 P=0.0000	H=530 P=0.0000	H=708 P=0.0000	H=270 P=0.0000	H=304 P=0.0000	H=302 P=0.0000

*Diferentes letras entre medias en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la comparación de sus rangos (prueba Kruskal-Wallis)

3.5.3.3. Número de hojas juveniles

La disminución del número de hojas totales en cada etapa de crecimiento en la última fase en la mayoría de las plantas, se debe a la defoliación causada por plagas, la excepción es *C. brasiliense* quien no presenta ninguna afectación. *Calophyllum brasiliense* y *B. integerrima* producen únicamente hojas simples, las demás especies forman hojas juveniles compuestas (Tabla 3.2). Los cálculos del número de hojas simples y el número de folíolos por hoja juvenil (eófilos y metáfilos) registrados en el ensayo demuestran diferencias estadísticas altamente significativas entre las medianas en la prueba Kruskal-Wallis (Tabla 3.3).

Tabla 3.2. Número de hojas juveniles de seis especies forestales del trópico húmedo en tres etapas de crecimiento

Especies	Número de hojas juveniles		
	Edad de la planta (meses)		
	2	4	6
<i>Calophyllum brasiliense</i>	4.6 d	9.3 a	12.3 a
<i>Bravaisia integerrima</i>	5.4 bc	7.4 b	7.7 c
<i>Dialium guianense</i>	5.0 cd	4.4 bc	9.6 b
<i>Piscidia piscipula</i>	3.4 e	9.4 d	3.8 d
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	6.9 a	6.9 a	7.8 bc
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	5.6 b	11.3 c	4.5 d
Número de plantas	946	740	595
Prueba Kruskal-Wallis	H=126 P=0.0012	H=96.5 P=0.0012	H=331 P=0.0000

*Diferentes letras entre medias en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la comparación de sus rangos (prueba Kruskal-Wallis)

Tabla 3.3. Medias y desviación estándar del número de hojas juveniles (eófilos y metáfilos) en tres períodos de crecimiento en seis especies forestales del trópico húmedo en condiciones de vivero.

Especies	Edad de la planta (meses)					
	2		4		6	
	Nf	Nh	Nf	Nh	Nf	Nh
<i>Calophyllum brasiliense</i>	1	4.6 ± 0.3	1	9.3 ± 0.5	1	12.3 ± 0.5
<i>Bravaisia integerrima</i>	1	5.4 ± 0.6	1	8.2 ± 0.6	1	7.7 ± 1.2
<i>Dialium guianense</i>	1	2.9 ± 0.2	1	3.1 ± 0.5	1	3.3 ± 0.3
	3	2.7 ± 0.2	3	2.6 ± 0.2	3	3.8 ± 0.3
	5	1.2 ± 0.0	5	2.6 ± 0.3	5	2.0 ± 1.3
					7	1.0 ± 0.0
<i>Piscidia piscipula</i>	1	3.4 ± 0.3	1	3.4 ± 0.5	1	2.1 ± 0.4
			3	2.0 ± 0.3	3	2.4 ± 0.1
			5	0.7 ± 0.5	5	0.8 ± 0.5
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	1	5.5 ± 0.7	1	3.5 ± 1.1	1	2.8 ± 1.5
	2	1.8 ± 1.6	2	1.5 ± 1.0	2	0.1 ± 0
	3	1.9 ± 0.0	3	6.3 ± 0.8	3	6.3 ± 0.3
					5	0.5 ± 0
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1	1.0 ± 0.0	1	1.2 ± 0.5	1	0
	2	1.3 ± 0.4	2	1.9 ± 0.3	2	1.7 ± 0.1
	3	3.6 ± 0.2	3	2.7 ± 0.3	3	2.1 ± 0.3
	4	1.4 ± 0.3	4	2.5 ± 0.2	4	2.1 ± 0.2
	5	0.5 ± 0.5	5	1.6 ± 0.2	5	1.5 ± 0.3
	6	0	6	1.2 ± 0.6	6	1.5 ± 0.7
Número de plantas	946		740		595	

Nf: número de folíolos por hoja; h: hojas; Nh: número de hojas

3.5.3.4. Tasas relativas de crecimiento (TRC)

La TRC de la longitud del tallo es mayor en el primer período de evaluación (0-2 meses) que en los posteriores (2-4 y 4-6 meses) para todas las especies (Tabla 3.4). Las tasas más altas obtenidas en el primer período fueron para *E. cyclocarpum* con 0.0555 cm cm⁻¹ día⁻¹ y para *C. brasiliense* con 0.0462 cm cm⁻¹ día⁻¹. Aunque el mejor desempeño en los siguientes períodos fue de *B. integerrima*, seguido por *C. brasiliense* y *T. donnell-smithii*, ésta sólo en el último lapso de tiempo. Las tasas disminuyen al final del experimento, son menores de 0.0059 cm cm⁻¹ día⁻¹ en todas

las plantas. Se detectan diferencias estadísticas altamente significativas entre las medianas (prueba Kruskal-Wallis).

En el caso de la tasa del diámetro basal de tallo, resaltan en el primer período (0-2 meses) los valores de *B. integerrima* con 0.0201 cm cm⁻¹ día⁻¹ y *P. piscipula* con 0.0339 cm cm⁻¹ día⁻¹ (Tabla 3.4). El comportamiento es similar al de la tasa de longitud de tallo, siendo en el tercer período cuando las tasas disminuyen (<0.0060 cm cm⁻¹ día⁻¹). *Piscidia piscipula* es la especie con mayores tasas en los tres períodos, sólo rebasado ocasionalmente por *B. integerrima* (0-2 meses) y *T. donnell-smithii* (2-4 meses). Se detectan diferencias estadísticas significativas entre las medianas (prueba Kruskal-Wallis).

Tabla 3.4. Tasa relativa de crecimiento de la longitud de tallo (TRCT) y de diámetro basal (TRCD) de seis especies forestales en tres períodos de crecimiento

Especies	TRCT (cm·cm ⁻¹ ·día ⁻¹)			TRCD (cm·cm ⁻¹ ·día ⁻¹)		
	Periodos (meses)			Periodos (meses)		
	0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.0462 b	0.0116 b	0.0052 a	0.0115 b	0.0053 e	0.0054 a
<i>Bravaisia integerrima</i>	0.0291 d	0.0160 a	0.0059 a	0.0201 a	0.0095 d	0.0055 a
<i>Dialium guianense</i>	0.0395 b	0.0045 d	0.0033 b	0.0089 d	0.0088 cd	0.0051 a
<i>Piscidia piscipula</i>	0.0097 e	0.0145 a	0.0036 b	0.0339 a	0.0102 b	0.0062 a
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	0.0352 c	0.0068 c	0.0047 b	0.0115 c	0.0157 a	0.0052 a
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.0555 a	0.0064 c	0.0014 c	0.0001 c	0.0090 bc	0.0038 b
Número de plantas	885	707	582	707	667	551
Prueba Kruskal-Wallis	H=1210 P=0.0000	H=124 P=0.0012	H=21.1 P=0.0006	H=124 P=0.0006	H=93.1 P=0.0006	H=12.9 P=0.0000

*Diferentes letras entre medias en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a la comparación de sus rangos (prueba Kruskal-Wallis)

3.5.4. Supervivencia de plántulas.

Las especies que tienen mayor porcentaje de supervivencia son *P. piscipula*, con 99.1% a los dos meses, que disminuye en un 9.1% al término del ensayo y *C. brasiliense* que se mantiene constante con 92.1% durante todo el experimento. Las especies con menor supervivencia son *T. donnell-smithii*, que pasa de 96.8 a 44.19% y *D. guianense*, de 94.2 a 60%, a los dos y seis meses de edad por el grave problema fúngico que provocó la defoliación y la muerte en algunas plantas en el último período de evaluación (Figura 3.7).

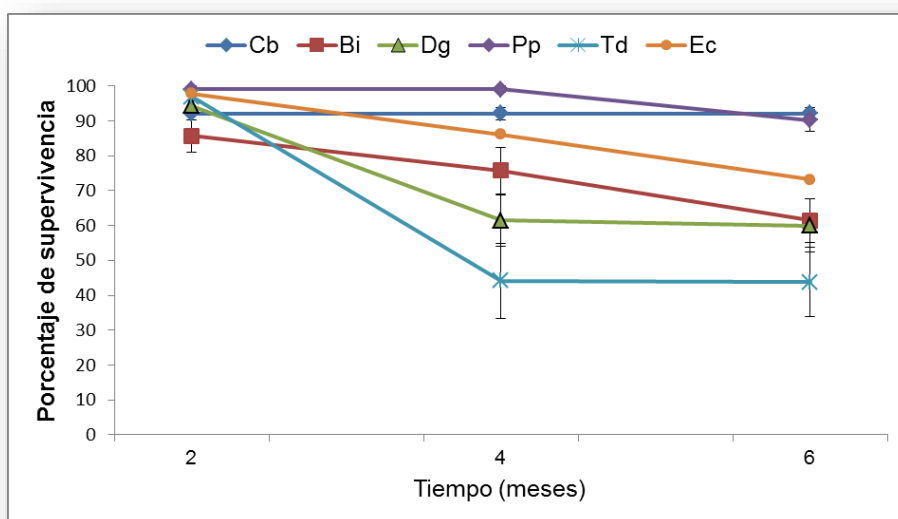


Figura 3.7. Porcentaje de supervivencia de plántulas bajo condiciones de vivero: *Calophyllum brasiliense* (Cb), *Bravaisia integerrima* (Bi), *Dialium guianense* (Dg), *Piscidia piscipula* (Pp), *Tabebuia donnell-smithii* (Td) y *Enterolobium cyclocarpum* (Ec). Medias y error estándar. Si las líneas verticales de error no se aprecian es porque son más pequeñas que el marcador.

3.6. Discusión

3.6.1. Germinación

Los tiempos que involucra la germinación dependen de las características genéticas, fisiológicas y morfológicas de cada semilla, del medio en el que germinan y de sus reservas nutritivas (Bewley *et al.* 2013, Soriano *et al.* 2013, Schmidt 2016).

Para posteriores estudios debe considerarse que las semillas de *C. brasiliense*, *B. integerrima* y *T. donnell-smithii* son recalcitrantes. Particularmente, *C. brasiliense* es hidrocora (Nery *et al.* 2007), por lo que su contenido de humedad es alto; el tiempo de germinación es bajo por esta característica y porque se utilizan semillas sin cubierta seminal como en este estudio.

Las referencias sobre la germinación de *B. integerrima* son escasas, destaca un estudio realizado por Castillo-Acosta *et al.* (2013), cuyas semillas germinaron en un 80% sin tratamiento pregerminativo, y en un 90%, cuando se remojaron en ácido giberélico al 10% por tres horas; datos similares también se obtuvieron en *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. (Wong *et al.* 2015). La rapidez en la germinación de *B. integerrima* está relacionada también con el pequeño tamaño de la semilla (3.5 mm de diámetro), la ausencia de tejidos de reserva, cubierta seminal delgada (obs. personales del primer autor) y por las características ambientales en las que se desarrolla, puesto que prefiere suelos arcillosos altamente inundables (Maldonado-Sánchez *et al.* 2016) como otras Acanthaceae (*A. marina* y *A. germinans* (L.) L.) (Berjak y Pammenter 2008). Caso similar es el de *T. donnell-smithii*, cuyas semillas son exalbuminosas, compuestas únicamente por un par de cotiledones y su eje embrionario, miden 1.5 cm de largo incluyendo el ala (Niembro *et al.* 2010).

La escarificación es una práctica común para promover la germinación homogénea y rápida en las semillas de las leguminosas *D. guianense* y *E. cyclocarpum* que se caracterizan por tener una cubierta seminal dura (Vargas-Simón *et al.* 2003, Román *et al.* 2012, Viveros *et al.* 2015); de otra forma en *D. guianense* se obtiene 20% de germinación con semillas sin tratamiento (Vargas-Simón *et al.* 2003) y en condiciones de campo, sólo alcanza 12.4% (García-Orth y Martínez-Ramos 2008). Si se manejan altas cantidades de semillas de *E. cyclocarpum*; SEMARNAT (2015) recomienda meterlas en una bolsa de tela y remojarlas en agua a 75 °C por 3-5 min. *P. piscipula* tiene semillas pequeñas (0.5 cm de largo), el cubrimiento de las charolas fue concordante con Dzib-Castillo (2012), quien a los 20

días reportó 95% de plántulas formadas. Los tipos de germinación registrados en este experimento concuerdan con otros estudios sobre estas especies, del mismo género o de la misma familia botánica (Das *et al.* 2001, Machado *et al.* 2002, de Jesus *et al.* 2014, Lobo *et al.* 2014, Rojas-Rodríguez y Torres-Córdoba 2016).

3.6.2. Descripción de plántulas

El contar con las descripciones de las plántulas de especies arbóreas es sumamente útil para estudios fisiológicos, taxonómicos o ecológicos, y proporciona mejores oportunidades para su correcta identificación en campo (de Voguel 1980, Ibarra-Manríquez *et al.* 2001, Lobo *et al.* 2014). Varios caracteres definen a una especie en su crecimiento preliminar: el tipo de germinación, la forma y el número de hojas, entre otras. La diversidad es alta sobre todo en especies tropicales (Gurgel *et al.* 2012).

En este estudio se observan diferencias en una misma planta, entre los cotiledones, sus hojas juveniles y adultas. Los cotiledones son reservorios nutricionales y además funcionan como aparatos fotosintéticos. Los cotiledones de almacenamiento en plántulas criptocotilares no fotosintetizan porque se quedan enterrados y el proceso fotosintético de la plántula inicia con la emergencia del epicótilo y de sus primeros eófilos (Soriano *et al.* 2013).

La forma de los cotiledones foliáceos de las especies en estudio varía con respecto a los metáfilos en *B. integerrima* y *T. donnell-smithii*, pero la forma observada de las hojas juveniles se conserva hasta la edad adulta (Pennington y Sarukhán 2005); las leguminosas *D. guianense* y *P. piscipula*, además de sus cotiledones de reserva cuentan con un par de paracotiledones, lo que es una característica peculiar de algunas leguminosas (de Voguel 1980, Gurgel *et al.* 2012), tienen una función fotosintética por su contenido de clorofila. En *C. brasiliense*, la forma del limbo de los eófilos y de los metáfilos es igual a través del tiempo; así como en todos los folíolos de *D. guianense*, *P. piscipula* y *E. cyclocarpum*, correspondiendo también con lo señalado en árboles adultos (Cordero y Boshier 2003, Pennington y Sarukhán 2005).

En cuanto a la filotaxia, las plántulas estudiadas tuvieron un arreglo clasificado como alterna helicoidal en *D. guianense*, *P. Piscipula* y *E. cyclocarpum*. *Calophyllum brasiliense* se caracterizó por ser opuesta y tanto *B. integerrima* como *T. donnell-smithii* se les identificó con una filotaxia decusada. La alterna helicoidal, también

denominada en espiral, se define en cuanto a que la distancia angular entre dos hojas consecutivas es constante, es el tipo más común en el ordenamiento de las hojas (Hallé *et al.* 1978). Las hojas opuestas, se encuentran en el mismo nudo y las decusadas, se encuentran en pares y forman ángulos rectos entre sí, el par de un nudo con el par del siguiente nudo (Hallé *et al.* 1978, Lindorf *et al.* 2006). Esta característica en las hojas es una variable de la simetría del tallo y ésta disposición es generalmente un carácter útil para la identificación y clasificación de las plantas, además este ordenamiento tiene como objetivo hacer más eficiente la captación de la luz (Lindorf *et al.* 2006).

3.6.3. Longitud de tallo y diámetro basal de tallo

Atributos morfológicos como altura del tallo y diámetro de tallo son a menudo indicadores de la calidad de la plántula: por ejemplo Jacobs *et al.* (2005) observaron en el encino rojo del norte (*Quercus rubra* L.) que las plántulas con diámetro basal >0.8 cm y longitud de tallo >50 cm fueron más competitivos cuando se trasplantaron al sitio definitivo. De acuerdo a los datos obtenidos, las especies *E. cyclocarpum*, *C. brasiliense* y *B. integerrima*, tuvieron el mejor desempeño de crecimiento de tallo, los valores fueron superiores o iguales en comparación con lo registrado en la literatura (Oliveira y Joly 2010, Lisboa *et al.* 2014, Viveros *et al.* 2015).

En el caso de *B. integerrima* no se cuenta con referencias sobre el crecimiento, por lo que las comparaciones se realizan con el género *Avicennia* spp. (Acanthaceae), un árbol de manglar con morfología similar, pues presenta raíces zancudas: en *A. marina*, la longitud de tallo fue 26.29 cm, un poco más alto que en la especie en estudio (21.6 cm) a los seis meses de evaluación (Gab-Alla 2003); registros menores se tomaron en *A. marina* (14.93 cm), dichas plantas fueron desarrolladas en condiciones de invernadero durante cinco meses (Khan *et al.* 2013).

Tabebuia donnel-smithii y *D. guianense*, fueron las especies de menor longitud de tallo, pero la primera fue afectada fuertemente por la infección fúngica lo que pudo mermar su crecimiento. Existen registros de que puede llegar a tener una longitud de 35 cm en alrededor de 4 meses, en bolsas plásticas de 5 Kg (Aguirre-Medina *et al.* 2014). La longitud del tallo medida en *D. guianense* (15.2 cm), es similar a los registros obtenidos por Osaigbovo y Nwaoguala (2011) en *D. guineense*

(especie africana) en el mismo tiempo de evaluación, cuando usaron una mezcla de arena de río y suelo (proporción 2:5) como sustrato.

El crecimiento en longitud de las especies forestales, depende del ambiente del lugar de procedencia (Le Bec *et al.* 2015); particularmente, se sabe que *C. brasiliense*, *D. guianense*, *B. integerrima*, *T. donnell-smithii* y *P. piscipula* son consideradas especies tardías, tolerantes a la sombra, por lo tanto se supone que son de lento crecimiento (Boege y Dirzo 2004, Dzib-Castillo *et al.* 2012, Aguirre-Medina *et al.* 2014, Saraiva *et al.* 2014), al contrario de *E. cyclocarpum*, especie considerada como pionera. Las plantas que tienen bajas tasas de crecimiento están determinadas por una respuesta adaptativa a baja disponibilidad de recursos (Boege y Dirzo 2004).

Para el caso del diámetro basal de tallo, los valores más altos registrados corresponden a *B. integerrima* y *T. donnell-smithii*, los cuales fueron superiores o iguales a los resultados de otros autores (Gab-Alla 2003, Aguirre-Medina *et al.* 2014). Las especies con un diámetro basal del tallo entre 0.3 y 0.4 cm fueron: *P. piscipula*, *C. brasiliense* y *E. cyclocarpum*. Tamayo-Chim *et al.* (2012) obtuvieron un diámetro basal de 0.94 cm para *P. piscipula* a los cinco meses, la causa del mayor crecimiento pudo deberse a que las plantas tenían mayor volumen para la expansión de sus raíces (Cruz *et al.* 2016). Tanto Oliveira y Joly (2010) como Ciriello *et al.* (2014) midieron los diámetros de plantas de *C. brasiliense* a los cinco y seis meses en contenedores de 2 y 50 L, respectivamente, y obtuvieron 0.7 cm. Se infiere que, si se requiere un fenotipo grande, las plantas deben cultivarse en contenedores de gran tamaño, pero eso implica más cantidad de sustrato, de fertilizante y mayor espacio para el crecimiento, lo cual incrementa los costos de producción (Pinto *et al.* 2011). Idealmente éste sería un mejor sistema, distinto de lo que se efectúa en un vivero comercial, donde se produce gran cantidad de plantas en un espacio pequeño (Landis *et al.* 1994).

En este experimento, a excepción de *T. donnell-smithii* y *P. piscipula*, las demás especies superaron o fueron iguales a los valores determinados en la literatura para longitud y diámetro basal de tallo, en las mismas especies y en las especies de referencia, que para *D. guianense* y *B. integerrima* fueron *D. guineense* y *A. marina*, por su similitud (Osaigbovo y Nwaoguala 2011, Khan *et al.* 2013, Lisboa *et al.* 2014, Viveros *et al.* 2015). Esto indica que las condiciones ambientales de luz

(50% de sombra), el sustrato y la fertilización en las que se desarrollaron fueron adecuadas. Se ha observado que plántulas que crecen en condiciones de menor luz como las de sotobosque, producen un mayor contenido de clorofila a y b, que les permite absorber mejor la energía luminosa para fotosintetizar, así como mayor cantidad de carotenos, pigmentos que protegen a las clorofilas de la fotooxidación, disipando el exceso de energía (Taiz y Zeiger 2006, Turchetto *et al.* 2016).

Las plantas evaluadas presentaron raíz pivotante con raíces secundarias, propias de las dicotiledóneas, a excepción de *B. integerrima*, cuyas raíces principales se observan de tamaño similar (fasciculada) y a los seis meses de edad formaron varias raíces adventicias; dichas raíces se transformarán en “raíces zancudas” en su etapa adulta, cuya función es la de tolerar inundaciones periódicas (Pennigton y Sarukhán 2005), con este estudio se demostró que las producen desde su etapa juvenil. Cabe señalar que en ninguna de las leguminosas se registraron nódulos fijadores de nitrógeno, observaciones similares las señala Ramos (2008) en *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth; esto parece una característica común en las Caesalpinoideae como *E. cyclocarpum* y *D. guianense* (Corby *et al.* 2011); la ausencia de nódulos está relacionada con una falta de bacterias fijadoras en el sustrato (Gonçalves *et al.* 2013) y aparentemente con la ausencia de nitrógeno en la semilla (Corby *et al.* 2011), como pudiera ser el caso de *P. piscipula*, la cual está reportada como especie formadora de nódulos (Sprent 2009).

3.6.3.2 Número de hojas juveniles

Calophyllum brasiliense formó 12.3 hojas al final del experimento, un poco menos que lo reportado para las plántulas por Oliveira y Joly (2010) a los cinco meses (13.2 hojas), aunque se encontraban en bolsas de 2 L y con solución nutritiva. Comparando el número de hojas de *B. integerrima* con su homóloga *A. marina*, en cinco meses contabilizaron 10 hojas (Khan *et al.* 2013) y en nuestro caso 7.7.

Con respecto a *D. guianense*, el número de hojas totales fue similar a lo registrado en *D. guineense* por Osaigbovo y Nwaoguala (2011); el número de folíolos (7) por metáfilo obtenido al final del ensayo corresponde a las hojas compuestas adultas. *Piscidia piscipula* produjo 5 folíolos por hoja compuesta, no los 7 a 9 folíolos por hoja, peculiares en árboles maduros (Pennington y Sarukhán 2005).

Tabebuia donnell-smithii produce 22.5 hojas en cinco meses, en contenedores de 5 kg (Aguirre-Medina *et al.* 2014), en comparación con 9.7 registradas en este experimento; únicamente se formaron metáfilos de 5 folíolos. Pennington y Sarukhán (2005) refieren para hojas adultas un número de 7 folíolos, valor mucho menor en el número de hojas, el menor desarrollo se debió probablemente a la afección fúngica referida. El número de eófilos y folíolos secundarios de *E. cyclocarpum* corresponden a lo registrado por Gurgel *et al.* (2012). En esta especie, se considera que cada hoja adulta (pinna) puede tener hasta 5-10 pares de folíolos compuestos a su vez de 15-35 pares de folíolos secundarios (Pennington y Sarukhán 2005), este número de hojas juveniles no se alcanzó en este experimento.

Las hojas compuestas son características de las leguminosas y también de *T. donnell-smithii*, tienen la ventaja fisiológica de tener una mayor área foliar, con ello un menor control estomático y pueden ayudar a reducir eficazmente el área de transpiración permitiendo al mismo tiempo el enfriamiento convectivo; asimismo, las leguminosas tienen la capacidad de cambiar la orientación de las hojas a través del movimiento del pulvino localizado en cada folíolo (movimiento paraheliotrópico) durante alta radiación (Tamayo-Chim *et al.* 2012). Otra característica interesante es la pubescencia en *P. piscipula* y *B. integerrima*, propiedad que permite se incremente la capa de frontera y se evite una alta transpiración (Luna-Flores *et al.* 2012).

3.6.3.3. Tasa relativa de crecimiento (TRC)

Generalmente la tasa relativa de crecimiento se representa con el peso seco que acumuló la planta por un tiempo definido (Chaturvedi *et al.* 2012), pero dado que su medición implica un proceso destructivo, se trabajó con el incremento de la longitud y diámetro de cada especie, sobre todo porque *C. brasiliense* y *B. integerrima* son especies amenazadas, una vez que el experimento se terminó, se plantaron en campo. Existen trabajos donde se han utilizado las tasas de crecimiento relativo de longitud y diámetro de tallo en especies forestales como *Cedrela* spp. (Ruiz *et al.* 2013), *Coprosma rhynchocarpa* A. Gray y *Metrosideros polymorpha* J.R. Forst. Ex Hook. f. (Inman-Narahari *et al.* 2014).

Las tasas de crecimiento de árboles tropicales varían ampliamente entre especies y en respuesta a la disponibilidad de recursos (luz, humedad del suelo, nutrientes) y de su condición individual (tamaño y vigor), respondiendo a factores bióticos y abióticos. La disponibilidad de luz es uno de los factores que más influyen en el crecimiento de los árboles tropicales, clasificando a las especies como pioneras o tardías (Rüger *et al.* 2011). En este experimento, las seis especies crecieron en condiciones ambientales iguales, por lo que las diferencias son atribuibles a su información genética y a su proceso de adaptación (Boege y Dirzo 2004, Pommerening y Muszta 2016). Ejemplo de esto fue *C. brasiliense* que, a pesar de su germinación criptocotilar hipógea superó en crecimiento a otras de germinación epígea fanerocotilar, Saraiva *et al.* (2014) demostraron que puede crecer tanto en ambientes con 50% de sombra como sin ella.

Las plantas de *E. cyclocarpum* presentan altas tasas de crecimiento de longitud alrededor de 100 cm año⁻¹ y de diámetro de tallo de 1 cm año⁻¹ (Griscom *et al.* 2005), en este experimento su tasa de crecimiento fue superada por las demás especies, limitada posiblemente por la luz, ya que es una especie que se desarrolla muy bien en zonas perturbadas donde existen altas intensidades lumínicas, igual que *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Muñoz-Flores *et al.* 2013, da Trinidad-Lessa *et al.* 2015).

A excepción de *D. guianense*, las demás especies tuvieron altas tasas de crecimiento relativo, lo que es explicable porque esta especie es tardía sucesional y codominante de selvas altas perennifolias (García-Orth y Martínez-Ramos 2008). Aparentemente tiene un crecimiento lento como respuesta adaptativa a la escasa

disponibilidad de recursos (Boege y Dirzo 2004); sin embargo Boege y Dirzo (2004) no detectaron diferencias estadísticas en el crecimiento del tallo de *Dialium* cuando creció en dos ambientes diferentes (suelo inundable y colina), lo atribuyen a un sistema genético basado en la expresión de respuestas plásticas en los patrones de distribución de los recursos o a la expresión de diferencias genéticas fijadas bajo diferentes ambientes.

Por otra parte *B. integerrima* tuvo una elevada tasa de crecimiento, esto coincide con la capacidad de la especie de formar masas en que es dominante, denominadas canacoitales, demostrado con su alto valor de importancia en las áreas donde está establecida (Maldonado-Sánchez *et al.* 2016). *Tabebuia donnell-smithii* está catalogada como una especie de lento crecimiento en condiciones naturales (Aguirre-Medina *et al.* 2014); Martínez (2013) registró una tasa de crecimiento de tallo a los tres meses, entre 0.06 y 0.15 cm día⁻¹, más alta que lo registrado en este experimento. Las plantas sobrevivientes tuvieron desempeño regular en la tasa de crecimiento del diámetro basal de tallo en las tres etapas de evaluación, siendo superadas también por lo registrado por Martínez (2013), esta especie es considerada heliófila (Macías-Sámano *et al.* 2005), posiblemente el 50% de sombra y la fungosis fueron factores para su menor crecimiento.

La velocidad de crecimiento de las especies forestales varía en un rango amplio dependiendo del genotipo y el ambiente. Por ejemplo, en árboles jóvenes del trópico húmedo el crecimiento del diámetro varió entre 0.007 y 0.017 cm cm⁻¹ día⁻¹ (Rafidinal *et al.* 2014), valores muy inferiores al de especies de crecimiento rápido en las que se reportan tasas cercanas a 0.3 cm cm⁻¹ año⁻¹ (Philipson *et al.* 2014). Por su parte, en especies de clima templado se han registrado tasas de crecimiento longitudinal del tallo de 0.23 cm cm⁻¹ año⁻¹ (Bellingham *et al.* 2016).

3.6.4. Supervivencia de plántulas

El promedio general de supervivencia a los seis meses en este experimento fue del 70.1%, similar a lo registrado por Viani y Rodrigues (2007) cuando trabajaron con especies nativas en condiciones de vivero. La muerte de las plantas y las defoliaciones se debieron particularmente a la afección fúngica (posiblemente por *Alternaria* sp.) que contaminó a la mayoría de las especies y a la presencia del piojo harinoso (posiblemente *Planococcus citri* Risso) en *E. cyclocarpum*.

El control de la enfermedad se efectuó con los fungicidas mencionados en el apartado de Materiales y Métodos, los cuales tuvieron la particularidad de controlar la germinación de las esporas que pudieran estar tanto en el sustrato, como en el follaje. Cuando se colectan semillas obtenidas de árboles silvestres en condiciones tropicales, se corre el riesgo de que se encuentren contaminadas internamente por hongos (U´Ren *et al.* 2009).

Las experiencias obtenidas con estas especies servirán para mejorar las técnicas de manejo, ya que en un vivero se deben producir plantas de calidad (Viani y Rodrigues 2007), aunque aplicando prácticas de producción sostenible, limitando en lo posible el uso de pesticidas químicos y favoreciendo el control biológico en el manejo de plagas (Dennis *et al.* 2010). Por ejemplo, Cibrián *et al.* (2008), recomienda inocular el sustrato con *Trichoderma* spp. un hongo antagonista de *Alternaria* sp.

Las especies cuya producción es intensiva como en eucalipto el período de permanencia en vivero es menor a 6 meses (Stape *et al.* 2001), en especies nativas y silvestres este período puede alargarse porque su crecimiento puede ser más lento; Lu *et al.* (2016), señalan entre uno y dos años, todo dependerá de sus características genéticas y morfológicas. Los valores registrados en este estudio son positivos, se mejoraría el desempeño de las plantas teniendo un control fitosanitario estricto tanto en la procedencia de la semilla, como durante la producción. En la Tabla 3.5 se resumen los requerimientos y observaciones básicas sobre las especies en estudio para mejorar su desempeño en el vivero.

Las especies de hoja ancha como *B. integerrima*, *P. piscipula* y *T. donnell-smithii*, requerirán un mayor espacio entre las plantas para mejorar su crecimiento, evitando de esta manera la competencia por luz, porque lo importante es que formen un buen sistema aéreo y radicular para una mejor supervivencia en campo (Lisboa *et*

al. 2012). Con la experiencia obtenida, las plantas de *C. brasiliense*, *B. integerrima* y *P. piscipula* son especies prometedoras para utilizarse en programas de reforestación en zonas tropicales, por su crecimiento rápido y adecuado, el tiempo requerido para producirlas sería de seis meses; *E. cyclocarpum* se debe producir a cielo abierto para que aumente el grosor de tallo ideal para su trasplante a campo y en el caso de *D. guianense*, las plantas requieren alrededor de siete meses en el vivero, para producir el número de folíolos/hoja equivalente al de una planta adulta, y de un año aproximadamente para aumentar su longitud de tallo que puede ser de 1 m sin manejo (Román-Dañobeytia *et al.* 2012). A partir de este trabajo se pueden generar posteriores investigaciones para obtener el paquete tecnológico completo para obtener plantas de calidad y en tiempos cortos.

Tabla 3.5. Consideraciones para mejorar el cultivo de algunas especies nativas tropicales en condiciones de vivero

Especie	Tratam. pregerm.	Semillas/ alveolo	Germinación	Tipo de semilla	Necesidad de espacio
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Eliminar la cubierta seminal	Una semilla por alvéolo	Criptocotilar hipógea	Recalcitrante	Ninguno
<i>Bravaisia integerrima</i>	Ninguno	Hasta 5 semillas por alvéolo	Fanerocotilar epígea	Posiblemente recalcitrante	Contenedores de mayor capacidad por la producción de raíces adventicias y su hojas anchas
<i>Dialium guianense</i>	Escarificación mecánica con lija por 5 segundos en la zona contraria al hilum	Hasta 2 semillas por alvéolo	Fanerocotilar epígea	Intermedia	Ninguno
<i>Piscidia piscipula</i>	Ninguno	Hasta 5 semillas por alvéolo	Fanerocotilar epígea	Posiblemente intermedia	Contenedores de mayor capacidad o colocarlas alternadamente en los alvéolos por la producción de hojas anchas
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	Ninguno	Hasta 5 semillas por alvéolo	Fanerocotilar epígea	Recalcitrante	Contenedores de mayor capacidad o colocarlas alternadamente en los alvéolos por la producción de hojas anchas
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Escarificación mecánica con lija por 5 segundos en la zona contraria al hilum	Una semilla por alvéolo	Fanerocotilar epígea	Ortodoxa	Ninguno

3.7. Conclusiones

Las plántulas de *Bravaisia integerrima*, *Piscidia piscipula* y *Tabebuia donnell-smithii* desarrolladas en condiciones de umbráculo durante 6 meses presentan diferencias morfológicas entre los cotiledones foliáceos y las hojas juveniles (eófilos y metáfilos). Los cotiledones de *B. integerrima* son orbiculares, los de *P. piscipula* oblongos y en *T. donnell-smithii* oblongos con un ápice marcadamente hendido y en las tres especies, los eófilos y los metáfilos tienen una forma ovada; *Calophyllum brasiliense*, *Dialium guianense* y *Enterolobium cyclocarpum* se caracterizan por tener cotiledones de reserva. *Calophyllum brasiliense* posee hojas juveniles morfológicamente iguales a lo largo de su crecimiento y fue la única especie con germinación criptocotilar hipógea, las demás se destacaron como epígea fanerocotilar. En el caso de las plantas con hojas compuestas, el número de folíolos por hoja juvenil fue menor (entre 3 a 5) al descrito para las hojas adultas, en *P. piscipula* y *T. donnell-smithii*, cuando son adultas contienen 7 folíolos/hoja. *E. cyclocarpum* tuvo 5-10 pares de folíolos a diferencia de 15-35 cuando es un árbol adulto; *D. guianense* cuenta con 7 folíolos/hoja, número característico como en su adultez. Las especies que presentan mayor crecimiento en longitud del tallo fueron *E. cyclocarpum*, *C. brasiliense* y *B. integerrima*, y en diámetro basal *B. integerrima*, *P. piscipula* y *T. donnell-smithii*. El número de hojas juveniles fue más alto en *C. brasiliense*, *D. guianense* y *T. donnell-smithii*. Las tasas de crecimiento relativo en todas las especies son superiores en el primer período de crecimiento (0-2 meses de edad), y menores en el último (4-6 meses de edad), siendo *B. integerrima*, *C. brasiliense* y *P. piscipula* las de mayor crecimiento de longitud de tallo: 0.0052-0.0036 cm cm⁻¹ día⁻¹. *Bravaisia integerrima*, *P. piscipula* y *C. brasiliense* cuentan con la mayor tasa de crecimiento de diámetro basal: 0.0062-0.0055 cm cm⁻¹ día⁻¹, a los seis meses de edad. *Bravaisia integerrima* a los cinco meses de edad desarrolló raíces adventicias en 17% de las plantas evaluadas, característica que la identifica como una excelente alternativa para reforestar áreas inundables

3.8. Bibliografía

- Adegoke F, Akinyele A, Ogundwande O. 2014. Effect of seed size and source on early seedling growth of *Terminalia ivorensis* (Chev.). *Agriculture and Forestry* **60**: 157-166.
- Aguirre-Medina JF, Culebro-Cifuentes F, Cadena-Iñiguez J, Aguirre-Cadena JF. 2014. Crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii* Rose inoculada con hongos micorrízicos y *Azospirillum brasilense*. *Agrociencia* **48**:331-345.
- Bellingham PJ, Richardson SJ, Mason NWH, Veltman CJ, Allen RB, Allen WJ, Barker RJ, Forsyth DM, Nicol SJ, Ramsey DSL. 2016. Introduced deer at low densities do not inhibit the regeneration of a dominant tree. *Forest Ecology and Management* **364**: 70-76.
- Benítez G, Equihua M, Pulido-Salas MT. 2002. Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **8**: 5-12.
- Berjak P, Pammenter NW. 2008. From *Avicennia* to *Zizania*: seed recalcitrance in perspective. *Annals of Botany* **101**: 213-228.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. 2013. *Seeds Physiology of development, germination and dormancy*. New York: Springer Science+Business Media.
- Bloor JM, Grubb PJ. 2003. Growth and mortality in high and low light: trends among 15 shade-tolerant tropical rain forest tree species. *Journal of Ecology* **91**:77-85.
- Boege K, Dirzo R. 2004. Intraspecific variation in growth, defense and herbivory in *Dialium guianense* (Caesalpiniaceae) mediated by edaphic heterogeneity. *Plant of Ecology* **175**:59-69.
- Castillo-Acosta O, Capello-García S, Cámara-Cabrales LC, Vargas-Simón G. 2013. *Bravaisia integerrima* (Spreng) Standl. In: Capello SG, Cámara LC, *Manual del Jardín Botánico Universitario José Narciso Roviroso*, Villahermosa: Colección José Narciso Roviroso. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 21-23.
- Castillo JJ, Gama L, Zequeira C. 2008. Análisis de regresión lineal en un sistema de información geográfico para determinar la tasa de deforestación en el estado de Tabasco. *Kuxulkab'* **15**:15-18.

- Celis G, Jose S. 2011. Restoring abandoned pasture land with native tree species in Costa Rica: effects of exotic grass competition and light. *Forest Ecology and Management* **261**:1598-1604.
- Chaturvedi RK, Raghubanshi AS, Singh JS. 2012. Growth of tree seedlings in a tropical dry forest in relation to soil moisture and leaf traits. *Journal of Plant Ecology*: **1-13**, doi: 10.1093/jpe/rts025.
- Cibrián D, García S, Don Juan B. 2008. *Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales*. México DF: Comisión Nacional Forestal.
- Ciriello V, Guerrini IA, Backes C. 2014. Nitrogen doses on the initial growth and nutrition of guanandi plants. *Cerne* **20**: 653-660.
- CONAFOR 2005. *Manual técnico para la producción de plantas*. Zapopan: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
- Corby HDL, Smith DL, Sprent JI. 2011. Size, structure and nitrogen content of seeds of Fabaceae in relation to nodulation. *Botanical Journal Linnean Society* **167**: 251-280.
- Cordero J, Boshier DH. (eds.) 2003. *Árboles de Centroamérica, un Manual para Extensionistas*. Oxford Forestry Institute, Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), CD-ROM.
- Cruz SFR, de Andrade AL, Feitosa CR. 2016. Seedlings production of umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) in different substrates and size of bags. *Ciência Florestal* **26**: 69-80.
- Da Trinidad-Lessa BF, Nobre-de Almeida JP, Lobo-Pinheiro C, Melo-Gomez F, Medeiros-Filho S. 2015. Germination and seedling Growth of *Enterolobium contortisiliquum* as a function of seed weight and temperature and light conditions. *Agrociencia* 49:315-327.
- Das S, Ghose M, Paria N. 2001. Seedling morphology of some mangroves of sundarbans, India: A taxonomic approach. *Feddes Repertorium* **112**: 357-369.
- De Jesus MVA, Braccini LA, de Souza AL, Moscheta SI, Gonçalves MGE, Santos LF. 2014. Morfoanatomia da plântula e do tirodendro de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Clusiaceae). *Acta Scientiarum* **36**: 443-449.
- De Vogel EF. 1980. *Seedlings of dicotyledons. Structure, development, types*. Wageningen: Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc).

- Del Amo S, Vergara MC, Ramos JM, Sainz C. 2009. *Germinación y manejo de especies del bosque tropical* (No. 635.8 Z94). Universidad Veracruzana, Veracruz.
- DOF 2017. *Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2017*. México DF: Diario Oficial (DOF), Decimocuarta sección, Poder Ejecutivo, Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 28 de diciembre de 2016.
- Dennis JH, Lopez RG, Behe BK, Hall CR, Yue C, Campbell BL. 2010. Sustainable production practices adopted by greenhouse and nursery plant growers. *HortScience* **45**:1232-1237.
- Duke JA. 1965. Keys for the identification of seedling of some prominent woody species in eight forest types in Puerto Rico. *Annals of Missouri Botanical Garden* **52**: 314-350.
- Dzib-Castillo B, van der Wal H, Chantásig-Vaca I, Macario PA, Pat JM. 2012. Emergencia de plántulas de árboles maderables nativos de la Península de Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **3**:77-87.
- Flores-Vindas E, Obando-Vargas G. 2003. *Árboles trópico húmedo* (No. 582.16097286 F634). Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Gab-Alla A, Khafagi I, Salama W, Fouda M. 2003. Production of nursery-reared seedlings of the gray mangrove *Avicennia marina* under laboratory conditions. *Egyptian Journal of Biology* **5**: 55-61.
- García-Orth X, Martínez-Ramos M. 2008. Seed dynamics of early and late successional tree species in tropical abandoned pastures: seed burial as a way of evading predation. *Restoration Ecology* **16**:435-443.
- González E, Cobas M, Bonilla M, Sotolongo R, Castillo I, García I, Medina M. 2014. Experiencias en la producción de plantas cultivadas en los viveros forestales en contenedores. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* **2**:1-13.
- Gonçalves GF, Alexandre SR, Silva GA, Lemes QE, Rocha AP, Ribeiro PAM. 2013. Emergency and quality of *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) seedlings in different substrates. *Revista Árvore* **37**:1125-1133.
- Griscom HP, Ashton PMS, Berlyn GP. 2005. Seedling survival and growth of native tree species in pastures: Implications for dry tropical forest rehabilitation in central Panama. *Forest Ecology and Management* **218**: 306-318.

- Gurgel CES, dos Santos MJU, Lucas AFC, Bastos CMN. 2012. Leguminosae seedlings morphology and the systematic potential. *Rodriguésia* **63**: 065-073.
- Hallé F, Oldeman RAA, Tomlinson PB. 1978. *Tropical trees and forests. An architectural analysis*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hernández LM, Gómez R, Andrés J. 2013. *Plagas de insectos importantes y enfermedades fúngicas en cultivo de guanábana*. Santiago Ixcuintla: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Ibarra-Manríquez G, Ramos M, Oyama K. 2001. Seedling functional types in a lowland rain forest in Mexico. *American Journal of Botany* **88**:1801-1812.
- Inman-Narahari F, Ostertag R, Asner GP, Cordell S, Hubberll SP, Sack L. 2014. Trade-offs in seedling growth and survival within and across tropical forest microhabitats. *Ecology and Evolution* **4**:3755-3767.
- Jacobs DF, Salifu KF, Seifert JR. 2005. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests* **30**: 235-251.
- Khan MU, Ahmed M, Shaukat SS, Nazim K, Ali QM. 2013. Effect of industrial waste on early growth and phytoremediation potential of *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. *Pakistan Journal of Botany* **4**: 7-27.
- Kolotelo D, van Steenis E, Peterson M, Bennett R, Trotter D, Dennis J. 2001. *Seed handling guidebook*. British Columbia: Ministry of Forests.
- Landis TD, Tinus RW, Mcdonald SE, Barnett JP. 1994. *The container tree Nursery manual*. Washington DC: Department of Agriculture, Forest Service.
- Le Bec J, Courbaud B, Le Moguédec G, Pélissier R. 2015. Characterizing tropical tree species growth strategies: learning from inter-individual variability and scale invariance. *PloS one* **10**(3), e0117028.
- Lindorf H, de Parisca L, Rodríguez P. 2006. *Botánica*. Caracas: Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca.
- Lisboa CA, Santos DPS, Neto NOS, Castro DND, Abreu MDAH. 2012. Effect of volume of tubes on the production of seedlings of *Calophyllum brasiliense* and *Toona ciliata*. *Revista Árvore* **36**:603-609.
- Lobo G, Santana D, Salomão A, Rehbein L, Wielewicki A. 2014. A technological approach to the morphofunctional classification of seedlings of 50 Brazilian forest species. *Journal of Seed Science* **36**:087-093.

- López A. 2012. *Deforestación en México: análisis preliminar*. México DF Centro de Investigación y Docencia Económicas AC.
- Lu Y, Ranjitkar S, Xu JC, Ou XK, Zhou YZ, Ye JF, Wu XF, Weyerhaeuser H, He J. 2016. Propagation of Native Tree Species to Restore Subtropical Evergreen Broad-Leaved Forests in SW China. *Forests* **7**:12.
- Luna-Flores W, Estrada-Medina H, Jiménez-Osornio JM, Pinzón-López L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana* **30**:343-353.
- Macías-Sámano J, Palacios D, Meléndez G, Colomo F, Castillo I. 2005. *Manual de manejo de plantaciones (Tabebuia donell-smithii)*. San Cristóbal de las Casas: El Colegio de la Frontera Sur, CD (No. EE/634.973209727 M3).
- Machado FC, Oliveira AJ, Davide CA, Guimarães MR. 2002. Methodology for performing germination test of *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson seeds. *Cerne* **8**:17-25.
- Maldonado-Sánchez E, Ochoa-Gaona S, Ramos-Reyes R, Guadarrama-Olivera MA, González-Valdivia N, de Jong JB. 2016. La selva inundable de canacoite en Tabasco, México, una comunidad vegetal amenazada. *Acta Botánica Mexicana* **115**:75-101.
- Martínez S. 2013. *Desarrollo de plántulas de tres especies tropicales en combinación con inoculación micorrízica bajo inundación artificial*. Tesis, Montecillo, Colegio de Postgraduados.
- Meli P, Martínez-Ramos M, Rey-Benayas J, Carabias J. 2014. Combining ecological, social and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science* **17**: 744-753.
- Moreno-Casasola P, Paradowska K. 2009. Plantas útiles del bosque tropical seco en dunas costeras del centro del estado de Veracruz. *Madera y Bosques* **15**: 21-44.
- Moya-Roque R, Tenorio-Monge C. 2013. Características de combustibilidad de diez especies de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* **10**:26-33.

- Muñoz-Flores HJ, García-Magaña JJ, Orozco-Gutiérrez, Coria-Avalos VM, Nájera-Rincón B. 2013. Evaluación de una plantación con dos especies tropicales en diferentes tipos de envases. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **4**:28-43.
- Nery FC, Alvarenga AA, Justo CF, Dousseau S, Vieira VC. 2007. Effect of temperature and coat in the germination of *Calophyllum brasiliense*. *Ciência e Agrotecnologia* **31**: 1872-1877.
- Niembro A, Vázquez M, Sánchez OM. 2010. *Árboles de Veracruz, 100 especies para reforestación estratégica*. Gobierno del Estado de Veracruz, Centro de Investigaciones Tropicales, Veracruz.
- Oliveira CV, Joly CA. 2010. Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. *Trees* **24**:185-193.
- Osaigbovo AU, Nwaoguala CNC. 2011. Growth response of black velvet tamarind (*Dialium guineense* Willd) seedling to different potting media. *Journal of Applied Natural Science* **3**:166-170.
- Pennington TD, Sarukhán J. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica.
- Pérez-Hernández I, Ochoa-Gaona S, Vargas-Simón G, Mendoza-Carranza M, González-Valdivia A. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas en un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y Bosques* **17**: 79-91.
- Philipson CD, Dent DH, O'Brien MJ, Chamagne J, Dzulkifli D, Nilus R, Philips S, Reynolds G, Saner P, Hector A. 2014. A trait-based trade-off between growth and mortality: evidence from 15 tropical tree species using size-specific relative growth rates. *Ecology and Evolution* **4**: 3675-3688.
- Pinto JR, Marshall JD, Dumroese RK, Davis AS, Cobos DR. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* **261**: 1876-1884.
- Pommerening A, Muszta A. 2016. Relative plant growth revisited: towards a mathematical standardisation of separate approaches. *Ecological Modell* **320**: 383-392

- Rafdinal, Mukhtar E, Syamsuardi, Hermansah. 2014. Survival and growth rate of several climax species of tree in tropical rains forest Ulu Gadut West Sumatra Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Science* **17**: 1130-1135
- Ramos PMB, Ferraz KID. 2008. Estudos morfológicos de frutos, sementes e plântulas de *Enterolobium schomburgkii* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae). *Revista Brasileira de Botânica* **31**: 227-235.
- Rojas-Rodríguez F, Torres-Córdoba G. 2016. Árboles del valle central de Costa Rica: reproducción de cortés amarillo (*Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nichols). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* **13**:66-68.
- Román F, de Sautu R, Deago A, Hall J, Jefferson S. 2012. *Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá and los Neotrópicos*. Panamá: Environmental Leadership & Training Initiative (Elti), Proyecto de reforestación con especies nativas (Prorena).
- Rüger N, Berger U, Hubbell SP, Vieilledent G, Condit R. 2011. Growth strategies of tropical tree species: disentangling light and size effects. *Plos One* **6**, e25330 doi:10.1371/journal.pone.0025330.
- Ruiz V, Meloni D, Fornes L, Ordano M, Hilal M, Prado E. 2013. Seedling growth and water relations of three *Cedrela* species sourced from five provenances: response to simulated rainfall reductions. *Agroforestry Systems* **87**:1005-1021.
- Sánchez A. 2011. *Tabasco naturaleza en agonía, causas del calentamiento, un análisis geográfico*. Villahermosa: Colección José N. Roviroso. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Saraiva FRG, Souza MG, Rodrigues DJ. 2014. Aclimação e fisiologia de mudas de Guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras. *Colloquium Agrariae* **10**: 01-10.
- Schmidt L. 2016. *Genetics and forest seed handling*. In Pancel L, Köhl M (eds.) Tropical Forestry Handbook, Springer-Verlag, Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-642-54601-3_78
- SEMARNAT 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación,.

- SEMARNAT 2014. NMX-AA-170-SCFI-2014. *Certificación de la operación de viveros forestales*. México DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Economía, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.
- SEMARNAT 2015. *Manual para el manejo de germoplasma forestal*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México DF: Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Economía, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.
- Soriano D, Huante P, Gamboa-de Buen A, Orozco-Segovia A. 2013. Seed reserve translocation and early seedling growth of eight tree species in a tropical deciduous forest in Mexico. *Plant Ecology* **214**: 1361-1375.
- Sprent JI. 2009. *Legume nodulation, a global perspective*. Wiley-Blackwell. Singapore
- Stape JL, Gonçalves JLM and Gonçalves AN. 2001. Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. *New Forests* **22**: 19-41.
- Taiz L, Zeiger E. 2006. *Plant physiology*, fourth edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland.
- Tamayo-Chim M, Reyes-García C, Orellana R. 2012. A combination of forage species with different responses to drought can increase year-round productivity in seasonally dry silvopastoral systems. *Agroforestry Systems* **84**:287-297.
- Tropicos® 2016.Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 17 Mar 2016 <http://www.tropicos.org>
- Turchetto F, Araujo Mm, Tabaldi LA, Griebler AM, Rorato DG, Aimi SC, Berghetti PAL, Gomes DR. 2016. Can transplantation of forest seedlings be a strategy to enrich seedling production in plant nurseries? *Forest Ecology and Management* **375**: 96-104.
- U'Ren JM, Dalling JW, Gallery RE, Maddison DR, Davis EC, Gibson CM, Arnold AE. 2009. Diversity and evolutionary origins of fungi associated with seeds of a neotropical pioneer tree: a case study for analysing fungal environmental samples, *Mycological Research* (2009), doi:10.1016/j.mycres.2008.11.015.
- Van Breugel M, Hall JS, Craven DJ, Gregoire TG, Park A, Dent DH, Wishnie MH, Mariscal E, Deago J, Ibarra D, Cedeño N, Ashton MS. 2011. Early growth and

- survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management* **261**: 1580-1589
- Vargas-Simón G, Molina-Martínez RF, Moguel-Ordoñez EJ. 2003. Caracterización del fruto, semilla y estudios de germinación del guapaque (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith.). *Universidad y Ciencia* **38**: 77-83.
- Viani RAG, Rodrigues RR. 2007. Sobrevivência em viveiro de mudas de espécies nativas retiradas da regeneração natural de remanescente florestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **42**:1067-1075.
- Villar R, Ruiz-Robledo J, Quero JL, Poorter H, Valladares F, Marañón T. 2004. *Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas*, In: Valladares, F. (Ed). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Viveros H, Hernández JD, Velasco MV, Robles R, Ruiz C, Aparicio A, Martínez MJ, Hernández J, Hernández ML. 2015. Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencia Forestal* **6**: 52-65
- Vozzo JA. 2001. *Tropical tree seed manual* (No. USDA AH-721). Washington, DC: Department of Agriculture.
- Wright IJ, Clifford HT, Kidson R, Reed ML, Rice BL, Westoby M. 2000. A survey of seed and seedling characters in 1744 Australian dicotyledon species: cross-species trait correlations and correlated trait-shifts within evolutionary lineages. *Biological Journal of Linnean Society* **69**:521-547
- Wong KJ, Abdullah TL, Hassan SA, Puteh A. 2015. Seed dormancy and germination pattern of *Andrographis paniculata* at different maturity stages. *Seed Science and Technology* **43**: 324-330.

CAPÍTULO 4 Especies arbóreas para reforestación en zonas costeras del trópico húmedo



CAPÍTULO 4. Especies arbóreas potenciales para reforestación en zonas costeras del trópico húmedo

4.1. Resumen

Las áreas costeras del trópico húmedo han sido deterioradas por diferentes causas, especialmente antropogénicas, lo cual repercute en la pérdida de biodiversidad, por lo que en programas de reforestación es necesario evaluar especies arbóreas que toleren condiciones de mediana fertilidad y baja disponibilidad de agua. Bajo un diseño de bloques al azar con seis repeticiones se evaluó, durante 23 meses, el crecimiento de cinco especies (*Ceiba pentandra*, *Tabebuia rosea*, *Gliricidia sepium*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Brosimum alicastrum*) a las cuales se les cuantificó el porcentaje de supervivencia así como la longitud de tallo (LT) y el diámetro basal del tallo (Db). A partir de éstos, se obtuvieron las tasas relativas de crecimiento (TCR) y el área basimétrica total (AB). La supervivencia se analizó con una regresión logística con el procedimiento Logistics (programa SAS) y el análisis estadístico de las demás variables se efectuó mediante el método de mediciones repetidas. Al final del experimento la supervivencia fue alta en *G. sepium* (88%) y *C. pentandra* (86%), mientras que *B. alicastrum* presentó alta mortalidad a partir de los 3 meses de evaluación. *T. rosea* y *E. cyclocarpum* mostraron valores intermedios de supervivencia (54.2 y 52.1 %). Los mayores valores en LT (2.8 m) y en Db (7.8 cm) se presentaron en *C. pentandra* y de 2.5 m y 3.9 cm en *G. sepium*. Esta última se comportó como un arbusto, su AB fue de 5.9 m² ha⁻¹ y se diferenció notoriamente de *C. pentandra* (23 m² ha⁻¹). En general, las TCR variaron entre 0.0040-0.0079 cm cm⁻¹ día⁻¹ en LT; entre 0.0063 y 0.0087 cm cm⁻¹ día⁻¹ en Db para todas las especies. Se demostró la alta capacidad de *G. sepium* y *C. pentandra* para crecer y sobrevivir en las áreas costeras del trópico húmedo.

Palabras clave: supervivencia, longitud de tallo, área basimétrica, tasas relativa de crecimiento

4.2. Abstract

The coastal areas of the humid tropics have been deteriorated due to different causes, especially anthropogenics, which has an impact on biodiversity loss, so reforestation programs need to evaluate tree species that tolerate medium fertility and low water availability conditions. Under a randomized block design with six replicates, the growth of five species (*Ceiba pentandra*, *Tabebuia rosea*, *Gliricidia sepium*, *Enterolobium cyclocarpum* and *Brosimum alicastrum*) was evaluated for 23 months, which were quantified by percentage of survival as well as stem length (SL) and stem basal diameter (BD). From the latter, relative growth (RGR) and total basimetric area (BA) rates were obtained. Survival was analyzed using a logistic regression from logistics procedure (SAS program), and statistical analysis of the other variables was performed by the method of repeated measurements. At the end of the experiment, survival was high in *G. sepium* (88%) and *C. pentandra* (86%), while *B. alicastrum* presented high mortality after 3 months of evaluation. *T. rosea* and *E. cyclocarpum* showed intermediate survival values (54.2 and 52.1%). The highest values of SL (2.5 m) and BD (7.8 cm) were found in *C. pentandra* and 2.5 m y 3.9 cm in *G. sepium*. *G. sepium* behaved like a shrub, its BA was 5.9 m² ha⁻¹ and was notoriously different from *C. pentandra* (23 m² ha⁻¹). In general, the RGR varied between 0.0040-0.0079 cm cm⁻¹ day⁻¹ en LT; between 0.0063 y 0.0087 cm cm⁻¹ day⁻¹ in BD, for all species. The high capacity of *G. sepium* and *C. pentandra* to grow and survive in the coastal areas of the humid tropics was demonstrated.

Key words: survival, stem length, basal area, relative growth rate

4.3. Introducción

México ocupa uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo, lo que ha provocado una gran pérdida de vegetación (Torres-Rojo 2004). Se estima que la agricultura (comercial) es responsable de cerca del 80 por ciento de la deforestación. La ganadería, minería, la construcción de infraestructuras y la expansión urbana también son importantes motores de la degradación de bosques y tierras (Sabogal *et al.* 2015). Particularmente el bosque húmedo tropical cumple un papel importante a nivel mundial como reservorio de carbono, fuente de productos de valor económico y proveedor de servicios ecosistémicos y de biodiversidad, pero es uno de los ecosistemas más afectados (Tonini *et al.* 2008, Sabogal *et al.* 2013). El establecimiento de plantaciones se ha propuesto como una herramienta para la restauración de bosques; estudios han demostrado que la composición del dosel de las plantaciones influye en el reclutamiento de nuevas especies, además actúan como sumideros de bióxido de carbono que pueden mitigar el efecto de invernadero (Pedraza y Williams-Linera 2003). La restauración se define como toda actividad intencional mediante la cual se inicia o se acelera el proceso de recuperación de un ecosistema en situación de degradación (Sabogal *et al.* 2015). Con la aplicación de un programa de reforestación en zonas degradadas, hay diferentes beneficios cuando se utilizan especies nativas, entre los más importantes están el incremento en el hábitat de la vida silvestre y en la biodiversidad, así como protección de superficies y de las reservas de mantos acuíferos Streed *et al.* (2006); entre las zonas que requieren más atención se encuentran las costeras, porque, entre otros factores el cambio climático ha propiciado serios problemas de erosión e inundación, perdiéndose terreno y biodiversidad (Ramos-Reyes *et al.* 2016). Entre las especies introducidas que mejor prosperan en dichas zonas están *Cocos nucifera* L., *Terminalia catappa* (Gaertn.) Eichler y *Casuarina equisetifolia* L. (Moreno-Casasola y Paradowska 2009) y de las nativas, se mencionan *Cedrela odorata* L., *Diphysa robinoides* Benth., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Tabebuia rosea* Bertol. DC. y *Chrysobalanus icaco* L. entre 55 especies. Las zonas costeras se caracterizan por tener suelo arenoso, con baja retención de agua y mediana fertilidad, con pH entre 6.3 y 6.7, moderada salinidad en ciertas épocas del año (Palma-Lopez *et al.* 2007); un medio difícil para las plantas por la baja disponibilidad de agua. Por ello, se

estableció este experimento con el objetivo de conocer la respuesta de crecimiento de cinco especies propias de clima cálido húmedo que pudieran servir como pioneras en la reforestación de estas áreas costeras: *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (Malvaceae), *Tabebuia rosea* (Bignoniaceae), *Gliricidia sepium* (Fabaceae: Papilionoideae), *Enterolobium cyclocarpum* (Fabaceae: Mimosoideae) y *Brosimum alicastrum* Sw. (Moraceae). Estas especies son seleccionadas generalmente para programas de reforestación en zonas tropicales (van Breugel *et al.* 2011), usadas por los pobladores en cercos vivos, ya que sirven de alimento para el ganado (*G. sepium*) y en la India como barrera rompevientos y soporte para pimienta negra (*Piper nigrum* L.) (Dagar y Minhas 2016), como madera (*T. rosea*) y sombra para el ganado; las semillas tienen uso artesanal (*E. cyclocarpum*), de crecimiento rápido (*C. pentandra*) y los frutos son alimento para humanos y para el ganado (*B. alicastrum*) (Román-Dañobeytia *et al.* 2007, Bonilla-Moheno y Holl 2010; Pineda-Herrera *et al.* 2016). Sus hábitat naturales se encuentran en los bosques tropicales húmedos y secos con diferente status sucesional (Pennington y Sarukhán 2005, Román-Dañobeytia *et al.* 2007).

4.4. Materiales y Métodos

El área de experimentación se ubicó en Felipe Carrillo Puerto, Centla, Tabasco, México ($18^{\circ} 53' \text{ LN}$, $92^{\circ} 72' \text{ LW}$) (Figura 4.1).

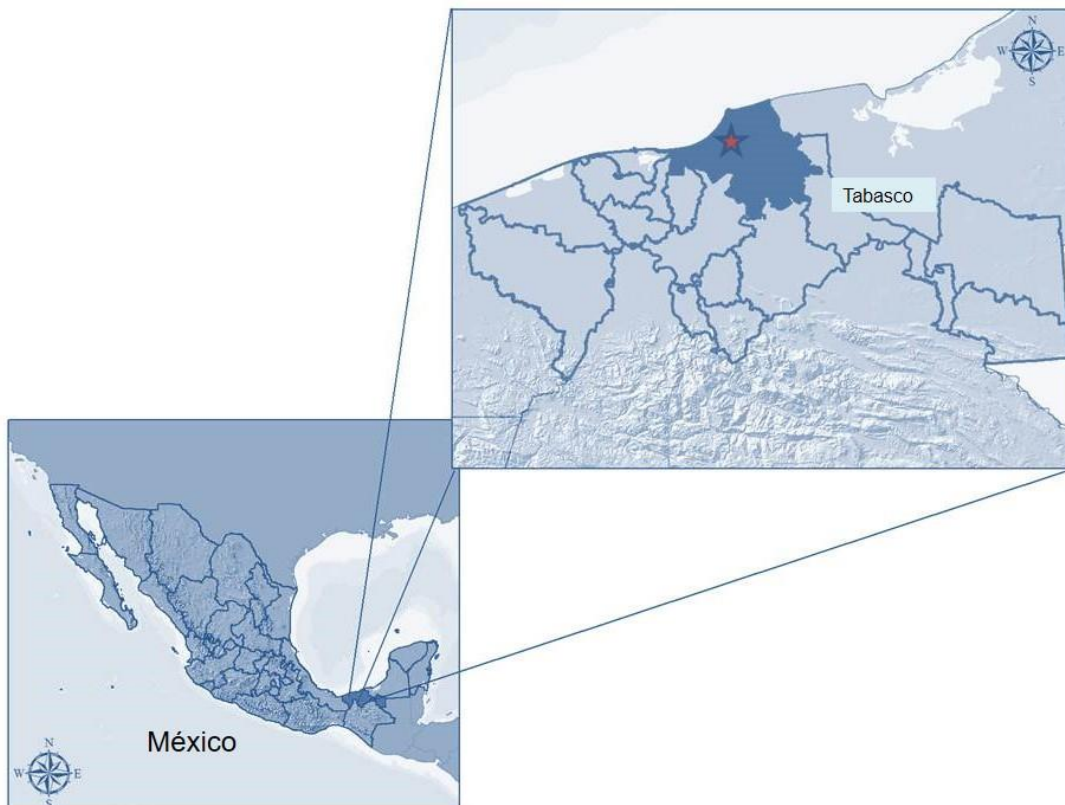


Figura 4.1. Localización del área de experimentación: Felipe Carrillo Puerto, Centla, Tabasco, México

El área de estudio se encuentra en un clima clasificado como Am(f), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y a una elevación de 2 m. Durante el tiempo de evaluación (23 meses) se registraron temperaturas promedio mínimas de $20.0 \pm 2.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y máximas de $29.7 \pm 3.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; precipitaciones anuales de 1617.3 mm en 2014 (marzo-diciembre) y 2217 mm en 2015 (enero-diciembre) y de 262.5 mm en 2016 (enero-febrero); las fluctuaciones de temperaturas y precipitación acumuladas pueden observarse en la Figura 2. El suelo es de textura arenosa, clasificado como Arenosol (Palma-López *et al.* 2007). El pH es de 6.9 y la conductividad eléctrica

(C.E.) 0.608 dS cm^{-1} (promedio de tres muestras mixtas de toda el área, tomadas a 15 cm de profundidad), estos datos se analizaron con una Sonda Multiparámetros YSI 556 MPS usando el método establecido por la NOM-021-RECNAT-2000.

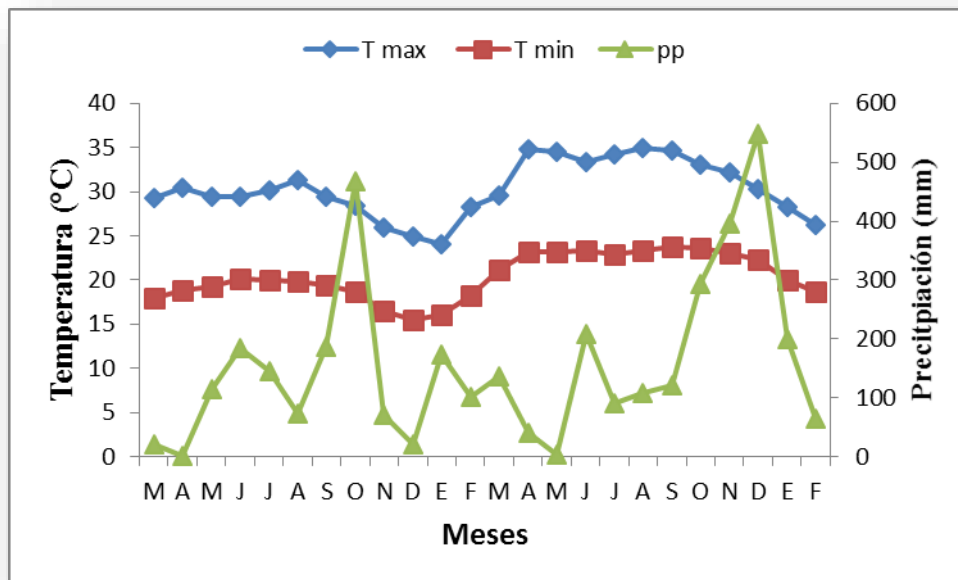


Figura 4.2. Condiciones ambientales registradas durante el tiempo de evaluación de crecimiento de especies arbóreas (marzo 2014-febrero 2016) en Felipe Carrillo Puerto, Centla, Tabasco, México. Fuente: Comisión Nacional del Agua (Conagua 2016).

El área fue limpiada de árboles y malezas con tractor y manualmente, las plantas de cada especie se plantaron en 5 parcelas de superficie cuadrangular con una extensión de 110.25 m^2 cada una, a distanciamiento de $1.5 \times 1.5 \text{ m}$ entre ellas; en un diseño de bloques al azar con seis repeticiones. Se estableció un total de 36 plantas por parcela, la parcela útil ocupó 56.25 m^2 (16 plantas) con un total de 96 plantas útiles por especie. Las especies en estudio fueron: *Tabebuia rosea*, *Ceiba pentandra*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Brosimum alicastrum*. Las plantas de seis meses fueron proporcionadas por la Comisión Nacional Forestal (Conafor), Gerencia Villahermosa y en el caso de *G. sepium* por Vicoplan (Viveros y Comercializadora de Plantas Jobel S.C. de R.L. de C.V.); el trasplante de todas las plantas se realizó con cepellón. Se proporcionó riego de auxilio manual en primavera de 2014 y deshierbe manual cada cuatro meses. La especie *G. sepium* tuvo un comportamiento de tipo arbustivo, produciendo varios tallos y sin dominancia apical,

por lo que se podaron ramas y se dejó solamente la más vigorosa para promover el crecimiento apical y medir un único tallo al igual que las otras especies arbóreas.

4.4.1. Variables

La supervivencia y las mediciones de longitud de tallo y diámetro basal de tallo se realizaron en intervalos de tres meses después del trasplante hasta el mes 18 y posteriormente de cinco meses hasta el mes 23. Con los datos de crecimiento se obtuvieron las tasas relativas de la longitud del tallo y del diámetro basal de tallo.

La tasa relativa de crecimiento (TRC) expresa el crecimiento en términos de la tasa de incremento en tamaño por unidad de tamaño inicial. Las fórmulas para su cálculo son TCRL (Ec. 1) y TCRDb (Ec. 2):

$$TCRL = \frac{[\ln(h_2) - \ln(h_1)]}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Donde *TCRL* es la tasa relativa de crecimiento de la longitud del tallo, *h* es la longitud final e inicial del tallo (*h₂*, *h₁*) en diferentes tiempos (*t₂-t₁*) al final y al inicio de cada período del experimento

$$TCRDb = \frac{[\ln(d_2) - \ln(d_1)]}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Donde *TCRDb* es la tasa relativa de crecimiento del diámetro basal del tallo, *d₂* es el diámetro basal del tallo final y *d₁* el diámetro inicial en diferentes tiempos (*t₂-t₁*) al final y al inicio del experimento (Celis y Jose 2011).

Además se calculó el área basal (*ABp*) (Ec. 3) y el área basimétrica total (*AB*) (Ec. 4) de cada parcela, cabe aclarar que se usaron los diámetros basales de los tallos por ser árboles de corta edad, con las siguientes fórmulas (Serrada-Hierro 2008):

$$ABp = \left(\frac{\pi}{40000}\right) \times (\sum di^2) \quad (3)$$

$$AB = \frac{ABp \times 10,000}{Sp} \quad (4)$$

Donde:

ABp es el área basal de la parcela (m^2)

$\pi = 3.1416$

d_i es el diámetro basal del tallo en cm

$\sum d_i^2$, es la sumatoria del cuadrado del diámetro basal del tallo de los individuos cuantificados en la parcela

AB es el área basimétrica de cada parcela ($m^2 ha^{-1}$)

S_p es la superficie de la parcela en m^2

4.4.2. Diseño experimental y análisis estadístico

Se evaluó el crecimiento vegetativo de las cuatro especies forestales que sobrevivieron (*T. rosea*, *E. cyclocarpum*, *G. sepium* y *C. pentandra*) bajo un diseño de bloques al azar con seis repeticiones utilizando 16 plantas como unidad experimental. La supervivencia se analizó con una regresión logística para cada una de las fechas de medición (7) con el Proc Logistics de SAS v. 9.4 (SAS Institute Inc., Cary NC USA). Se analizó el efecto de dos factores (bloque y especie) sobre la probabilidad de supervivencia en cada una de las fechas (3-23 meses). Entonces, para cada fecha se denotó por P_{ijk} a la probabilidad de supervivencia para la planta k -ésima de la especie j -ésima en el bloque i -ésimo, donde $i=1, \dots, 6$ para los seis bloques; $j=1, \dots, 5$ para las cinco especies y $k=1, \dots, 16$ para las plantas de cada especie en cada bloque. Para estimar las probabilidades P_{ijk} se ha utilizado una regresión logística con la siguiente formulación matemática:

$$p_{ijk} = \frac{1}{1 + \exp(-Z_{ijk})}$$

siendo

$$Z_{ijk} = \log\left(\frac{p_{ijk}}{1 - p_{ijk}}\right) = \mu + \alpha_i + \beta_j$$

donde μ es el efecto de media general, α_i es el efecto del bloque i -ésimo y β_j es el efecto de la especie j -ésima.

Como es habitual la estimación de estos parámetros se ha hecho mediante el método de máxima verosimilitud. La comparación de especies se ha hecho

utilizando los valores medios para los logit, es decir, $\log\left(\frac{p}{1-p}\right)$, de cada una de las especies. Finalmente, a partir de ellos se han estimado las probabilidades para cada una de las especies.

Las variables longitud de tallo, diámetro basal de tallo y área basimétrica fueron analizadas estadísticamente por medidas repetidas en el tiempo a través del Proc Mixed del paquete estadístico SAS 9.4. Los datos fueron procesados por análisis de varianza con medidas repetidas utilizando un modelo lineal mixto con dos factores inter-sujetos (especies y bloques) en un diseño de bloques al azar y un factor intra-sujetos (fechas) con ocho niveles. La fórmula matemática del modelo está dada por:

$$Y_{ijk;t} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_t + \alpha\gamma_{it} + \beta\gamma_{jt} + \varepsilon_{ijk;t}$$

siendo $i=1,\dots,6$ para los bloques; $j=1,\dots,5$ para las especies, $k=1,\dots,16$ para las plantas (repeticiones) y $t=1,\dots,8$ para las medidas repetidas, donde:

$Y_{ijk;t}$ = logaritmo natural de la variable observada en la repetición k de la especie, j en el bloque i en la fecha t .

μ = efecto de la media general .

α_i =efecto principal del bloque i .

β_j = efecto principal de las especies j .

γ_t = efecto principal de la fecha t .

$\varepsilon_{ijk;t}$ = error aleatorio en la variable observada para la repetición k de la especie j en el bloque i en la fecha t .

Los otros términos son las interacciones dobles usuales entre los dos factores: factor inter-sujetos y el factor intra-sujetos. Además, la suposición para el modelo es:

$\varepsilon_{ijk;t} \sim N(0, \sigma_{jt}^2)$, con σ_{jt}^2 = varianza aleatoria para los errores de la especie j en el tiempo t .

- $Cov(\varepsilon_{ijk;t}, \varepsilon_{i'j'k';t'}) = \begin{cases} \sigma_{jt}\sigma_{j't'}\rho_j^{|t-t'|} & \text{si } i = i', j = j', k = k' \text{ y } t \neq t', \\ 0 & \text{de otro modo} \end{cases}$

siendo ρ_j = coeficiente de correlación entre errores de fechas consecutivas.

Por lo tanto, el modelo incluye treinta y seis parámetros de varianza, los cuales fueron estimados utilizando el Método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

Para el caso de la tasa relativa de crecimiento de longitud de tallo y la tasa relativa de crecimiento de diámetro basal de tallo, los valores fueron transformados

por medio de raíz cuadrada (\sqrt{x}), el análisis de varianza y la prueba de medias se efectuó de la misma forma que para las variables longitud y diámetro basal de tallo.

Se realizaron además las comparaciones entre medias de mínimos cuadrados estimadas con el modelo, para ello se usó la prueba Tukey-Kramer con un nivel de significancia de 0.05 y se aplicaron contrastes individuales a las comparaciones del crecimiento total durante el experimento para las especies. Se analizó la normalidad de los residuales estudentizados usando la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

4.5. Resultados

4.5.1. Supervivencia

En la primera evaluación (3 meses), los porcentajes de supervivencia más altos se registraron en *Gliricidia sepium* (95%) y *Ceiba pentandra* (92 %); los más bajos para las otras especies arbóreas: *Tabebuia rosea* (84%), *Enterolobium cyclocarpum* (70%) y *Brosimum alicastrum* (36%). La tendencia en cada especie se mantuvo hasta el final del estudio (23 meses), *G. sepium* con 88.8% y *C. pentandra* con 86.8% (Figura 3); *T. rosea* presentó menor supervivencia 54.2% y *E. cyclocarpum* 52.1%; en *B. alicastrum*, se registró mortandad total a los seis meses.

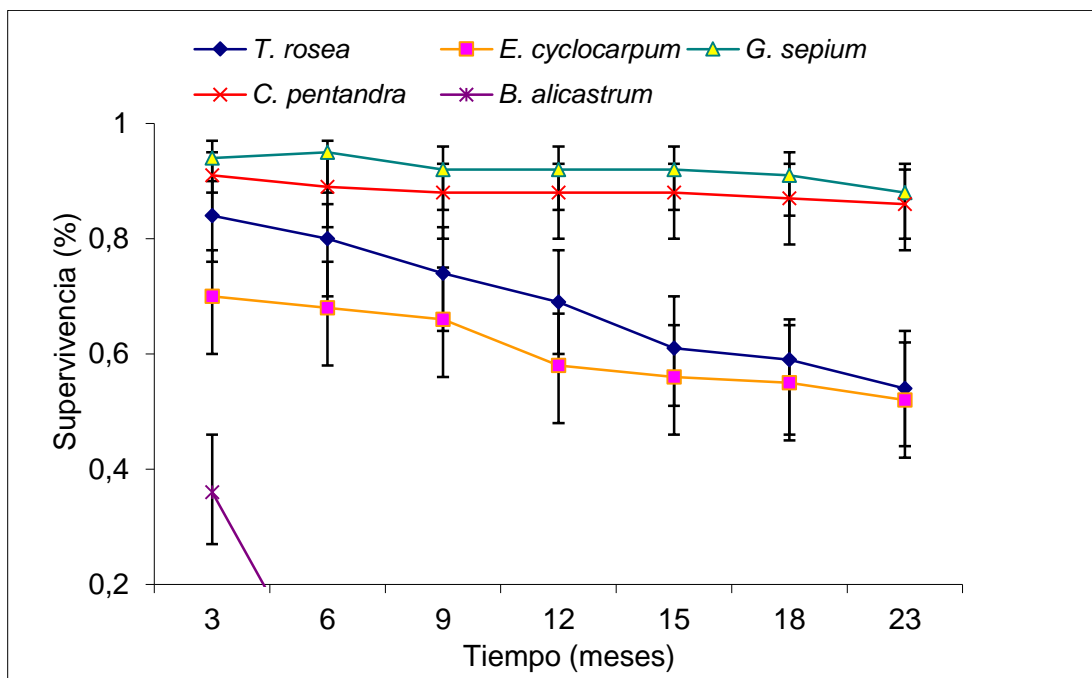


Figura 4.3. Porcentaje de supervivencia en diferentes períodos de tiempo de cinco especies forestales luego del trasplante al campo. Las barras indican los límites de confianza con 95 % de probabilidad.

4.5.2. Crecimiento: longitud de tallo y diámetro basal de tallo

En este apartado se muestra el análisis de varianza de medidas repetidas de los datos transformados de las variables de crecimiento de las especies supervivientes (*Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Ceiba pentandra*).

En el análisis de varianza de medidas repetidas de datos transformados se obtuvieron diferencias altamente significativas en longitud de tallo ($F_{3,375} = 285.3$, $P < 0.01$) y diámetro basal de tallo ($F_{3,375} = 211.3$, $P < 0.01$) entre las especies en los 23 meses de evaluación.

El comportamiento del crecimiento de la longitud de tallo de las especies arbóreas estudiadas se puede observar en la Figura 4.4. Se denotan diferencias estadísticas altamente significativas entre ellas en cada período de medición ($F_{21,2024} = 34.1$, $P < 0.01$), siendo *C. pentandra* y *G. sepium* las de mayor valor y las especies *E. cyclocarpum* y *T. rosea* las de menor crecimiento. Las diferencias estadísticas entre las especies fueron particularmente homogéneas a partir del mes 12. La media transformada ($\ln x$ (cm)) fue 5.6 para *C. pentandra*, 5.4 en *G. sepium*, 4.9 en *E. cyclocarpum* y 4.7 para *T. rosea* en el último período de medición.

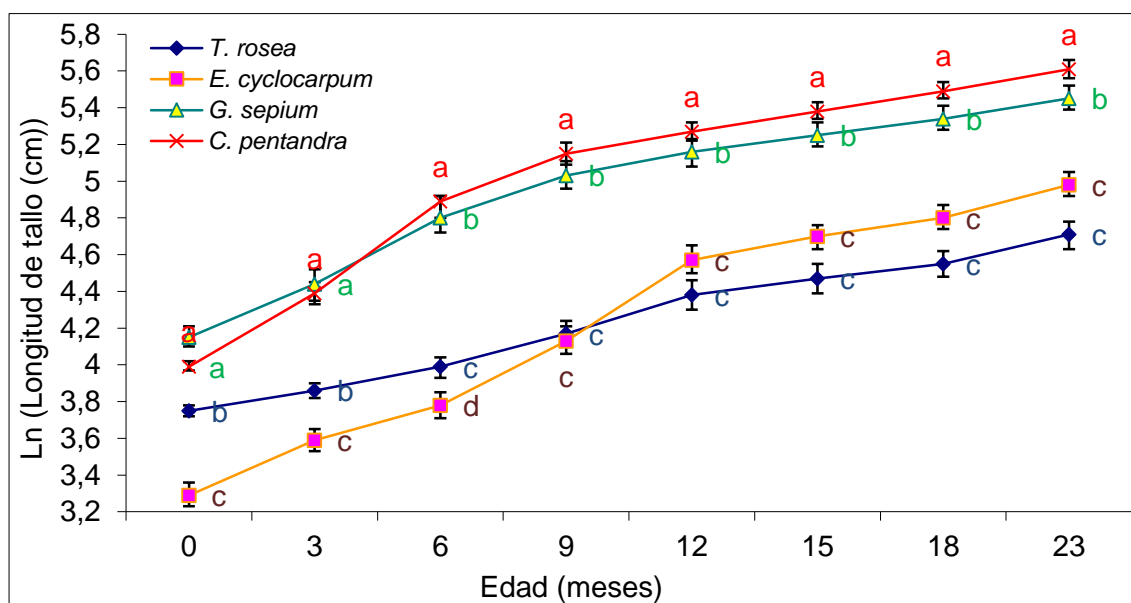


Figura 4.4. Crecimiento en longitud del tallo en longitud en cuatro especies arbóreas. Medias con letra diferente en cada período de evaluación muestran diferencias significativas (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras corresponden a los intervalos de confianza al 95% para las medias.

En el diámetro basal de tallo, también se obtuvieron diferencias altamente significativas entre las especies ($F_{3,375} = 211.3$, $P < 0.01$) en el análisis de varianza por

medidas repetidas. Para esta variable, la tendencia del crecimiento fue similar que en longitud de tallo, donde *C. pentandra* y *G. sepium* resaltaron desde el inicio del experimento hasta el final (Figura 4.5); en la interacción especie x fecha hubo igualmente diferencias estadísticas significativas ($F_{21,2016} = 16.3$, $P < 0.01$). Se determinó una media transformada ($\ln x$ (cm)) de 1.9 en *C. pentandra* y 1.3 en *G. sepium*. La media transformada en *E. cyclocarpum* fue 1.0 y en *T. rosea* 0.9 en el mes 23. Se observó que la predisposición de las especies al crecimiento en diámetro basal de tallo fue homogénea a partir del mes 9, denotándose que no se encontraron diferencias significativas entre sus medias transformadas.

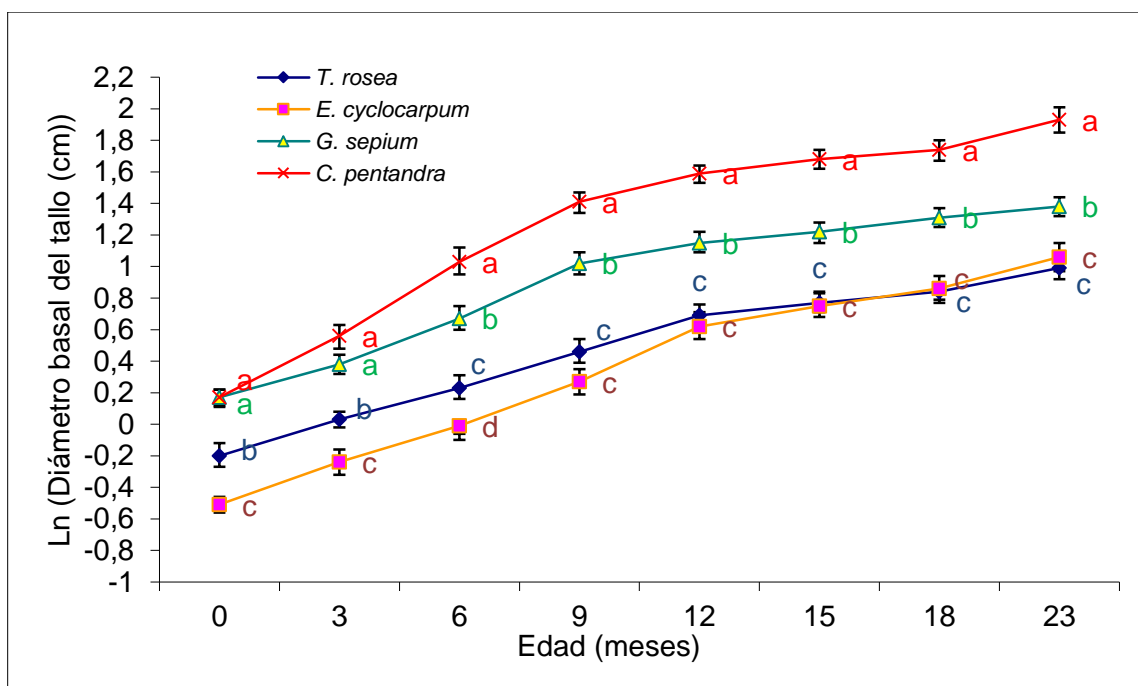


Figura 4.5. Crecimiento de diámetro basal del tallo en cuatro especies arbóreas. Medias con letra diferente en cada período de evaluación muestran diferencias significativas (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras corresponden a los intervalos de confianza al 95% para las medias.

4.5.3. Tasas relativas de crecimiento (TRC): longitud de tallo y diámetro basal de tallo

En el anova calculado, en los datos transformados (\sqrt{x} (cm cm⁻¹ día⁻¹)) de la TRC del tallo se obtuvieron diferencias estadísticas altamente significativas entre las especies ($F_{3,316} = 55.0$, $P < 0.01$). El mismo resultado se obtuvo en la interacción especie x fecha ($F_{18,1530} = 28.6$, $P < 0.01$). Las tasas más altas se registraron en el mes 6 en *C. pentandra* y *G. sepium*, con disminución drástica a partir del mes 9. *Enterolobium cyclocarpum* y *T. rosea* tuvieron una máxima tasa a partir del mes 12 (Figura 4.6), después del mes 15 todas las especies disminuyeron en su respuesta, de tal manera que en sus medias no se detectaron diferencias significativas en el mes 15 y 18, pero si fueron diferentes en el mes 23, donde las tasas fueron 0.039 en *E. cyclocarpum*, 0.035 en *T. rosea*, 0.31 en *G. sepium* y 0.025 en *C. pentandra*.

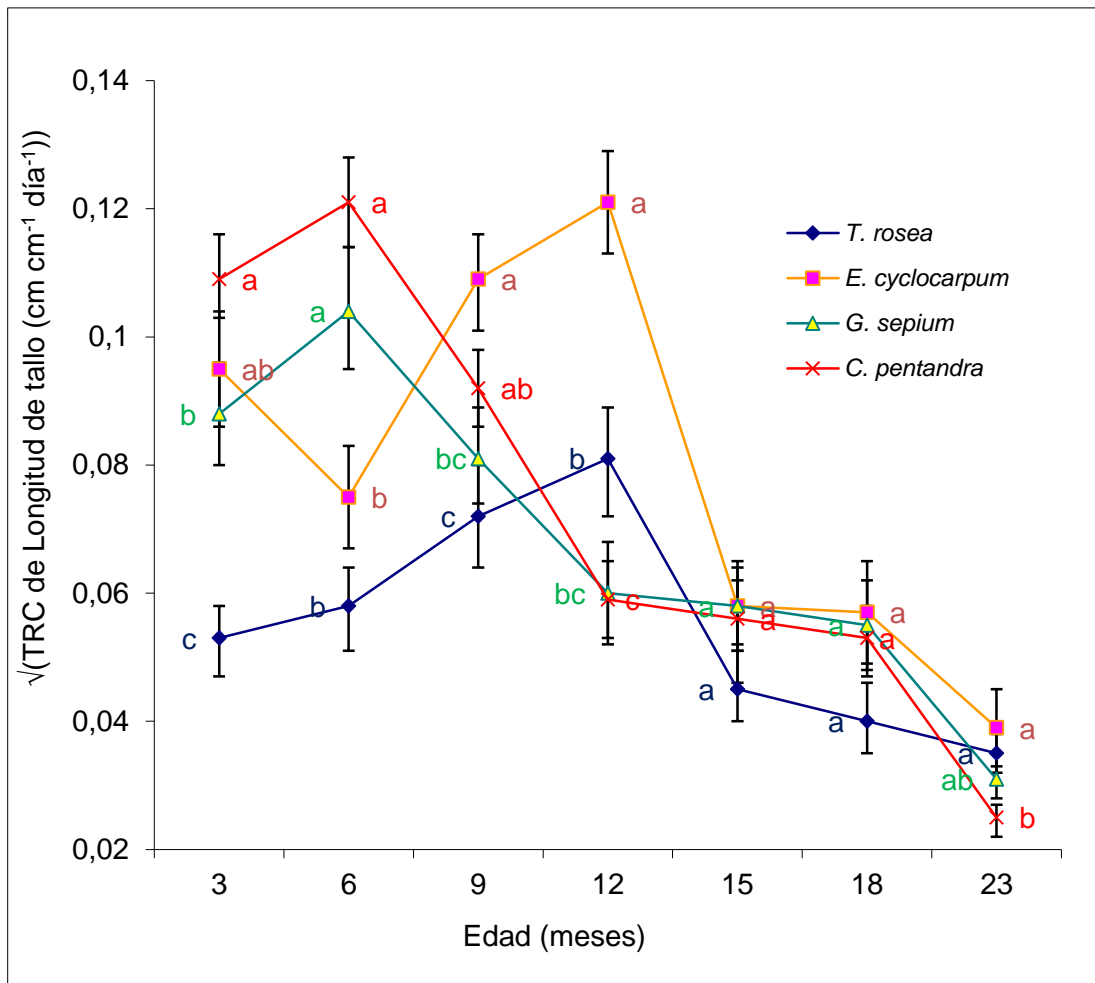


Figura 4.6. Tasa relativa de crecimiento de longitud del tallo en cuatro especies arbóreas. Medias con letra diferente en cada período de evaluación muestran diferencias significativas (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras corresponden a los intervalos de confianza al 95% para las medias.

Con respecto al anova de los datos transformados de la TRC del diámetro basal del tallo (\sqrt{x} ($\text{cm cm}^{-1} \text{ día}^{-1}$)), se registraron diferencias estadísticas altamente significativas ($F_{3,312} = 19.7$, $P < 0.01$) entre las especies y también para los períodos de evaluación ($F_{18,1232} = 8.2$, $P < 0.01$). El comportamiento de las TRC del diámetro basal de tallo fue similar para las especies en cada período del estudio (Figura 4.7). *Ceiba pentandra* tuvo un alto valor en el mes 6, disminuyendo hasta obtener 0.036 en el último mes de evaluación (23); *E. cyclocarpum* tiene un valor alto en el mes 12 en comparación con las demás especies disminuyendo al igual que las otras a partir del mes 15 y en el mes 23 muestra una tasa de 0.04. En el último mes del estudio, en *T. rosea*, se obtuvo una tasa de 0.034 y en *G. sepium* de 0.025.

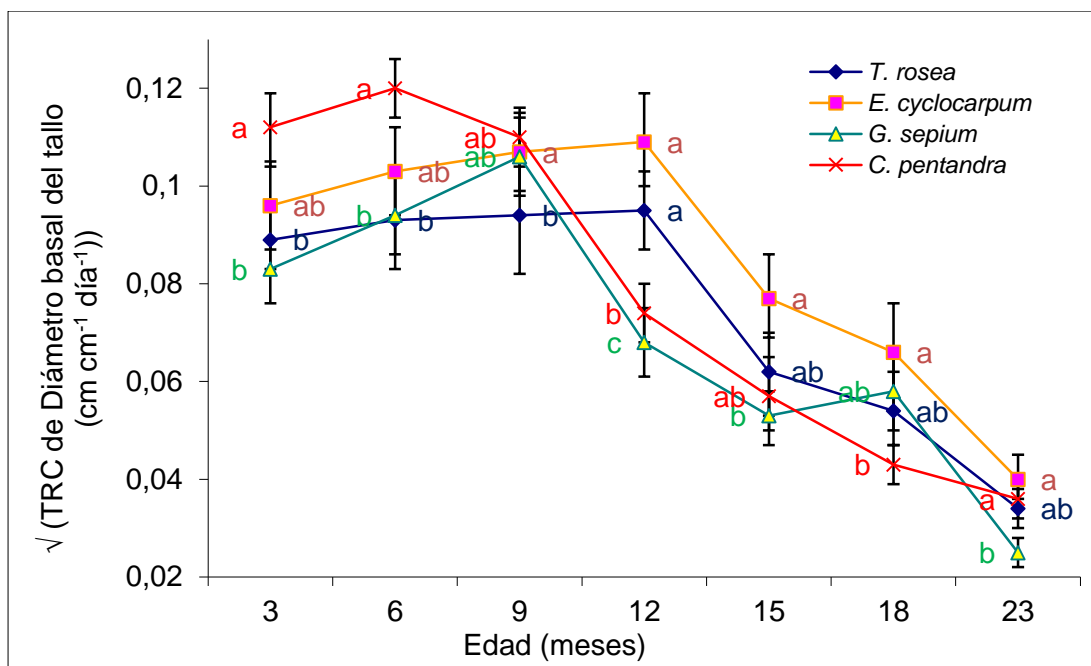


Figura 4.7. Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal del tallo en cuatro especies arbóreas. Medias con letra diferente en cada período de evaluación muestran diferencias significativas (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras corresponden a los intervalos de confianza al 95% para las medias.

4.5.4. Área basimétrica (AB)

Los cálculos del análisis de varianza de los datos transformados del AB ($\ln x$ ($m^2 ha^{-1}$)) mostraron diferencias altamente significativas entre las especies ($F_{3,15} = 37.62$, $P \leq 0.05$) y entre los períodos trimestrales de evaluación ($F_{21,105} = 4.0$, $P < 0.01$). En esta variable, la comparación de medias en cada período mostró diferencias altamente significativas para cada trimestre evaluado ($P \leq 0.05$). La separación de medias es muy notoria desde el primer mes de evaluación (Figura 4.8) entre *C. pentandra* y *G. sepium* con las de menor AB (*T. rosea* y *E. cyclocarpum*). Para esta variable, al término de la evaluación, las medias transformadas para cada especie fueron: 2.8 en *C. pentandra*, 1.7 en *G. sepium*, 0.62 en *E. cyclocarpum* y 0.52 en *T. rosea*.

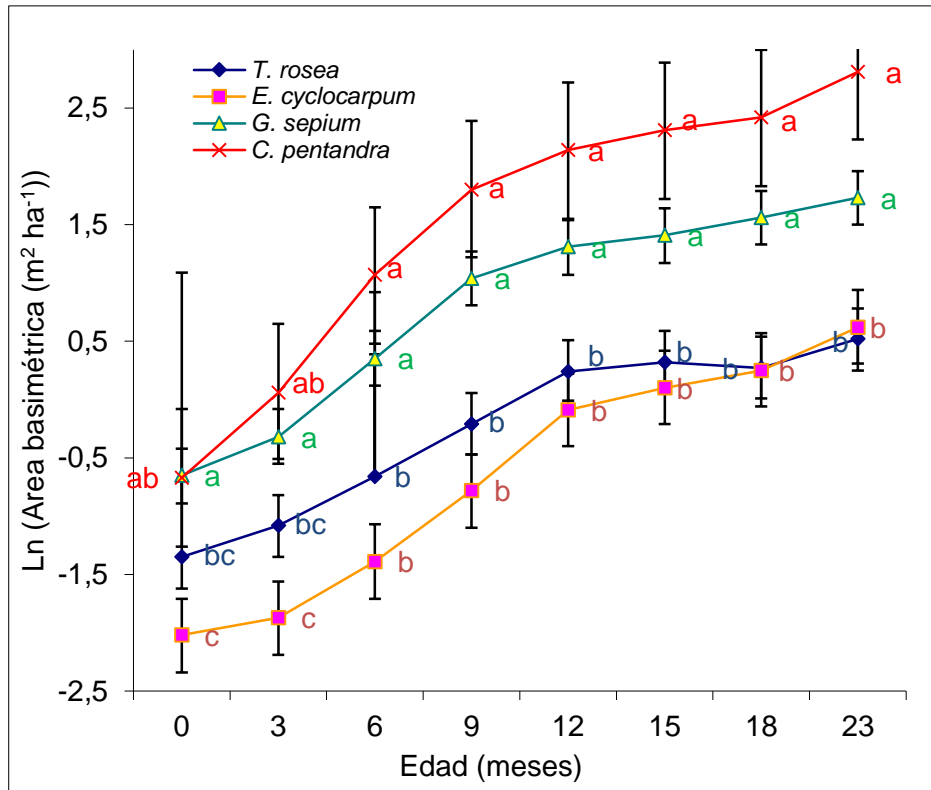


Figura 4.8. Área basimétrica en diferentes especies arbóreas. Medias con letra diferente en cada período de evaluación muestran diferencias significativas (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras corresponden a los intervalos de confianza al 95% para las medias.

En la Figura 4.9, se muestran ejemplares de las especies arbóreas a los 23 meses de evaluación. Se observa el porte arbustivo de *G. sepium* (Figura 4.9a), las longitudes de tallo menores en *E. cyclocarpum* (Figura 4.9b) y en *T. rosea* (Figura 4.9c); y el gran desarrollo en *C. pentandra* (Figura 4.9d)

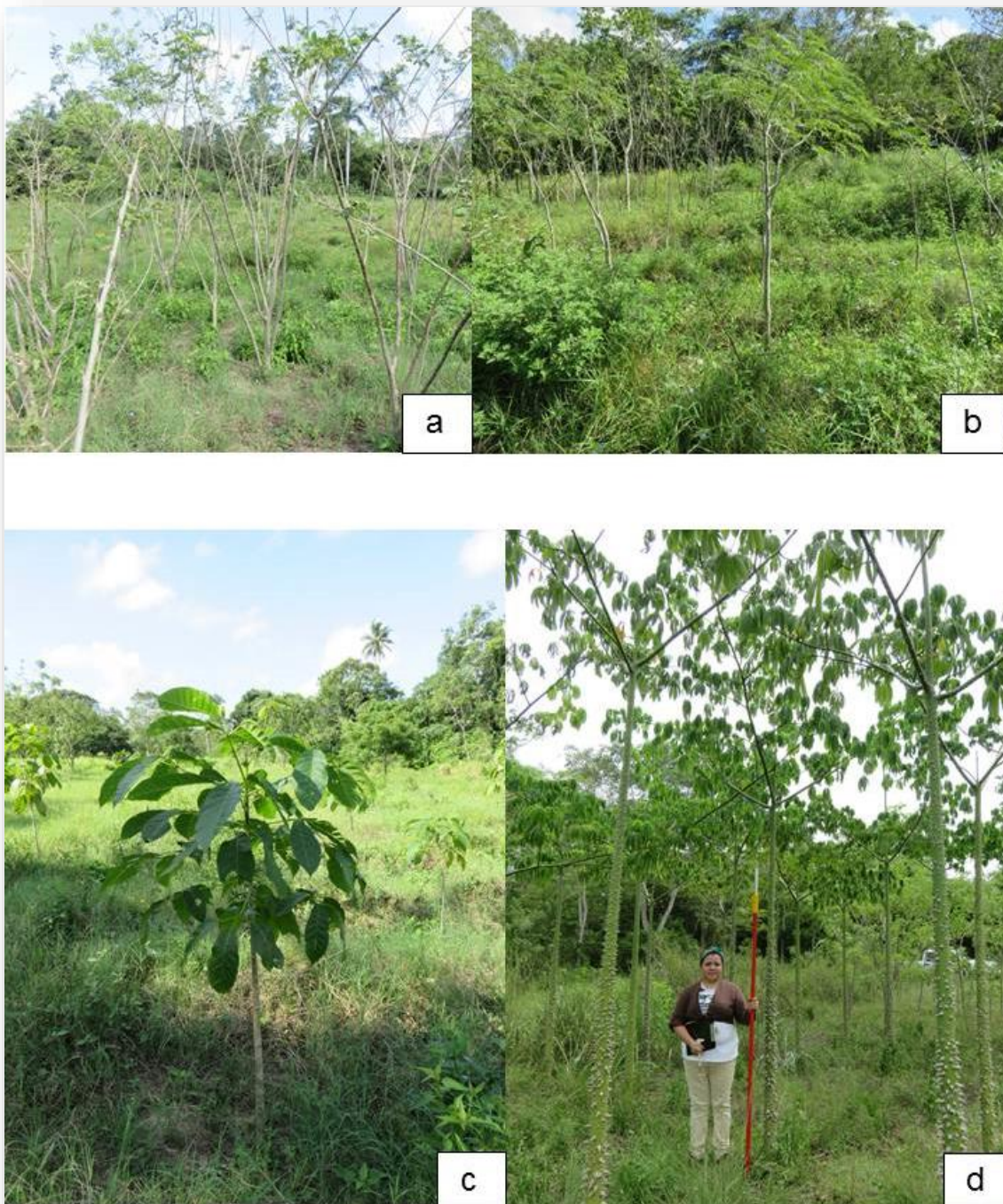


Figura 4.9. Árboles jóvenes de *Gliricidia sepium* (a), *Enterolobium cyclocarpum* (b), *Tabebuia rosea* (c) y *Ceiba pentandra* (d) de 23 meses después del trasplante en una zona costera, Tabasco, México.

4.6. Discusión

4.6.1. Supervivencia

La supervivencia de las especies de este estudio *C. pentandra* y *G. sepium* se encuentra en el rango de excelente según la clasificación de Román-Dañobeytia *et al.* (2012), quienes adjudican esa calificación cuando las especies arbóreas sobreviven después de 18 meses en un 76-100%, estudio en 14 especies tropicales. La supervivencia de *E. cyclocarpum* y *T. rosea* es considerada como “buena” (51-75%), siendo un mínimo aceptable según Elliott *et al.* (2003); menor o igual al 25% es considerada “mala”, lo que corresponde a *B. alicastrum* al principio del experimento.

En diversos estudios, *C. pentandra* y *G. sepium* se caracterizan por tener altas tasas de supervivencia. De Souza *et al.* (2010), registraron 97.2% en *C. pentandra* a los seis años de edad, lo que según Joslin *et al.* (2016) es debido a su capacidad de ser pionera en procesos sucesionales. En estudios con *E. cyclocarpum* se han cuantificado valores de supervivencia entre 59.4 y 62.5%, para *B. alicastrum*, de 44.8 y 48.5% o menores, cuando se establecieron en pastizales (Laborde y Corrales-Ferrayola 2012). *B. alicastrum*, es un árbol que crece en bosques del trópico húmedo; las condiciones del suelo (arenoso y con poca disponibilidad de agua) fueron inapropiadas para esta especie, además de ser tardía, de lento crecimiento y que pudiera requerir un dosel arbóreo para su permanencia y mejor crecimiento (Laborde y Corrales-Ferrayola 2012).

La supervivencia de *T. rosea* fue de 85.1% a los cuatro años y de 51.1% a los cinco años en un estudio realizado en Panamá, en suelos profundos y bien drenados (Hall *et al.* 2011), comparativamente más alta que la registrada en este trabajo, 54.2% a los 23 meses. *E. cyclocarpum*, es una especie propia del bosque semi-decíduo, tiene preferencias de crecimiento a campo abierto. En este estudio, se creía que su supervivencia podía ser mayor de la obtenida; sin embargo, la muerte de las plantas se debió a una fungosis en la zona apical, ocasionada posiblemente por oomicetos, patógenos que ocasionan el “damping off”, propio de las plántulas de zonas tropicales (Bell *et al.* 2006), además se observaron plantas muertas por deshidratación, datos similares se obtuvieron a los cuatro años en el estado de Veracruz, México (Laborde y Corrales-Ferrayola 2012). Se ha demostrado que la sequía, induce a la reducción de la fotosíntesis e inanición de Carbono por el cierre

estomático, provoca fallas hidráulicas en el xilema y muerte de los árboles por la pérdida excesiva de agua (Camarero *et al.* 2015).

4.6.2. Crecimiento: longitud de tallo y diámetro basal de tallo

El análisis de varianza de medidas repetidas, involucró la medición continua sobre las mismas plantas por un periodo dado en la unidad experimental, permitiendo registrar información cuantitativa de patrones individuales de cambios (Davis 2002). Es una herramienta estadística importante cuando se desea revisar el efecto de cualquier factor en función del tiempo, como el realizado por Adams *et al.* (2015), quienes evaluaron el efecto de la sequía y el calor en el crecimiento de árboles de clima semiárido; y el trabajo de da Silva *et al.* (2002), quienes revisaron el patrón de crecimiento en el diámetro normal de algunas especies arbóreas en Brasil.

Las condiciones de mediana fertilidad del suelo arenoso (contenidos de materia orgánica entre 0.06 y 0.33%) (Palma-López *et al.* 2007), baja disponibilidad de agua por la textura, bajas precipitaciones ($< 160 \text{ mm mes}^{-1}$ en promedio) durante el período de estudio y temperaturas altas (máximas de $29.7 \pm 3.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio) (Figura 4.2), propiciaron un bajo crecimiento en la mayoría de las especies.

En este experimento, mediante el anova de medidas repetidas en estas dos variables se encontraron diferencias estadísticas entre especies y en cada período de evaluación, demostrándose una diferencia entre las especies de mayor crecimiento absoluto (*C. pentandra* y *G. sepium*) y las de menor longitud de tallo y diámetro basal de tallo (*T. rosea* y *E. cyclocarpum*).

Los datos obtenidos en la longitud de tallo en *C. pentandra* de 23 meses después del trasplante concuerdan con los datos registrados en esta variable y sobre árboles de la misma especie plantados en pastizales (Román-Dañobeytia *et al.* 2012). De Souza *et al.* (2010) cuantificaron durante 55 meses la misma especie tratada con fertilización con superfosfato triple y obtuvieron longitudes de tallo de 10 m. Con lo que respecta a *G. sepium*, se han obtenido valores de 3.0-4.3 m de longitud de tallo a los dos años (de Oliveira *et al.* 2016), tamaños mayores a los obtenidos en este estudio, pero cabe resaltar que los resultados corresponden a plantaciones obtenidas de estacas, que es su tipo de propagación más común (Cordero y Boshier 2003).

En *T. rosea*, se han registrado a los dos años de estudio, valores similares (1.4 m de altura) y mayores (2.6 m de altura) que en esta investigación (Araque *et al.*

2009, Plath *et al.* 2011b). La longitud de los tallos en *E. cyclocarpum* en este experimento fue similar a la obtenida por Laborde y Corrales-Ferrayola (2012) en 4 años y medio que duró su estudio. En Nigeria, alcanzó 5.5 m de altura a los dos años de experimentación, en un sitio con precipitación media anual de 1037 mm y temperaturas medias de 22.5 a 30.7 °C (Arigbede *et al.* 2012), aunque los autores no especifican el manejo que tuvieron las plantas.

En el diámetro basal de tallo, los valores mayores a 4 cm a los 18 meses de edad son considerados como “aceptables” por Román-Dañobeytia *et al.* (2012) para árboles tropicales como *C. pentandra*. Estos autores, registraron valores de 4.8 cm para esta variable, en año y medio de evaluación, similares a los medidos en este estudio. El diámetro en *G. sepium* de 5.8 cm fue similar al que registra Silva *et al.* (2012) en dos años de crecimiento en condiciones de trópico seco de Brasil.

En plantaciones de *T. rosea*, Plath *et al.* (2011b) obtuvieron datos mayores a este estudio, 3.1 cm de diámetro basal de tallo, sin embargo, se han reportado hasta 5 cm en 18 meses en un estudio del trópico venezolano (Araque *et al.* 2009). *Enterolobium cyclocarpum* tuvo un diámetro basal de tallo de 2.5 cm en 23 meses, mayor a lo registrado por Laborde y Corrales-Ferrayola (2012), quienes obtuvieron valores de 1.8 cm en 4 años y medio. Arigbede *et al.* (2012) obtuvieron para esta variable registros de 7.2 cm en dos años en la misma especie, en condiciones del trópico húmedo africano.

Las especies arbóreas *C. pentandra*, *G. sepium* y *T. rosea* se consideran de crecimiento rápido (Araque *et al.* 2009, Plath *et al.* 2011b, Silva *et al.* 2012); una misma especie puede tener una expresión diferente dependiendo de las características de textura, fertilidad y humedad en el suelo, así como de las prácticas de manejo (van Breugel *et al.* 2011). Otro de los elementos que se ha registrado en la literatura y que influye directamente en dicha variable son la herbivoría y el tipo de status sucesional de la especie, lo que se relaciona con su capacidad de competir con otras plantas por agua, nutrientes o luz y en consecuencia se reflejará en su proceso fotosintético y por último en su crecimiento (Plath *et al.* 2011a, Plath *et al.* 2011b).

Ceiba pentandra, es una especie pionera, de gran interés para programas de reforestación tanto a nivel nacional como internacional; bajo un manejo de espaciamiento de 4 x 1.8 m, fertilización (superfosfato simple) y en asociación con

Inga edulis Mart., puede alcanzar altura de 3 m y diámetro normal de 10 cm en dos años de evaluación en condiciones brasileñas (Joslin *et al.* 2016).

Tabebuia rosea tiene características anatómicas foliares que la hacen ser una especie tolerante a radiación alta, por la presencia de indumento, una cutícula gruesa y estriada que puede cumplir la función de reflejar el exceso de luz sobre la lámina; además contiene vainas vasculares en el mesófilo que actúan como protectoras del exceso de radiación y posible tejido de conservación de agua, pero a temperaturas altas (> 32° C) puede inhibirse la conductancia estomática y con ello disminuir la tasa fotosintética (Araque *et al.* 2009). El crecimiento en longitud de tallo y diámetro de tallo en esta especie mejoran con el control de la herbivoría, la fertilización y la plantación con otras especies en agroecosistemas (Hall *et al.* 2011, Plath *et al.* 2011a). La aplicación de fertilizante recomendada es de 15-15-15 (NPK) a los cuatro meses de establecimiento, a una concentración de 15 g/planta y de 18-18-18 a los diez meses, a una dosis de 85 g/planta en un suelo franco-arenoso (Araque *et al.* 2009).

Las leguminosas *G. sepium* y *E. cyclocarpum* tienen la ventaja sobre las demás especies de fijar el nitrógeno atmosférico, mediante nódulos indeterminados (Casals *et al.* 2014, Gei y Powers 2015); variando su tasa de fijación en función de las condiciones ambientales; *G. sepium* llega a producir 12 g m⁻², cuando las condiciones de humedad del suelo son de alrededor de 22%, sin embargo bajo estas condiciones húmedas *E. cyclocarpum* no produce nódulos (Gei y Powers 2015).

Silva *et al.* (2012) registraron que la densidad de plantación en *G. sepium* de 400 plantas ha⁻¹, y 1200 plantas ha⁻¹, ocasiona pocas diferencias en la altura de la planta alcanzada a los dos años, ya que obtuvieron longitudes de 4.3 y 3.9 cm; y tampoco registraron diferencias para el diámetro basal, con valores de 6.2 y de 5.8 cm bajo las mismas densidades de plantación; en cambio, registraron una relación indirectamente proporcional entre la densidad y el diámetro de la copa. Silva *et al.* (2012) afirman que la importancia de estos resultados radica en la predicción de volúmenes de leña, debido a la poda de las ramas; esto es, dependiendo del objetivo de la plantación se debe aplicar un diseño adecuado de densidad.

Enterolobium cyclocarpum ha sido seleccionada entre otras especies en Nigeria por su buen desempeño en crecimiento de longitud de tallo y diámetro basal de tallo, así como mayor producción de biomasa (Arigbede *et al.* 2012). Es una

especie decidua, lo que en este caso parece ser una estrategia para evitar la herbivoría (Rojas-Jiménez *et al.* 2007). Sin embargo, Bonilla-Moheno y Holl (2010), en siembra directa y bajo vegetación, obtuvieron un crecimiento escaso de plantas que alcanzaron una altura de 80 cm en dos años, crecimiento escaso que los autores atribuyeron a la interferencia lumínica y competencia con las demás plantas del ecosistema, por lo que deducen que por ser pionera, su crecimiento será superior en terrenos abiertos sin vegetación.

4.6.3. Tasas relativas de crecimiento (TRC): longitud de tallo y diámetro basal de tallo

El anova de medidas repetidas para estas variables detectó diferencias estadísticas entre especies y períodos de evaluación, el patrón entre pares de especies fue muy diferente a las anteriores variables para la TRC de longitud de tallo, las altas tasas las obtuvieron *C. pentandra* (en el sexto mes) y *G. sepium* (en el noveno) y *E. cyclocarpum* junto con *T. rosea* (en el mes doceavo).

En las medias transformadas de TRC de diámetro de tallo de *C. pentandra* y *E. cyclocarpum* no se detectaron diferencias significativas entre ellas, y se contó con los valores máximos al final del experimento.

En el presente estudio, las TRC del tallo medidas tanto en longitud como en diámetro fueron similares en *T. rosea*, *E. cyclocarpum* y *C. pentandra* mientras que *G. sepium* presentó una TRC mayor en longitud del tallo pero una menor TRC en el diámetro, que se podría atribuir al crecimiento arbustivo, ya que el crecimiento se reparte entre varios tallos para cada planta.

Ceiba pentandra está identificada como especie pionera, con capacidad de colonizar áreas abiertas, y que llegan a tener longitudes de tallo altas como ocurrió en este experimento (Román-Dañobeytia *et al.* 2007, Joslin *et al.* 2016). Asimismo, *G. sepium* está considerada como pionera de larga vida, facultada también para colonizar áreas abiertas (Griscom *et al.* 2010). *Enterolobium cyclocarpum*, se considera una especie tardía sucesionalmente (Griscom *et al.* 2010), al igual que *T. rosea* (Plath *et al.* 2011b), estos autores también mencionan que su crecimiento es mejor en condiciones de alta humedad.

La tasa relativa de crecimiento (TRC), es un importante indicador en las estrategias de crecimiento y desarrollo de las plantas (Rees *et al.* 2010). Se han

definido dos atributos para esta variable: espectro económico de la hoja y el espectro económico de la madera, que reflejan los costos de construcción de cada tejido, por lo que idealmente se espera que las especies tengan altas tasas de crecimiento con bajos costos de construcción de tejidos en ambientes físicos favorables.

A medida que las plantas crecen, una gran cantidad de energía es comprometida en la construcción y mantenimiento de tejidos no fotosintéticos por ejemplo la madera, pero dependerá de la edad de la planta, disponibilidad de recursos y de la especie, por lo que las tasas de crecimiento pueden ser heterogéneas (Gilbert y Gray 2016). En ocasiones los árboles requieren canalizar en algún momento la energía para la producción de órganos fotosintéticos sobre todo si la disponibilidad de agua es baja y se presentan altas temperaturas como en este experimento, que se reflejó en una disminución de las tasas a partir del mes 12, relación similar han registrado Toledo *et al.* (2011) en su estudio de bosques de las tierras bajas bolivianas y O'Brien *et al.* (2015) en su experimento con especies arbóreas de Borneo, evaluando su respuesta al crecimiento en condiciones de sequía.

4.6.4. Área basimétrica

Esta variable depende del área que abarcan las secciones transversales de los tallos y de las plantas supervivientes en una hectárea; es una medida básica en el manejo de masas forestales y su valor depende también de la edad de los árboles, porque conforme avanza el tiempo, el diámetro de los tallos aumenta y con ello el área basimétrica, mediciones extremas pueden ser hasta de $100 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (West 2009).

Las especies *C. pentandra* y *G. sepium* alcanzaron los valores máximos y en sus medias transformadas no se detectaron diferencias significativas entre ellas desde el sexto mes; de manera similar coincidieron los valores mínimos de *T. rosea* y *E. cyclocarpum*, sin diferencias significativas entre ellas, pero difirieron las de mayor AB y las de menor área.

En este estudio, *C. pentandra* obtuvo un área basimétrica a ras del suelo de $22.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y *G. sepium* de $5.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ a los 23 meses después del trasplante, siendo la especie con el área basimétrica total máxima, valores que coinciden con los registros mayores de diámetros basales y supervivencia. PROECEN (2003), encontró datos similares a este estudio: en 25 meses, el AB (a ras de suelo) de *C. pentandra* fue de $20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Por otra parte, en un experimento de sucesión en Puerto Rico, Weaver y Schwagerl (2008), mostraron que *C. pentandra* alcanzó únicamente un AB (a ras de suelo) de $13 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en 60 meses.

En cuanto a *G. sepium*, su propagación generalizada es por estacas, por lo que los estudios en plantas obtenidas de semilla son escasos. Combalicer *et al.* (2011) cuantificaron un AB de $0.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, en árboles asociados a *Pterocarpus indicus* en Filipinas, cabe señalar que este dato se obtuvo de diámetros normales y no de diámetros basales como en este caso. De todas maneras, por su comportamiento arbustivo, se espera que su AB a ras de suelo sea pequeña.

En este experimento, *T. rosea* alcanzó un AB de $2.12 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en 23 meses, valor similar al registrado en sistemas silvopastoriles de Honduras (de Sousa *et al.* 2016); ellos calcularon un AB (a ras de suelo) de $2.59 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para la misma especie en dos años. De igual forma, Salisbury y Potvin (2015) determinaron un AB (diámetro normal) de $2.47 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, después de 10 años de evaluación en una plantación con otras siete especies tropicales en Panamá.

Enterolobium cyclocarpum, tuvo un AB de $1.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, mayor a $1.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, registrado por Park *et al.* (2010) durante dos años de evaluación después del

trasplante en condiciones panameñas. Estos autores enfatizan que esta variable está íntimamente relacionada con el crecimiento del diámetro de las especies, la cual depende de las condiciones edáficas y ambientales que prevalecen en el área de estudio, así como del manejo que se aplique a la plantación.

Las plantaciones forestales en Latinoamérica se han concentrado en pocas especies bien conocidas como *Tectona grandis* L.f., *Acacia* sp. y *Eucalyptus* sp., que representan el 51% de todas las plantaciones establecidas en el Neotrópico (Wishnie *et al.* 2007); resultados como los obtenidos en este experimento aportan posibilidades para ampliar el abanico de posibilidades tanto en la reforestación como en el manejo silvícola tropical. *Ceiba pentandra* y *G. sepium*, cumplirían con lo que afirman Douterlungne *et al.* (2015), quienes consideran que para una eficaz reforestación o restauración, se requieren especies arbóreas que tengan alto índice de supervivencia, que expandan bien sus copas y presenten alta producción primaria en su estado de establecimiento; Wishnie *et al.* (2007) complementan esta aseveración, señalando que especies como *G. sepium*, aparte de ser de rápido crecimiento son útiles en sistemas agroforestales o silvopastorales para incrementar la fertilidad del suelo, proveer forraje y combustible. La utilización de plantas de vivero tiene ventajas sobre el establecimiento de un repoblado por siembra directa, los riesgos para la supervivencia son menores (Santos *et al.* 2012).

Por otra parte, diversos estudios señalan que la reintroducción de ciertas especies puede incrementar significativamente los niveles de materia orgánica y acelerar el proceso de sucesión secundaria en áreas agropecuarias degradadas y abandonadas (Román-Dañobeytia *et al.* 2007), por lo que es necesario que los viveros tengan la disponibilidad de plantas para este tipo de programas. A pesar de que el experimento se efectuó en un suelo costero, el pH y la C.E. no representan ningún riesgo para las plantas; el pH fue casi neutro y la C.E. fue menor de la establecida para ser considerada un suelo salino (4 mS cm⁻¹). Para aumentar la potencialidad de las especies promisorias se requeriría una fertilización adecuada al tipo de suelo y el espaciamiento adecuado entre árboles que permitirá un mejor crecimiento y desarrollo.

4.7. Conclusiones

Las especies *C. pentandra* y *G. sepium* tuvieron altos índices de supervivencia, valores elevados de crecimiento de longitud de tallo y área basimétrica en 23 meses de evaluación después del trasplante, demostrado con el análisis de varianza de medidas repetidas, por lo que serán especies útiles para programas de reforestación en zonas arenosas. Las tasas relativas de crecimiento de la longitud de tallo y del diámetro basal de tallo disminuyeron a partir de los doce meses de estudio en todas las especies, debido a las altas temperaturas y escasa precipitación en el período. *Enterolobium cyclocarpum* y *T. rosea*, tuvieron supervivencias en torno al 50% a los dos años, que técnicamente son valores bajos, pero con la densidad alta de plantación utilizada ocuparon el terreno durante ese tiempo. *B. alicastrum* no sobrevivió en los primeros seis meses, lo que demuestra que es una especie que requiere un ambiente sombreado y mayor humedad para utilizarla en programas de reforestación.

4.8. Bibliografía

- Adams HD, Collins AD, Briggs SP, Vennetier M, Dickman LT, Sevanto SA, García-Fórner N, Heath HP, McDowell NG. 2015. Experimental drought and heat can delay phenological development and reduce foliar and shoot growth in semiarid trees. *Global Change Biology* **21**: 4210-4220.
- Araque O, Jaimez RE, Azócar C, Espinoza W, Tezara W. 2009. Relaciones entre anatomía foliar, intercambio de gases y crecimiento en juveniles de cuatro especies forestales. *Interciencia* **34**: 725-729.
- Arigbede OM, Tan ZL, Anele UY, Sun ZH, Tang SX, Han XF, Zhou CS, Zeng B. 2012. Effects of age and species on agronomic performance, chemical composition and *in vitro* gas production of some tropical multi-purpose tree species. *Journal of Agricultural Science* **150**: 725-737.
- Bell T, Freckleton RP, Lewis OT. 2006. Plant pathogens drive density-dependent seedling mortality in a tropical tree. *Ecology Letters* **9**: 569-574.
- Bonilla-Moheno M, Holl KD. 2010. Direct Seeding to Restore Tropical Mature-Forest Species in Areas of Slash-and-Burn Agriculture. *Restoration Ecology* **18**: 438-445.
- Camarero JJ, Gazol A, Sangüesa-Barreda G, Oliva J, Vicente-Serrano SM. 2015. To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *Journal of Ecology* **103**: 44-57.
- Casals P, Romero J, Rusch G M, Ibrahim M. 2014. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant and Soil* **374**: 643-659.
- Celis G, Jose S. 2011. Restoring abandoned pasture land with native tree species in Costa Rica: effects of exotic grass competition and light. *Forest Ecology and Management* **261**: 1598-1604.
- Combalicer MS, Lee DK, Woo SY, Park PS, Lee KW, Tolentino EL, Combalicer EA, Lee YK, Park YD. 2011. Aboveground biomass and productivity of nitrogen-fixing tree species in the Philippines. *Science Research Essays* **6**: 5820-5836.
- Cordero J, Boshier DH. (eds.) 2003. *Árboles de Centroamérica, un Manual para Extensionistas*. Oxford Forestry Institute, Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), CD-ROM.

- Da Silva RP, dos Santos J, Tribuzy ES, Chambers JQ, Nakamura S, Higuchi, N. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* **166**: 295-301.
- Dagar JC, Minhas PS. 2016. Agroforestry to Rehabilitate the Indian Coastal Saline Areas. In: Agroforestry for the Management of Waterlogged Saline Soils and Poor-Quality Waters; Dagar JC, Minhas PS eds. *Advances in Agroforestry 13*, Springer India. DOI 10.1007/978-81-322-2659-8_8
- Davis CS. 2002. Statistical methods for the analysis of repeated measurements. New York: Springer Science & Business Media.
- De Oliveira VRD, Lima e Silva PS, de Paiva HN, Pontes FST, Antonio RP. 2016. Growth of arboreal leguminous plants and maize yield in agroforestry systems. *Revista Árvore* **40**: 679-688.
- De Sousa K, Detlefsen G, Tobar D, de Melo VFE, Casanoves F. 2016. Population dynamic and management of *Pinus oocarpa* and *Tabebuia rosea* within silvopastoral systems in Central America. *Agroforestry Systems* **1-9**. DOI: 10.1007/s10457-016-9988-x
- De Souza CR, de Azevedo CP, Lima MR, Rossi LMB. 2010. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazonia. *Acta Amazonica* **40**: 127-134.
- Douterlungne D, Ferguson BG, Siddique I, Soto-Pinto L, Jiménez-Ferrer G, Gavito ME. 2015. Microsite determinants of variability in seedling and cutting establishment in tropical forest restoration plantations. *Restoration Ecology* **23**: 861-871.
- Elliott SP, Navakitbumrung C, Kuarak S, Zangkum V, Anusarnsunthorn DB. 2003. Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. *Forest Ecology and Management* **184**:177–191.
- Gei MG, Powers JS. 2015. The influence of seasonality and species effects on surface fine roots and nodulation in tropical legume tree plantations. *Plant and Soil* **388**: 187-196.
- Gilbert A, Gray EF, Westoby M, Wright IJ, Falster DS. 2016. On the link between functional traits and growth rate: meta-analysis shows effects change with plant size, as predicted. *Journal of Ecology* **104**: 1488-1503.

- Griscom HP, Ashton MS. 2010. Restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* **261**: 1564-1579.
- Hall JS, Love EB, Garen JE, Slusser JL, Saltonstall K, Mathias S, van Breugel M, Ibarra D, Bork EW, Spaner D, Wishnie MH, Ashton MS, 2011. Tree plantations on farms: Evaluating growth and potential for success. *Forest Ecology and Management* **261**: 1675-1683.
- Joslin A, Markewitz D, Morris LA., de Assis OF, Kato O. 2016. Improved fallow: growth and nitrogen accumulation of five native tree species in Brazil. *Nutrient Cycling Agroecosystems* **1**: 1-15.
- Laborde J, Corrales-Ferrayola I. 2012. Siembra directa de *Brosimum alicastrum* Sw. (Moraceae) y *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Mimosaceae) en diferentes habitats en el trópico seco del centro de Veracruz. *Acta Botanica Mexicana* **100**: 107-134.
- Moreno-Casasola P, Paradowska K. 2009. Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz. *Madera y Bosques* **15**: 21-44.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2000. *Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis*. Diario Oficial de la Federación del 2000, 14: 17.
- O'Brien MJ, Burslem DFRP, Caduff A, Tay J, Hector A. 2015. Contrasting nonstructural carbohydrate dynamics of tropical tree seedlings under water deficit and variability. *New Phytologist*. **205**: 1083-1094.
- Palma-López DJ, Cisneros-Domínguez J, Moreno-Cáliz E, Rincón-Ramírez JA 2007. *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco*. Villahermosa: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco.
- Park A, van Breugel M, Ashton MS, Wishnie M, Mariscal E, Deago J, Ibarra D, Cedeño N, Hall JS. 2010. Local and regional environmental variation influences the growth of tropical trees in selection trials in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* **260**: 12-21.

- Pedraza RA, Williams-Linera G, 2003. Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest. *New Forests* **26**: 83-99.
- Pennington TD, Sarukhán J. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica, México. 523 pp.
- Plath M, Mody K, Potvin C, Dorn S. 2011a. Do multipurpose companion trees affect high value timber trees in a silvopastoral plantation system? *Agroforestry Systems* **81**: 79-92.
- Plath M, Mody K, Potvin C, Dorn S. 2011b. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: small-scale effects on tree performance and insect herbivory. *Forest Ecology and Management* **261**: 741-750.
- Pineda-Herrera E, Valdez-Hernández JI, Pérez-Olvera CP. 2016. Crecimiento en diámetro y fenología de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. en Costa Grande, Guerrero, México. *Acta Universitaria* **26**: 19-28. doi: 10.15174/au.2016.914.
- PROECEN. 2003. *Guías silviculturales de 23 especies forestales del bosque húmedo de Honduras*. Proyecto PD 022/99 Rev.2 (F) Estudio de Comportamiento de Especies Maderables Nativas con Importancia Comercial del Bosque Húmedo Tropical en Honduras. Siguatepeque: (PROECEN), Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR), Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT).
- Ramos-Reyes R, Gama-Campillo LM, Nuñez-Gómez JC, Sánchez-Hernández R, Hernández-Trejo H, Ruiz-Álvarez O. 2016. Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **13**: 2551-2563.
- Rees M, Osborne CP, Woodward FI, Hulme SP, Turnbull L.A, Taylor SH. 2010. Partitioning the Components of Relative Growth Rate: How Important Is Plant Size Variation? *The American Naturalist* **176**. DOI: 10.1086/657037
- Rojas-Jiménez K, Holbrook NM, Gutiérrez-Soto MV. 2007. Dry-season leaf flushing of *Enterolobium cyclocarpum* (ear-pod tree): above-and belowground phenology and water relations. *Tree Physiology* **27**: 1561-1568.

- Román-Dañobeytia F, Levy-Thatcher S, Perales-Rivera H, Ramírez-Marcial N, Douterlungne D, López-Mendoza S. 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en La Selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada* **6**: 1-8.
- Sabogal C, Guariguata MR, Broadhead J, Lescuyer G, Savilaakso S, Essoungou JN, Sist P. 2013. *Manejo forestal de uso múltiple en el trópico húmedo; oportunidades y desafíos para el manejo forestal sostenible*. FAO Forestry Paper No. 173. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Bogor, Indonesia, Centro Internacional de Investigación Forestal.
- Salisbury CL, Potvin C. 2015. Does Tree Species Composition Affect Productivity in a Tropical Planted Forest? *Biotropica* **47**: 559-568.
- Santos PL, Ferreira RA, Aragão AGD, Amaral LA, Oliveira AS. 2012. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. *Revista Árvore* **36**: 237-245.
- Serrada-Hierro R. 2008. *Apuntes de silvicultura*. Madrid: Servicio de Publicaciones EUIT Forestal.
- Silva PSL, Holanda AER, Paiva HND, Oliveira FHTD, Oliveira OFD, 2012. Planting density and initial growth of two tree species adapted to the semi-arid region. *Revista Árvore* **36**: 951-960.
- Streed E, Nichols JD, Gallatin K. 2006. A financial analysis of small-scale tropical reforestation with native species in Costa Rica. *Journal of Forestry* **104**: 276-282.
- Toledo M, Poorter L, Peña-Claros M, Alarcón A, Balcázar J, Leño C, Licona JC, Llanque O, Vroomans V, Zuidema P, Bongers F. 2011. Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology* **99**: 254-264.
- Tonini H, de Oliveira MMC, Schwengber D. 2008. Crescimento de espécies nativas da Amazonia submetidas ao plantio no estado de Roraima. *Ciência Florestal* **18**: 151-158.
- Torres-Rojo JM, 2004. *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020*. Informe Nacional México. FAO. 145 p.

- Van Breugel M, Hall JS, Craven DJ, Gregoire TG, Park A, Dent DH, Wishnie MH, Mariscal E, Deago J, Ibarra D, Cedeño N. 2011. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management* **261**: 1580-1589.
- Weaver PL, Schwagerl JJ. 2008. Secondary forest succession and tree planting at the Laguna Cartagena and Cabo Rojo wildlife refuges in southwestern Puerto Rico. *AMBIO: A Journal Human Environmental* **37**: 598-603.
- West PW. 2009. *Tree and forest measurement*. Berlín, Springer-Verlag. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-95966-3>.
- Wishnie MH, Dent DH, Mariscal E, Deago J, Cedeño N, Ibarra D, Condit R, Ashton PMS. 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* **243**: 39-49.

CAPÍTULO 5 Distribución geocológica de *Ormosia macrocalyx* en México y delimitación de sus áreas de ocupación



CAPÍTULO 5. Distribución geoecológica de *Ormosia macrocalyx* en México y delimitación de sus áreas de ocupación

5.1. Resumen

Se determinó la distribución geográfica-ecológica y se delimitaron las áreas de ocupación (AO) de la especie arbórea *Ormosia macrocalyx* Ducke para mostrar sus requerimientos ecológicos; con la información generada se pueden establecer programas de protección para esta especie considerada en peligro de extinción en México. Los registros de la especie en herbarios nacionales e internacionales, inventarios forestales nacionales y observaciones directas fueron georreferenciados. Cada punto fue correlacionado con la base de datos de CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) e INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) para obtener las variables ecológicas. La información resultante se convirtió a un formato compatible con un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa ArcGIS 10.2 para la obtención de los mapas. Las AO se calcularon y se delimitaron por el Método Cartográfico por Conglomerados posteriormente tanto las AO como las manifestaciones aisladas de la especie (satélites) fueron situados sobre la cartografía temática disponible. Esos mismos datos de localización, por comparación con la información edáfica, altitudinal, de vegetación y climática de los puntos de referencia sirvieron para establecer la distribución ecológica. La especie se encuentra en los estados sureños de México, se distribuye en zonas de alta precipitación (≥ 800 mm por año) y en elevaciones ≤ 1150 msnm en suelos Gleysoles y climas cálido húmedos. Está asociada con remanentes de selva alta, media perennifolia y decidua; también se encuentra en agroecosistemas y en forma de individuos aislados. Se delimitaron cinco AO y seis satélites, las dos áreas más grandes fueron de 15,575.04 km² en Tabasco y de 265.72 km² en Chiapas, el total de AO fue de 16,133.62 km², área que es muy extensa para considerarla como vulnerable en la Lista Roja (IUCN) por su distribución; es una especie vulnerable por su hábitat especializado, la baja densidad en que se encuentra y sus estrategias limitadas de propagación de sus semillas. Las AO y los satélites definidos coinciden con el Corredor Biológico Mesoamericano lo que pudiera ayudar a conservar la especie y sus ecosistemas.

Palabras clave: Requerimientos ecológicos, áreas de ocupación, Método Cartográfico por Conglomerados, corredores biológicos

5.2. Abstract

The geographic-ecological distribution was determined and the occupation areas (AO) of the tree species *Ormosia macrocalyx* Ducke were delimited to show their ecological requirements; with the generated information protection programs for this species considered in danger of extinction in Mexico can be established. The records of the species in national and international herbaria, national forest inventories and direct observations were georeferenced. Each point was correlated with the database of CONABIO (National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity) and INEGI (National Institute of Statistics and Geography) to obtain the ecological variables. The resulting information was converted into a compatible format with a Geographic Information System (GIS), using the ArcGIS 10.2 program to obtain the maps. The AO were calculated and delimited by the Cartographic Method by Conglomerates, later both the AO and the isolated manifestations of the species (satellites) were placed on the available thematic cartography. The same location data, by comparison with the edaphic, altitudinal, vegetation and climatic information of the reference points served to establish the ecological distribution. The species is found in the southern states of Mexico, it is distributed in zones of high precipitation (≥ 800 mm per year) and in elevations ≤ 1150 masl in Gleysols soils and warm humid climates. It is associated with remnants of high forest, medium perennifolia and decidua; is also found in agroecosystems and in the form of isolated individuals. Five AO and six satellites were delimited, the two largest areas being 15,575.04 km² in Tabasco state and 265.72 km² in Chiapas state. The total AO was 16,133.62 km² an area that is very extensive to be considered as vulnerable in the Red List (IUCN) by its distribution; it is a vulnerable species because of its specialized habitat, the low density in which it is found and the limited propagation strategies for its seeds. The AO and the defined satellites, coincide with the Mesoamerican Biological Corridor, which could help to conserve the species and its ecosystems.

Keywords: Ecological requirements, occupation areas, Cartographic Method by Conglomerates, biological corridors

5.3. Introducción

Los bosques tropicales han sufrido pérdidas debido a las actividades antropogénicas; la mayoría de esas pérdidas se han debido a la conversión en áreas de producción ganadera, mientras que otras áreas han sido fragmentadas con la consecuente pérdida de especies (González-Valdivia *et al.* 2012). Un ejemplo de este proceso lo encontramos en el caso de *Ormosia macrocalyx*, un árbol leguminoso que se encuentra amenazado (SEMARNAT 2010). Esta especie produce semillas de color rojo brillante que se utilizan en artesanías, sus flores son de color violeta, fragantes; y su madera es importante en la ebanistería y la carpintería, y se ha utilizado para puentes, canoas y durmientes de ferrocarril (Ochoa-Gaona *et al.* 2008, Pérez-Hernández *et al.* 2011). Ecológicamente es importante porque alcanza una tasa de nodulación de $48.9 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ y como plántula responde favorablemente a altas concentraciones de CO_2 (700 ppm aproximadamente), lo que le daría una ventaja competitiva en el ecosistema donde se desarrolle (Cernusak *et al.* 2011). Se distribuye en América tropical, desde México hasta Brasil. En Sudamérica, se le puede encontrar además en Los Ríos, Ecuador; en Loreto, Perú; en Santa Cruz, Bolivia; además de las islas de Cuba y Puerto Rico; como parte de diferentes ecosistemas tales como vegetación riparia, bosque inundable y pastizales abiertos (Rudd 1968, Botany Collections Smithsonian National Museum of Natural History 2015, Herbarium Missouri Botanical Garden 2015, Kew Herbarium Catalogue 2015, Virtual Herbarium The New York Botanical Garden 2015). En México, Rudd (1968) la identifica únicamente en los estados de Tabasco y Veracruz. Los árboles de *O. macrocalyx*, llegan a alcanzar una altura de 50 m y 35 a 60 cm de diámetro normal (Ochoa-Gaona *et al.* 2008), se han encontrado asociados a bosque perennifolio de *Bravaisia integerrima* (Spreng) Standl., en vegetación secundaria, agrupados con diferentes especies arbóreas y en sistemas agroforestales de cacao (Ochoa-Gaona *et al.* 2008, Pérez-Hernández *et al.* 2011, Ramírez-Meneses *et al.* 2013, Maldonado-Sánchez *et al.* 2016).

Con el objetivo de revisar la distribución geográfica y ecológica de especies que se encuentran en algún grado de amenaza se recurre a la consulta de ejemplares de los herbarios. Éstos contienen datos que pueden ser georreferenciados, para obtener mapas de distribución y variables como la Extensión de Ocurrencia y el Área de Ocupación (AO), que pueden estimar las poblaciones

para la Lista Roja definida por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (siglas en inglés IUCN) (Hernández y Navarro 2007, Solano y Feria 2007, Rivers *et al.* 2010). Ochoa-Gaona y de la Cruz-Arias (2002) sostienen que los ejemplares de herbario se recolectan en sus hábitats naturales y por lo tanto la información ahí generada, aporta una vista retrospectiva de la distribución original de las especies. Entre las aplicaciones encontradas de esta herramienta Hernández y Gómez-Hinostrosa (2011) utilizaron los datos de herbario para georeferenciar puntos de diferentes especies de cactus endémicos de Chihuahua, México; mientras Ochoa-Gaona y de la Cruz-Arias (2002) condujeron un estudio sobre la distribución y fenología de la flora arbórea del estado de Tabasco, México. Para definir la distribución de las poblaciones, hay diferentes técnicas de delimitación tales como el método búfer circular, el índice de propinquidad de Rapoport y la técnica de triangulación (alfa hull) (Rivers *et al.* 2010). No obstante, el método de las AO es útil para estimar los tamaños del área de distribución de las especies, particularmente de aquellas que tienen algún grado de amenaza (Hernández y Navarro 2007). Destaca el trabajo realizado en especies de *Polianthes*, donde se superpuso una retícula de celdas de 1 km² para obtener las AO, mediante el cálculo del número de celdas ocupadas por cada especie (Solano y Feria 2007). Hernández y Navarro (2007) establecieron una metodología para México, conocida como Método Cartográfico por Conglomerados. Este procedimiento ofrece una mayor certeza en las estimaciones de las AO y resultados más acordes con la realidad, porque reconoce la presencia de registros agregados (conglomerados), así como los registros aislados (satélites), toda vez que el área de cada conglomerado es calculada individualmente, utilizando los registros geográficos de los especímenes de herbario.

De esta forma, con este trabajo se mostrarán los paisajes en los que se distribuye *O. macrocalyx*, así como las AO de la especie en México y la presencia de diferentes poblaciones aisladas, conocidas como satélites, para facilitar el establecimiento de estrategias de conservación tanto para la especie como para su hábitat. Esta información será de valor en términos de corroboración de la importancia de los corredores biológicos y para contribuir a la recuperación de ambientes altamente fragmentados.

5.4. Materiales y métodos

5.4.1. Patrón geográfico y ecológico

Para este análisis, se realizó una revisión de ejemplares colectados en los siguientes herbarios mexicanos: UJAT de la División Académica de Ciencias Biológicas (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco), CSAT (Colegio de Postgraduados Campus Tabasco), MEXU (Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México), XAL (Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz); Serbo, A.C. (Oaxaca, Oaxaca), CICY (Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.), Herbario de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal (ECO-CH-H) y Herbario CEDESU de la Universidad Autónoma de Campeche. Además se realizó la misma labor en los herbarios virtuales: Kew Herbarium Catalogue 2015, Herbarium Missouri Botanical Garden, 2015; Virtual Herbarium The New York Botanical Garden 2015, Botany Collections Smithsonian National Museum of Natural History 2015. Adicionalmente se consultaron los registros del Inventario Nacional Forestal 1992-1994 (SARH, 1994) y del Nacional Forestal y de Suelos de México 2004-2007 (CONAFOR 2012). Lo anterior se complementó con literatura científica y observaciones personales para el estado de Tabasco. En los casos en que no se contó con coordenadas geográficas, se usó el programa Google™ Earth en unidades de sistema métrico Universal Transversal Mercator (UTM) para ubicar los sitios de colecta. Se obtuvo un total de 60 registros (Cuadro 1), cada punto fue correlacionado con la base de datos de INEGI (2013) y CONABIO (CONABIO 2001a,b) para obtener las variables ecológicas.

La información resultante se convirtió a un formato compatible con un SIG, para este caso se usó el programa ArcGIS 10.2 (ESRI 1999-2014). Se utilizaron mapas topográficos de uso de suelo y vegetación serie V con una escala 1:250,000 (INEGI 2013), el edafológico con una escala 1:1'000,000 (CONABIO 2001a) y el de climas con la misma escala, 1:1'000,000 (CONABIO 2001b), así como un modelo digital de elevaciones del terreno (MDE) (INEGI 2017), el cual representa las elevaciones del territorio continental mexicano, por medio de valores que indican puntos en la superficie del terreno, cuya localización geográfica es definida por las coordenadas (X,Y) y cuyos valores representan las elevaciones (Z) (INEGI 2017) (Figura 5.1).

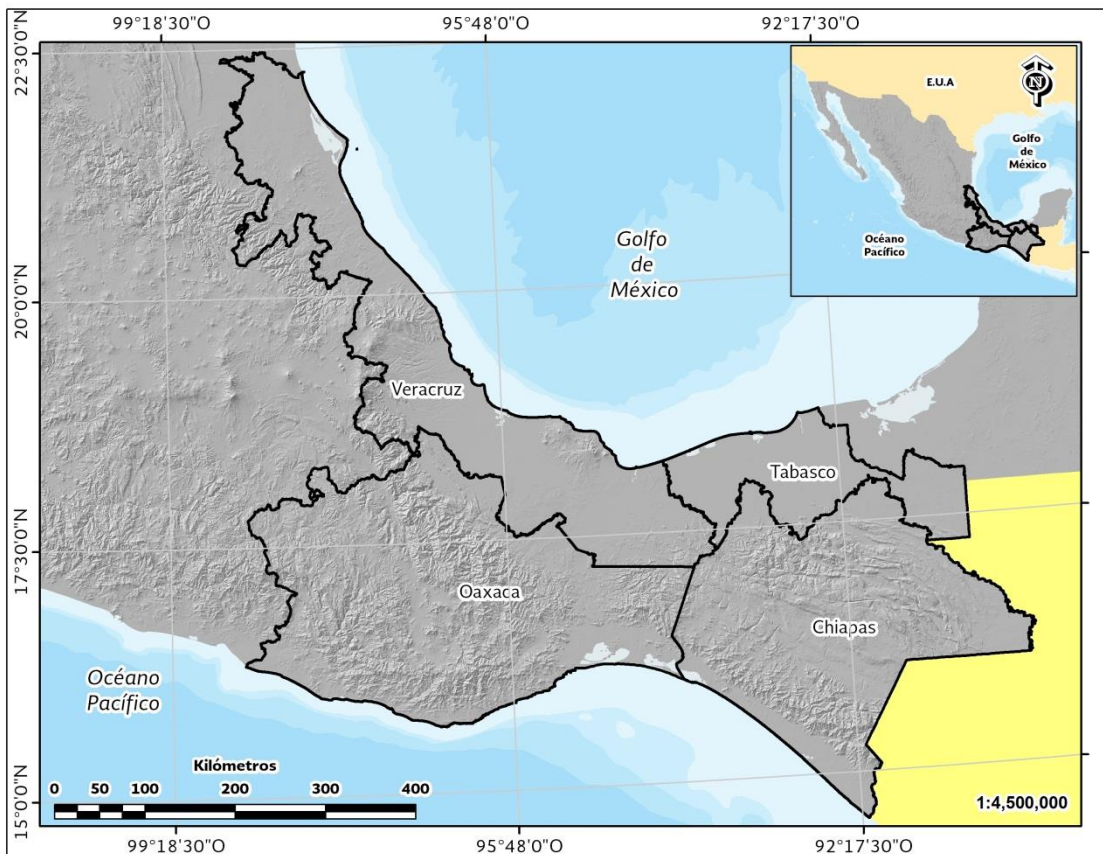


Figura 5.1. Área de estudio, zona sureste de México.

5.4.2. Obtención de las áreas de ocupación (AO)

Los registros obtenidos (Tabla 5.1) fueron usados para la determinación de las AO de *O. macrocalyx*, las cuales indicarán el área ocupada por la especie. Estas áreas se calcularon de acuerdo al Método Cartográfico de Conglomerados propuesto por Hernández y Navarro (2007). Los datos se analizaron y se convirtieron al formato compatible de ESRI (1999-2014); posteriormente fueron situados sobre un mapa, para ello se utilizaron las Áreas Geoestadísticas Estatales (INEGI 2016) con el fin de corroborar los registros en cada estado de acuerdo a lo compilado. Se unieron los registros más cercanos entre ellos mediante segmentos creando un árbol de expansión mínima, evitando el cruce de segmentos entre vecinos cercanos. Las distancias resultantes entre cada unión se sumaron y el producto se dividió por el número de líneas, en este caso 58, para obtener la distancia media. Posteriormente sobre el resultado obtenido se dibujaron círculos cuyos centros fueron los registros analizados y el radio, la media obtenida; las áreas resultantes permiten identificar los conglomerados y registros satélites.

La escala para cada conglomerado fue así definida y también las distancias de los puntos más lejanos. El 10% de estos resultados fueron tomados para definir el tamaño de la celda de cada conglomerado; a los satélites se les asignó un área constante de 2 km², de acuerdo a Hernández y Navarro (2007). El área ocupada en cada celda por la especie de cada conglomerado se sumó, seleccionando sólo las celdas en las cuales hay presencia de registros, el AO de la especie se determinó por la suma total de las áreas de las celdas de cada conglomerado y satélites.

Todos los procesos fueron realizados en un SIG y con el programa ArcGis 10.2. Con la topografía digital de las capas temáticas de uso de suelo y vegetación, edafología, clima y relieve se creó un mapa base, se depuró la información requerida para analizar los datos contenidos en la tabla de atributos, y se realizó un análisis multi-criterio a partir del cual se describieron los límites de las condiciones ecológicas donde habita *O. macrocalyx*, superpuestas con las AO y los satélites.

Tabla 5.1. Localización de los registros obtenidos para *Ormosia macrocalyx* en diferentes estados de la República Mexicana

N	X	Y	Estado	Municipio	Rango altitudinal	N	X	Y	Estado	Municipio	Rango altitudinal
1	-93.015300	16.502300	Chiapas	Chiapa de Corzo	0300-0600	18	-93.513600	16.171800	Chiapas	Villa Corzo	0600-0900
2	-92.421000	15.180500	Chiapas	Huixtla	-0032-0300	19	-93.524800	16.171800	Chiapas	Villa Corzo	0900-1200
3	-91.184300	16.120000	Chiapas	Maravilla Tenejapa	0300-0600	20	-93.513600	16.180000	Chiapas	Villa Corzo	0600-0900
4	-91.130000	16.210000	Chiapas	Ocosingo	0600-0900	21	-93.511500	16.191000	Chiapas	Villaflores	0600-0900
5	-91.130000	16.210000	Chiapas	Ocosingo	0600-0900	22	-93.582400	16.202300	Chiapas	Villaflores	1200-2100
6	-91.074900	16.453800	Chiapas	Ocosingo	0300-0600	23	-96.271916	16.102778	Oaxaca	San Juan Ozolotepec	1200-2100
7	-91.095600	16.454200	Chiapas	Ocosingo	0300-0600	24	-96.193861	15.739111	Oaxaca	Santa María Huatulco	-0032-0300
8	-91.064000	16.462000	Chiapas	Ocosingo	0300-0600	25	-96.190000	15.829194	Oaxaca	Santa María Huatulco	-0032-0300
9	-91.065300	16.485200	Chiapas	Ocosingo	0300-0600	26	-94.655833	16.663333	Oaxaca	San Miguel Chimalapa	0300-0600
10	-91.161200	16.554800	Chiapas	Ocosingo	0600-0900	27	-95.518360	16.252250	Oaxaca	San Miguel Tenango	0600-0900
11	-91.373000	16.584200	Chiapas	Ocosingo	0300-0600	28	-91.373000	17.645000	Tabasco	Balancán	-0032-0300
12	-92.391600	17.094200	Chiapas	Pantelhó	0600-0900	29	-91.536418	17.651546	Tabasco	Balancán	-0032-0300
13	-93.520000	16.100100	Chiapas	Villa Corzo	1200-2100	30	-93.368465	18.002369	Tabasco	Cárdenas	-0032-0300
14	-93.534400	16.111800	Chiapas	Villa Corzo	1200-2100	31	-93.878852	18.101739	Tabasco	Cárdenas	-0032-0300
15	-93.502200	16.111800	Chiapas	Villa Corzo	1200-2100	32	-92.796974	18.459692	Tabasco	Centla	-0032-0300
16	-93.502900	16.164700	Chiapas	Villa Corzo	0600-0900	33	-92.564490	18.545236	Tabasco	Centla	-0032-0300
17	-93.523600	16.171800	Chiapas	Villa Corzo	0900-1200	34	-92.973920	17.989069	Tabasco	Centro	-0032-0300

Continuación Tabla 5.1.

N	X	Y	Estado	Municipio	Rango altitudinal	N	X	Y	Estado	Municipio	Rango altitudinal
35	-92.974472	17.989133	Tabasco	Centro	-0032-0300	48	-92.272780	17.884440	Tabasco	Macuspana	-0032-0300
36	-92.973472	17.989273	Tabasco	Centro	-0032-0300	49	-93.061879	18.381864	Tabasco	Paraíso	-0032-0300
37	-92.973431	17.990435	Tabasco	Centro	-0032-0300	50	-92.810644	17.548579	Tabasco	Tacotalpa	-0032-0300
38	-93.238751	18.247255	Tabasco	Comalcalco	-0032-0300	51	-92.798614	17.554570	Tabasco	Tacotalpa	-0032-0300
39	-93.181325	18.258152	Tabasco	Comalcalco	-0032-0300	52	-92.847133	17.572188	Tabasco	Tacotalpa	-0032-0300
40	-93.183912	18.267903	Tabasco	Comalcalco	-0032-0300	53	-92.837735	17.601875	Tabasco	Tacotalpa	-0032-0300
41	-93.247045	18.138122	Tabasco	Cunduacán	-0032-0300	54	-92.953326	17.550540	Tabasco	Teapa	-0032-0300
42	-93.553854	17.741392	Tabasco	Huimanguillo	-0032-0300	55	-92.952830	17.725610	Tabasco	Teapa	-0032-0300
43	-93.754836	17.754621	Tabasco	Huimanguillo	-0032-0300	56	-91.142397	17.391907	Tabasco	Tenosique	-0032-0300
44	-93.992280	18.085330	Tabasco	Huimanguillo	-0032-0300	57	-94.390700	17.455694	Veracruz	Minatitlán	-0032-0300
45	-93.990170	18.085500	Tabasco	Huimanguillo	-0032-0300	58	-95.090000	18.330791	Veracruz	Catemaco	0300-0600
46	-92.681167	17.781110	Tabasco	Jalapa	-0032-0300	59	-95.074162	18.585165	Veracruz	San Andrés Tuxtla	-0032-0300
47	-91.864640	17.950830	Tabasco	Jonuta	-0032-0300	60	-96.880555	18.565556	Veracruz	Zongolica	0300-0600

Fuentes: Los *herbaria*, Inventario Nacional Periódico 1992-1994 1994 (SARH 1994) e Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México (CONAFOR, 2012), observaciones directas

5.5. Resultados

5.5.1. Patrón geográfico de *O. macrocalyx*

De acuerdo a los registros encontrados, la literatura revisada y observaciones directas, el rango latitudinal de *O. macrocalyx* en México es de 22° 28' 18.3" N a 14° 31' 55.6" N, lo que corresponde a la zona más húmeda de la República y el área de distribución comprende cuatro estados: Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas; el mayor número de puntos georreferenciados corresponde a Tabasco, los municipios donde se identificaron fueron: Teapa, Tacotalpa, Cárdenas, Comalcalco, Centla, Tenosique y Centro (Figura 5.2). Fueron registrados algunos puntos en tres áreas naturales protegidas bajo jurisdicción estatal: Parque Estatal de la Sierra de Tabasco, Yubalká y Parque Ecológico de la Chontalpa, Cárdenas; la primera fue creada bajo el gobierno estatal, la segunda es particular y la tercera es administrada por el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco y el gobierno municipal (Palma-López *et al.* 1999, Maldonado-Sánchez *et al.* 2016). Asimismo, se encontró también en un área protegida de jurisdicción federal en el Área de protección de flora y fauna Cañón del Usumacinta (CONANP 2015).

En Chiapas, la especie se distribuye con mayor frecuencia en los municipios de Ocosingo y Arriaga, y con menos registros en Maravilla Tenejapa, Acacoyagua y en la Reserva Natural de la Biósfera La Sepultura, cabe resaltar que la zona boscosa del municipio de Arriaga pertenece a dicha Reserva (INE, 1999). En el estado de Veracruz, se localizó en la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas. En Oaxaca, se identificó en el municipio de Santa María Huatulco en los registros del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (Conafor 2012). No existen registros para los estados de la Península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo) a pesar de haber consultado expresamente los herbarios de esa zona del país (Herbarios: CICY, ECO-CH-H y CEDESU). Cabe resaltar que los registros de colecta más antiguos datan de 1957 y 1967, en esa fecha a *O. macrocalyx* la identificaron como *Ormosia toledoana* Standl., la mayoría de los registros son a partir de 1980 y los más recientes de 2005 (Herbarios: MEXU, CSAT, UJAT y XAL).

5.5.2. Patrón ecológico de *O. macrocalyx*

Correlacionando los puntos georreferenciados y los diferentes atributos contenidos en las capas temáticas de Uso de Suelo y Vegetación, Edafología (CONABIO

2001a,b, INEGI 2013) y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (INEGI 2017), *O. macrocalyx* se encuentra distribuida en 22 tipos de uso de suelo y vegetación, además de la zona urbana (Tabla 5.2). Los ecosistemas naturales en los que se localiza son los bosques mesófilo de montaña y de pino; selvas alta perennifolia, mediana caducifolia, baja perennifolia y baja caducifolia; asimismo, vegetación secundaria de estos sistemas, manglar y tular. Se identificaron 10 tipos de suelo donde se distribuye la especie, los más importantes por su mayor distribución son: Gleysol, Regosol, Lithosol, Acrisol, Luvisol, Vertisol y Cambisol. Aquellos en que su presencia es menor son: Rendzina, Pheozem y Solonchak. En el estado de Chiapas, el suelo más frecuente donde se encontró la especie fue el Regosol eútrico; en Oaxaca, destacan: Regosol eútrico, Acrisol húmico, Litosol y Cambisol eútrico; en Veracruz, Luvisol órtico, Feozem lúvico y Luvisol órtico. Para Tabasco, el Gleysol eútrico es el de mayor cobertura.

Tabla 5.2. Características de uso de suelo o tipo de vegetación, suelos y climas de los estados de la República Mexicana donde se encuentra *Ormosia macrocalyx*:

Tipo de vegetación o uso de suelo	Estado(s)	Suelos	Climas
Agricultura de temporal permanente	Chiapas, Tabasco	Acrisol húmico, Gleysol vértico	Am, Am(f)
Agricultura de temporal anual	Oaxaca, Chiapas, Tabasco	Acrisol húmico, Regosol calcárico, Cambisol éútrico	Am(f), Aw ₀
Agricultura de temporal anual y permanente	Tabasco	Gleysol vértico	Am(f)
Agricultura de temporal semipermanente	Tabasco	Gleysol éútrico	A(f)
Agricultura de riego anual	Tabasco	Vertisol pélico	Am(f)
Bosque mesófilo de montaña	Chiapas	Regosol éútrico	(A)C(w ₂), C(w ₂)
Vegetación secundaria arbórea de Bosque Mesófilo de Montaña	Chiapas	Regosol éútrico	C(w ₂)
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	Chiapas	Regosol éútrico	Aw ₁
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	Chiapas	Luvisol órtico	Am(f)
Bosque de pino	Chiapas	Regosol éútrico	Aw ₁
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	Chiapas	Regosol éútrico	Aw ₁
Selva alta perennifolia	Chiapas	Litosol, Rendzina	Am
Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia	Tabasco, Veracruz	Gleysol vértico, Luvisol órtico	Am(f)
Vegetación secundaria arbustiva de selva alta perennifolia	Veracruz	Luvisol órtico	Am(f)
Selva mediana caducifolia	Oaxaca	Regosol éútrico	Aw ₀
Selva baja perennifolia	Tabasco	Gleysol éútrico	Am(f)
Selva baja caducifolia	Oaxaca	Litosol	(A)C(w ₁)
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subperennifolia	Oaxaca	Cambisol éútrico	Aw ₂
Manglar	Tabasco	Solonchak	Am(f)
Tular	Tabasco	Vertisol pélico	Am(f)
Pastizal inducido	Chiapas	Regosol éútrico	Aw ₁ , (A)C(w ₁)
Pastizal cultivado	Chiapas, Tabasco, Veracruz	Vertisol pélico, Regosol calcárico y éútrico, Luvisol órtico y crómico, Acrisol húmico, Gleysol éútrico, mólico y vértico, Feozem lúvico	Am, Am(f), A(f), Aw ₂ (x')
Zona urbana	Tabasco	Acrisol órtico, Gleysol vértico, Regosol éútrico	A(f), Am(f)

Nota: Agricultura de temporal es un régimen de cultivo en México que corresponde aproximadamente con el cultivo de secano.

Fuentes: Atributos contenidos en las capas temáticas de CONABIO (2001a b) e INEGI (2013, 2017)

El rango altitudinal en el que se encontró *O. macrocalyx* fue 3-1150 msnm, el punto de menor altitud fue en Centla, Tabasco y el de mayor altitud se registró en Arriaga, Chiapas (Figura 5.2) dichas posiciones geográficas corresponden a climas

cálidos húmedos A(f), Am, Am(f), cuyas características son: temperatura promedio de 22 °C y de 18°C, precipitación anual de 2,000 a 4000 mm (García 1981).

Asimismo, se tiene el registro que se distribuye en un clima Aw, cálido subhúmedo, cuya temperatura media anual es mayor de 22°C y precipitación promedio entre 800 y 2000 mm anuales. Y en menor grado se localizó en climas (A)C, semicálido húmedo con un rango de temperaturas promedio de 18 a 20 °C y una precipitación anual entre 2,000 y 2,500 mm.

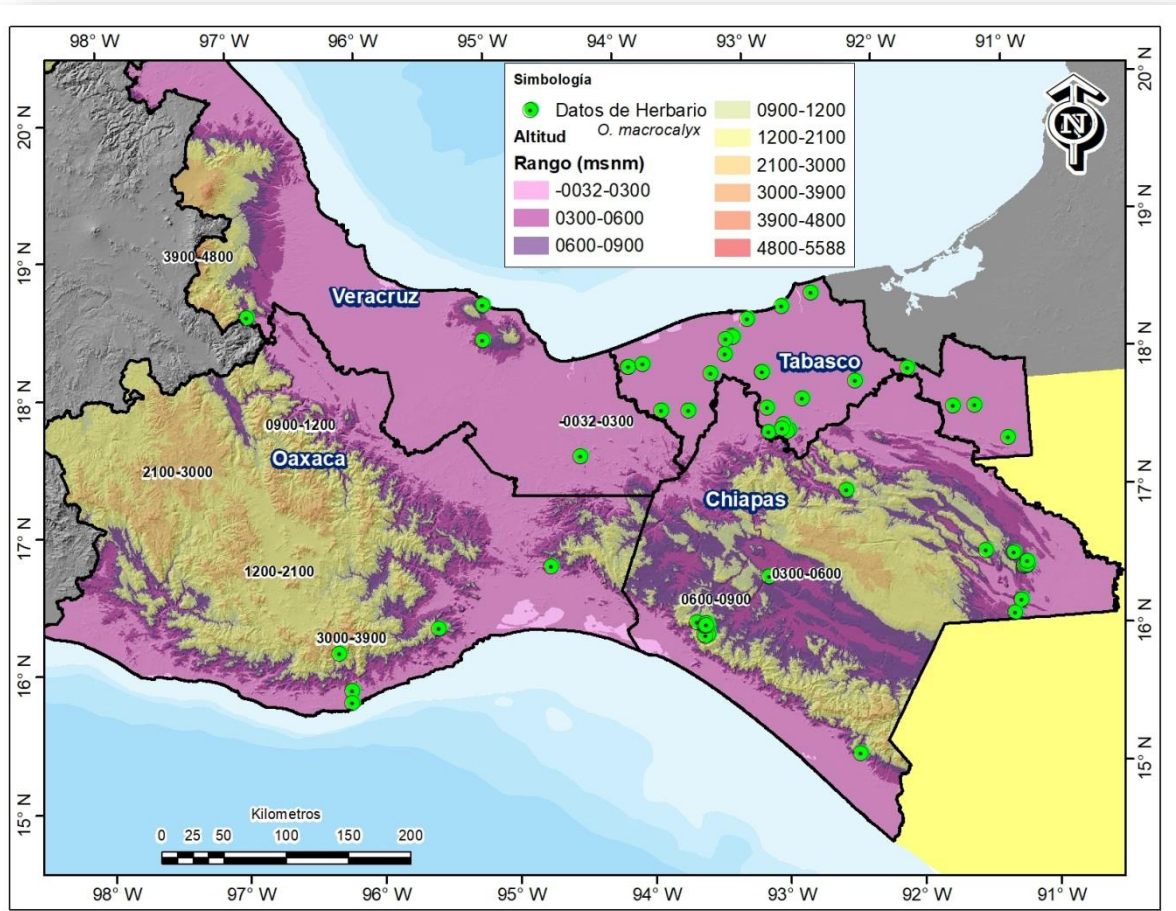


Figura 5.2. Distribución ecogeográfica de *Ormosia macrocalyx* y rangos altitudinales de acuerdo a los registros de Herbarios.

5.5.3. Áreas de ocupación (AO)

Los cálculos de las AO delimitaron 5 conglomerados, el lado más largo del conglomerado mayor que corresponde al estado de Tabasco tiene una longitud de 312 km y el conglomerado menor que se encuentra en el estado de Oaxaca tiene una longitud de 41.5 kilómetros; así mismo se identificaron seis registros satélites en toda el área de distribución (Figura 5.3). En la Tabla 5.3, se muestran las áreas asignadas para las AO, la suma total de las áreas para la especie fue 16,133.62 km², incluyendo 12 km² que corresponden a los 6 satélites.

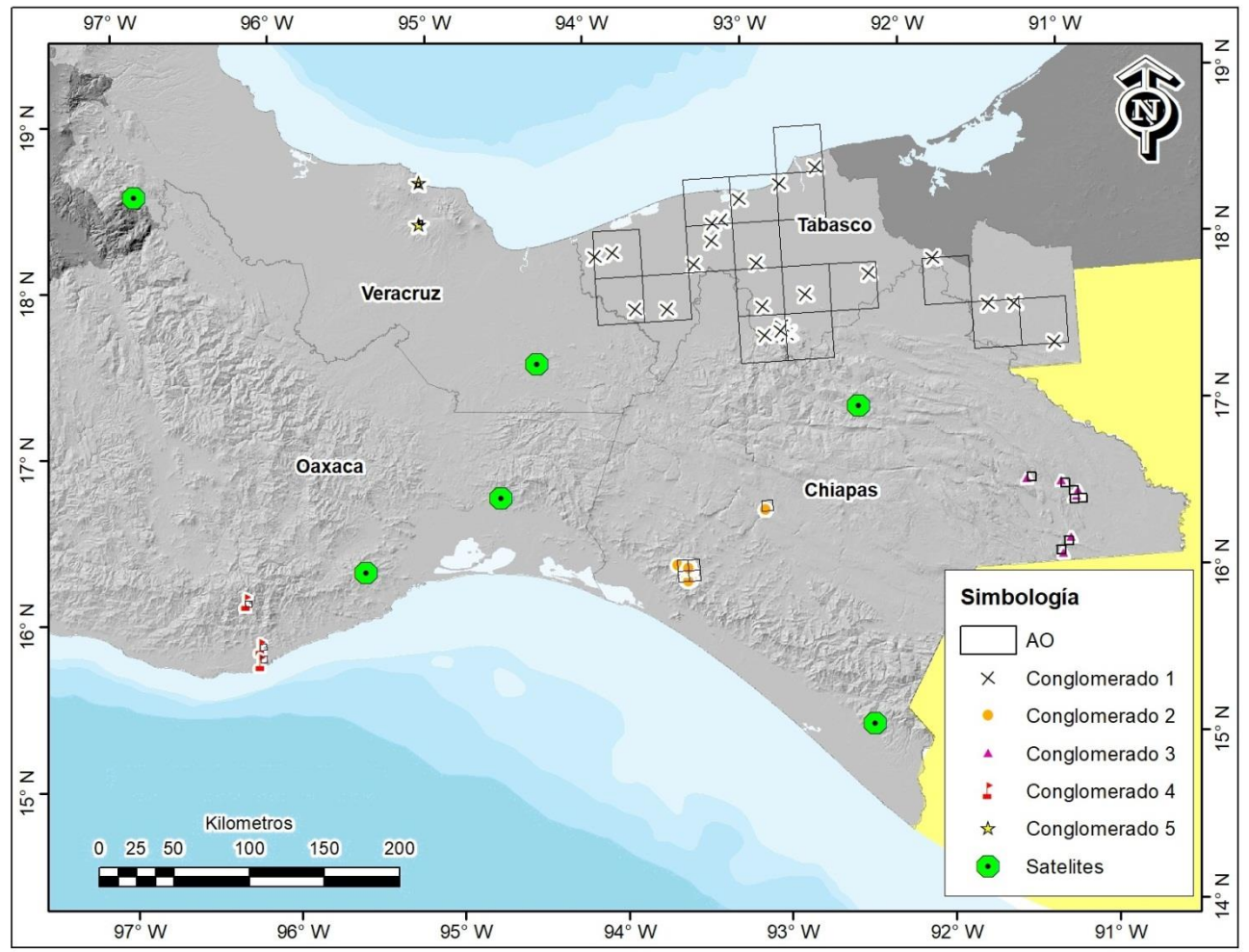


Figura 5.3. Distribución de los conglomerados y satélites de *Ormosia macrocalyx* en el sureste de México.

Tabla 5.3. Áreas de Ocupación (AO) estimadas por el Método Cartográfico por Conglomerados para *Ormosia macrocalyx*

Conglomerados*	Distancia máxima (km)	Área de celda de la cuadrícula (km²)	No. de Cuadrículas con presencia de la especie	AO (km²)
1	312.05	973.44	16	15,575.04
2	70.29	53.14	5	265.72
3	55.18	30.47	7	213.29
4	41.5	17.22	3	51.67
5	28.19	7.95	2	15.90
			Subtotal	16,121.62
			Conglomerados Satélites	12.00
			Total	16,133.62

*Distribución de Conglomerados: Tabasco: 1; Chiapas: 2 y 3; Oaxaca: 4; y Veracruz: 5.

5.6. Discusión

5.6.1. Patrón ecogeográfico de *O. macrocalyx*

Considerando que las diferentes selvas tropicales, clasificadas como bosque tropical perennifolio, según Rzedowski (2006) representan el sistema ecológico que en el siglo XX se distribuía desde el sur de San Luis Potosí hasta el estado de Quintana Roo, es muy probable que esa formación vegetal coincida con la distribución de *O. macrocalyx* por las condiciones prevalentes (Miranda y Hernández-Xolocotzi 1963).

Rzedowski (2006) describe como indicadores de este tipo de ecosistemas a los árboles *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell, *Vochysia hondurensis* Sprague, *Andira galeottiana* Standl., *Sweetia panamensis* Benth., *Dialium guianense* Aubl. (Sandwith), *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch, *Guatteria anomala* R.E. FR., *Talauma mexicana* (DC.) G. Don, *Brosimum alicastrum* SW., *Swietenia macrophylla* King, *Bursera simaruba* (L.) Sarg y *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., entre otros.

De estas especies, *G. anomala* y *T. mexicana* están incluidas en la lista de especies amenazadas (SEMARNAT 2010) al igual que *O. macrocalyx*. La presencia de *O. macrocalyx* en su área potencial de distribución es escasa, encontrándose con mayor presencia en áreas protegidas, tales como las que existen en Tabasco, Veracruz y Chiapas, y en remanentes de selva, pero también algunos individuos en sistemas agrícolas de subsistencia, en plantaciones agroforestales o como árboles aislados en pastizales cultivados o inducidos (INE 1999, González-Valdivia *et al.* 2012, INEGI 2013, Palma-López *et al.* 2015, Maldonado-Sánchez *et al.* 2016).

Particularmente en Tabasco, *O. macrocalyx* ha sido localizado en bosque tropical inundable de *Bravaisia integerrima*, donde crece junto con *Calophyllum brasiliense* Cambess. y *G. anomala*, las tres especies se encuentran en la categoría de amenazadas (en la norma de Semarnat, 2010); asimismo, se encuentra junto con *Platymiscium yucatanum* Standl., *Vatairea lundelli* (Standl.) Killip ex Record, y *Diospyros digyna* Jacq., principalmente en el estrato superior arbóreo (Maldonado-Sánchez *et al.* 2016). En otros países de su área de distribución se le ha encontrado asociado con vegetación riparia, más comúnmente con los géneros *Orbigyna* sp., *Pachira* sp., *Ceiba* sp., *Desmoncus*

sp., *Cecropia* sp., *Cedrela* sp., *Bursera*, *Calophyllum* sp., *Calathea* sp. y *Heliconia* sp. (Botany Collections Smithsonian National Museum of Natural History 2015, Herbarium Missouri Botanical Garden 2015, Kew Herbarium Catalogue 2015, Virtual Herbarium The New York Botanical Garden 2015).

Las condiciones fisiográficas en las cuales se distribuye *O. macrocalyx* corresponden a la Provincia Costera del Golfo de México y subprovincias de Veracruz y Tabasco-Campeche, dichas geoformas abarcan un rango altitudinal que va desde el nivel del mar hasta 350 m (Geissert 1999). La altitud y el clima están íntimamente relacionados, por lo que la distribución de la especie a nivel nacional y en América Tropical está bien definida; se presenta en áreas cuyas precipitaciones son mayores a 800 mm y las temperaturas medias mínimas son 22°C anuales en las dos subprovincias; lo que corresponde también a altitudes bajas y medias; la máxima altitud registrada es de 2,095 msnm en Cundinamarca, Colombia y la mínima de 9 msnm en Zulia, Venezuela; Brasil es el país en donde se encontró un mayor número de datos distribuidos en el área del Amazonas (Botany Collections Smithsonian National Museum of Natural History 2015, Kew Herbarium Catalogue 2015).

Los suelos en los que se desarrolla esta especie se caracterizan por ser de textura arcillosa, con un pH ligeramente ácido a neutro y tienden a permanecer inundados durante largos períodos. Pueden tener buenos contenidos de materia orgánica y nutrientes, y tienen un manto freático elevado (Gleysol, Vertisol, Luvisol). Los Gleysoles y Luvisoles, son suelos particulares de planicies y lomeríos con pendientes convexas que varían de 5 al 25%, son suelos pobres en nutrimentos, muy frecuentes en los estados de Tabasco y Veracruz (CONABIO 2001, Palma-López *et al.* 2007). El suelo Regosol, se encuentra especialmente en los puntos de colecta en Chiapas, Oaxaca y algunas zonas de Tabasco, es un suelo no diferenciado, de fertilidad que varía ampliamente, se le encuentra en zonas montañosas, combinado generalmente con otros como Cambisol, Litosol y Luvisol. En Tabasco se le encuentra en las zonas costeras y en Oaxaca en las zonas áridas. Los Cambisoles, identificados en Oaxaca y Tabasco difieren de los grupos mencionados en que pueden presentar bajos niveles de Nitrógeno y poca fijación de Fósforo (Palma-López *et al.* 2007).

En México, *O. macrocalyx* es una especie protegida, su status es “en peligro de extinción” (NOM-059-SEMARNAT-2010), como se mencionó, su escasez se atribuye principalmente a la alta deforestación y a la fragmentación de sus ecosistemas (Koleff *et al.* 2012), pero también a la poca dispersión de sus semillas, las cuales permanecen adheridas al árbol por períodos largos. Foster y Delay (1998), confirman esto en un estudio realizado en Perú, donde aves del orden Passeriformes son las encargadas de la dispersión de sus semillas; la mortalidad de las plántulas es debida a la desecación y al hecho de que sus raíces no logran penetrar en el suelo. Las semillas requieren alta humedad para germinar y las plántulas requieren sombra para establecerse porque es una especie tardía sucesionalmente. Las altas temperaturas debidas al cambio climático y los cambios de uso de suelo representan factores adicionales que pueden afectar su fenología y su propagación, todo ello unido a que los dispersores también se encuentran en algún grado de amenaza (Sánchez-Soto 2012).

5.6.2. Áreas de ocupación (AO)

La suma de las AO calculada para *O. macrocalyx* excede el criterio establecido por la IUCN (2001) para considerarla como especie vulnerable en la Lista Roja (< 2,000 km²). El método utilizado en este trabajo es poco conocido, pero su eficacia en representar las áreas reales de ocupación ha sido constatado también por Jaryan *et al.* (2013) en su comparación con los métodos aerográficos y cartográficos. Este estudio hace un acercamiento del conocimiento sobre su distribución y se confirma la necesidad de continuar con un trabajo de colecta mayor para definir su status actual. Los registros satélites detectados en las AO, muestran la fragmentación real de los hábitats en los que se distribuye la especie (Hernández y Navarro, 2007)

La especie se encuentra representada en cinco áreas protegidas y una propuesta de política de conservación que está en proceso de implementación y que podría colaborar a su protección y recuperación sería el establecimiento del Corredor Biológico Mesoamericano. Este proyecto pretende disminuir la fragmentación y mejorar la conectividad del paisaje y los ecosistemas, entre otros objetivos. En México, este Corredor se está desarrollando en los estados de Chiapas, Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco, Veracruz y Oaxaca

(Miller *et al.* 2001, CONABIO 2015), y coincide en buena medida con el área de distribución de la especie; por esta razón es esperable que los corredores constituyan una estrategia útil para la recuperación de esta especie y los ecosistemas donde se encuentra.

5.7. Conclusiones

La distribución geográfica de *O. macrocalyx* se delimitó al sureste de la República Mexicana, y se encontró en cuatro estados: Veracruz, Tabasco, Chiapas y Oaxaca, se localiza en zonas cálido-húmedas con altitudes ≤ 1150 msnm y en suelos inundables, principalmente. La especie se encuentra en algunas áreas protegidas y remanentes de selvas, pero también en algunos agroecosistemas y como árboles aislados. Es vulnerable debido a su deficiente estrategia de dispersión de semillas y ocupa un hábitat especializado. Se delimitaron cinco áreas de ocupación y seis satélites que se encuentran dentro de las rutas del Corredor Biológico Mesoamericano, el área calculada (16,133.62 km²) es mayor que el umbral mínimo aconsejado (2,000 km²) para considerarla como especie vulnerable en la Lista Roja de la IUCN. Esta información podría ser útil para evitar el deterioro de sus ecosistemas y la extinción de la especie.

5.8. Bibliografía

- Botany Collections. 2015. *Department of Botany Collections*, Smithsonian National Museum of Natural History. <http://collections.nmnh.si.edu/search/botany/>. Acceso 18 de mayo, 2015.
- Cernusak LA, Winter K, Martínez C, Correa E, Aranda J, García M, Jaramillo C, Turner BL. 2011. Responses of legume versus non legume tropical tree seedlings to elevated CO₂ concentration. *Plant Physiology* **157**: 372-385.
- CONABIO. 2001a. *Edafología, Escala 1: 1'000,000*. Portal de geoinformación, Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad. Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.CONABIO.gob.mx/informacion/gis/>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- CONABIO. 2001b. *Climas, Escala 1: 1'000,000*. Portal de geoinformación, Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad. Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.CONABIO.gob.mx/informacion/gis/>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- CONABIO. 2015. *Corredor Biológico Mesoamericano, Biodiversidad Mexicana*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/corredorbiomeso.html>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- CONAFOR. 2012. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. Informe 2004-2009. Zapopan: Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONANP. 2006. *Programa de conservación y manejo. Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas México*. México: Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- CONANP. 2015. *Áreas naturales protegidas. Planicie costera y Golfo de México*. Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). <http://www.conanp.gob.mx/regionales/>. Acceso 2 de marzo, 2015.
- ESRI (Environmental Systems Resource Institute). 1999–2014. ArcMap 10. Redlands, CA, USA.

- Foster MS. 2008. Potential effects of arboreal and terrestrial avian dispersers on seed dormancy, seed germination and seedling establishment in *Ormosia* (Papilionoideae) species in Peru. *Journal of Tropical Ecology* **14**: 619-627.
- García E. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Ciudad de México. Offset Larios.
- Geissert KD. 1999. Regionalización geomorfológica del estado de Veracruz. *Investigación Geográfica* **40**: 23-47.
- González-Valdivia N, Ochoa-Gaona S, Ferguson BG, Pozo C, Kampichler C, Pérez-Hernández I. 2012. Análisis comparativo de la estructura, diversidad y composición de comunidades arbóreas de un paisaje agropecuario en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **83**: 83-99.
- Herbarium Missouri Botanical Garden. 2015. *Herbarium Missouri Botanical Garden*. <http://www.missouribotanicalgarden.org/plant-science/plant-science/resources/herbarium.aspx>. Acceso 13 de mayo, 2015.
- Hernández HM, Navarro M. 2007. A new method to estimate areas of occupancy using herbarium data. *Biodiversity and Conservation* **16**: 2457-2470.
- Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C. 2011. Areas of endemism of Cactaceae and the effectiveness of the protected area network in the Chihuahuan Desert. *Oryx The International Journal of Conservation* **45**: 191-200.
- INE. 1999. *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura*, México: Instituto Nacional de Ecología (INE).
- INEGI. 2013. *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación de la serie V, escala 1: 250,000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <http://www.INEGI.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- INEGI. 2016. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Áreas Geoestadísticas Estatales*. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825217341>. Acceso 18 noviembre, 2016.
- INEGI. 2017. *Modelos Digitales de Elevación (MED). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*. <http://www.INEGI.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>. Acceso 2 de Febrero, 2015.

- IUCN. 2001. *IUCN Red List categories and criteria: version 3.1*. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge.
- Jaryan V, Uniyal SK, Kumar A, Gupta RC, Singh RD. 2013. Extent of occurrence and area of occupancy of tallow tree (*Sapium sebiferum*): using the red list criteria for documenting invasive species expanse. *National Academy Science Letters* **36**: 85-91.
- Kew Herbarium Catalogue. 2015. *Royal Botanic Gardens*, Kew. http://apps.kew.org/herbcat/navigator.do?_ga=1.234330654.1472225349.1451239005. Acceso 2 de Febrero, 2015.
- Koleff P, Urquiza-Haas T, Contreras B. 2012. Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Ecosistemas* **21**: 6-20.
- Maldonado-Sánchez E, Ochoa-Gaona S, Ramos-Reyes R, Guadarrama-Olivera MA, González-Valdivia N, de Jong JB. 2016. La selva inundable de canacoite en Tabasco, México, una comunidad vegetal amenazada. *Acta Botánica Mexicana* **115**:75-101.
- Miller K, Chang E, Johnson N. 2001. *En busca de un enfoque común para el Corredor Biológico Mesoamericano*. Washington: World Resources Institute.
- Miranda F, Hernández-Xolocotzi E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **28**:29-179. DOI: 10.17129/botsci.1084.
- Ochoa-Gaona S, de la Cruz-Arias V. 2002. La distribución y fenología de la flora arbórea del estado de Tabasco con base en la información de herbario. *Universidad y Ciencia* **18**: 114-127.
- Ochoa-Gaona S, Pérez-Hernández I, Jiménez-Pérez NC. 2008. *Descripción de las especies de árboles más comunes de la sierra de Tenosique, Tabasco, México*. Villahermosa: El Colegio de la Frontera Sur.
- Palma-López DJ, García-López E, Sol-Sánchez A, Juárez-López F. 1999. *Plan de manejo de la Reserva Ecológica de la Chontalpa*. H. Cárdenas: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco y SEDESPA, Dirección de Ecología.
- Palma-López D, Cisneros-Domínguez J, Moreno-Cáliz E, Rincón-Ramírez JA. 2007. *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco*. Villahermosa: Colegio de

- Postgraduados, Campus Tabasco, Instituto para el Desarrollo de sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco Vol. I.
- Palma-López DJ, Vázquez-Navarrete CJ, Ruiz-Rosado O, Mariaca-Méndez R, Ascencio-Rivera JM, Chablé-Pascual R. 2015. Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* **2**: 23-39
- Pérez-Hernández I, Ochoa-Gaona S, Vargas-Simón G, Mendoza-Carranza M, González-Valdivia NA. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y Bosques* **17**: 79-91.
- Ramírez-Meneses A, García-López E, Obrador-Olán JJ, Ruiz-Rosado O, Camacho-Chiu W. 2013. Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco. *Universidad y Ciencia* **29**: 215-230.
- Rivers MC, Bachman SP, Meagher TR, Lughadha EN, Brummitt NA. 2010. Subpopulations, locations and fragmentation: applying IUCN red list criteria to herbarium specimen data. *Biodiversity and Conservation* **19**: 2071-2085.
- Rudd VE. 1968. Leguminosae. Contributions from the United States National Herbarium, Vol 32. Washington: Bulletin of the United States National Museum, Smithsonian Institution Press.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. México: 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sánchez-Soto S. 2012. Lista actualizada de las aves del Parque Ecológico de la Chontalpa, Tabasco, México. *Huitzil* **13**: 173-180.
- SARH 1994. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre.
- SEMARNAT 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- Solano E, Feria TP. 2007. Ecological niche modeling and geographic distribution of the genus *Polianthes* L. (Agavaceae) in Mexico: using niche modeling to improve assessments of risk status. *Biodiversity and Conservation* **16**: 1885–1900.

Virtual Herbarium The New York Botanical Garden. 2015. *The C.V. Starr Virtual Herbarium The New York Botanical Garden.*
<http://sciweb.nybg.org/science2/vii2.asp>. Acceso 15 mayo, 2015.

CAPÍTULO 6 **Discusión General**



CAPÍTULO 6. Discusión General

En la presente Tesis Doctoral se analizan aspectos del proceso germinativo, crecimiento, desarrollo y adaptación de varias especies arbóreas tropicales nativas de México de importancia económica y ecológica (Vázquez-Yanes *et al.* 1999, Pennington y Sarukhán 2005), bajo condiciones de vivero y de campo; así como la distribución geográfica y las áreas de ocupación de *Ormosia macrocalyx* en la República Mexicana y la relación existente entre su presencia y el ambiente. Se genera información útil con el propósito de que se amplíe la oferta de especies utilizables en los programas de conservación y restauración de bosques en las zonas tropicales, puesto que actualmente, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2016), institución encargada de estos programas sólo considera seis especies nativas (DOF 2017) y ninguna para las áreas costeras que están siendo altamente amenazadas por el cambio climático (Ramos-Reyes *et al.* 2016).

Las pruebas de germinación, así como la observación del desarrollo y la cuantificación del crecimiento de plantas en vivero son el preámbulo de cualquier proceso de producción (Landis *et al.* 1994), reiterando que es necesario que una especie arbórea tenga una germinación homogénea y altas tasas de germinación (Azad *et al.* 2010). El mantenimiento del vigor germinativo con respecto al tiempo, es también un factor determinante (Sousa *et al.* 2016), sobre todo porque algunas plantas fructifican en una sola estación del año y esto restringe la disponibilidad de semillas.

En los programas de reforestación, las plantas idealmente deben tener entre el 76-100% de supervivencia (Román-Dañobeytia *et al.* 2012), para lo cual se requiere una producción de plantas de calidad en la etapa de vivero, por lo que su evaluación en esta fase es de suma importancia (Landis *et al.* 1994).

La obtención de la distribución ecogeográfica de las especies arbóreas y el cálculo de las áreas de ocupación con base en ejemplares de herbario, tienen varias aplicaciones para el manejo y conservación de estas especies. Destacan tres aplicaciones relevantes constituye una herramienta básica para definir las unidades de producción de germoplasma y las regiones de procedencia (García-de la Cruz *et al.* 2013, CONAFOR 2016), define adecuadamente el ambiente y la ubicación geográfica donde la especie expresará mejor sus características fenotípicas

(CONAFOR 2016); las áreas de ocupación, sirven para delimitar su distribución real y con ello la posibilidad de establecer áreas de protección.

A continuación se discuten los diferentes experimentos que componen esta Tesis Doctoral

6.1. Germinación de semillas de *Ormosia macrocalyx*, una especie forestal tropical amenazada

Este estudio se realizó en dos experimentos independientes:

En el primer experimento se revisó el comportamiento germinativo de semillas de *O. macrocalyx* obtenidas de frutos de diferente estado de madurez y se demostró que las variables germinativas en semillas de frutos abiertos, semiabiertos y cerrados no presentaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de germinación (PG); pero las demás variables si presentaron diferencias: la tasa de germinación (TG), la tasa de germinación corregida (TGC) y el tiempo para obtener el 50% de germinación (T_{50}) (Capítulo 2). Las semillas de frutos cerrados demostraron un alto vigor germinativo. Esto concuerda con la explicación proporcionada por Bewley *et al.* (2013) quienes mencionan que los propágulos recién formados alcanzan la madurez fisiológica e inmediatamente presentan una habilidad para germinar rápidamente, además de que su cubierta seminal no está tan lignificada. En cambio las semillas de frutos abiertos que estuvieron en contacto con el ambiente, tendieron a endurecer la cubierta y entrar en latencia física como lo observaron Foster y Delay (1998). Cabe señalar que es una estrategia que evita la germinación cuando las condiciones son desfavorables (Moïse *et al.* 2005, Baskin *et al.* 2006, van Klinken y Goulier 2013).

En el segundo experimento, al aplicar tratamientos pregerminativos en semillas de *O. macrocalyx* almacenadas en refrigeración durante 17 meses, se comprobó que la escarificación mecánica por lijado en la zona contraria al hilum, por sí sola o combinada con ácido giberélico (1%), aumentó la respuesta germinativa de las variables evaluadas (PG, TG, TGC y T_{50}). Linkies y Leubner-Metzger (2012) y Zhang *et al.* (2012) describen la escarificación como la ruptura de la cubierta seminal que permite que ocurra el intercambio químico y gaseoso, disparando el proceso germinativo, mientras que el ácido giberélico favorece el alargamiento del eje embrionario. En semillas almacenadas, la respuesta fisiológica de la germinación fue menor que en semillas recién formadas, esta pérdida de vigor se asocia con el

almacenamiento por un largo período. Hong y Ellis (1996) y Ferreira y Gentil (2003) han afirmado que la pérdida de la viabilidad de la semilla, que ocurre con el almacenamiento en refrigeración, posiblemente es causada por las bajas temperaturas y la deshidratación del embrión, presentando cierta similitud al caso de las semillas intermedias.

6.2. Crecimiento inicial de seis especies forestales del trópico húmedo

En el experimento (descrito en el Capítulo 3), se evaluó el comportamiento de germinación, desarrollo y crecimiento de las especies: *Calophyllum brasiliense*, *Bravaisia integerrima*, *Dialium guianense*, *Piscidia piscipula*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Enterolobium cyclocarpum* bajo condiciones de umbráculo durante seis meses. Las semillas de *D. guianense* y *E. cyclocarpum* requirieron escarificación mecánica por lijado para una germinación rápida y homogénea de acuerdo a trabajos previos (Vargas-Simón *et al.* 2003, SEMARNAT 2015). La mayoría de las plantas tuvieron una germinación epigea fanerocotilar mientras que *C. brasiliense* la tuvo hipógea criptocotilar, esta información es útil para su correcta identificación en campo y para estudios taxonómicos (de Voguel 1980, Ibarra-Manríquez *et al.* 2001, Lobo *et al.* 2014).

La forma de los cotiledones foliáceos de las especies en estudio varió con respecto a los metáfilos en *B. integerrima* y *T. donnell-smithii*, pero la forma observada de las hojas juveniles se conserva hasta la edad adulta (Pennington y Sarukhán 2005); las leguminosas *D. guianense* y *P. piscipula*, además de sus cotiledones de reserva cuentan con un par de paracotiledones, que tienen una función fotosintética por su contenido de clorofila lo que constituye una característica peculiar de los miembros de ese grupo (de Voguel 1980, Gurgel *et al.* 2012). En *C. brasiliense*, la forma del limbo de los eófilos y de los metáfilos es igual a través del tiempo; así como ocurre en todos los folíolos de *D. guianense*, *P. piscipula* y *E. cyclocarpum*, correspondiendo también con lo señalado en árboles adultos (Cordero y Boshier 2003, Pennington y Sarukhán 2005).

Los valores más altos de crecimiento en longitud de tallo se registraron en *E. cyclocarpum* y *C. brasiliense*; aunque en diámetro basal de tallo, *B. integerrima* y *T. donnell-smithii* fueron las que presentaron valores más altos. Estas características son de gran importancia para determinar el tiempo de trasplante al campo (Oliveira y Joly, 2010, Lisboa *et al.* 2014, Viveros *et al.* 2015).

En cuanto a las tasas relativas de crecimiento de longitud de tallo, *B. integerrima* y *C. brasiliense* tuvieron las máximas. A pesar de que *C. brasiliense* tiene una germinación criptocotilar hipógea superó en crecimiento a otras de germinación epígea fanerocotilar. Saraiva *et al.* (2014) describieron que puede crecer tanto en ambientes con 50% de sombra como sin ella; y la respuesta en *B. integerrima*, coincide con la capacidad de la especie de formar masas en que es dominante, denominadas canacoitales, lo que se comprueba con su alto valor de importancia en las áreas donde está establecida (Maldonado-Sánchez *et al.* 2016).

Las tasas de crecimiento relativo del diámetro basal del tallo fueron similares entre las especies, siendo *E. cyclocarpum* la que tuvo menor tasa, posiblemente porque es una especie pionera y en este experimento fue limitada por la luz (Griscom *et al.* 2005), ya que es una especie que se desarrolla muy bien en zonas perturbadas donde existen altas intensidades lumínicas, igual que *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Muñoz-Flores *et al.* 2013, da Trinidad-Lessa *et al.* 2015).

El promedio general de supervivencia a los seis meses en este experimento fue 70.1%, similar a lo registrado por Viani y Rodrigues (2007) cuando trabajaron con especies nativas en condiciones de vivero. Este valor fue un poco bajo porque hubo muerte de plántulas debido a patógenos en *T. donnell-smithii* y plagas en *E. cyclocarpum*. Las experiencias obtenidas con estas especies servirán para mejorar las técnicas de su manejo, ya que en un vivero se deben producir plantas de calidad (Viani y Rodrigues 2007), aunque aplicando prácticas de producción sostenible, evitando en lo posible el uso de pesticidas químicos y favoreciendo el control biológico en el manejo de plagas (Dennis *et al.* 2010). Por ejemplo, Cibrián *et al.* (2008), recomienda inocular el sustrato con *Trichoderma* spp. un hongo antagonista de *Alternaria* sp.

Las plantas que se produjeron corresponden a especies que escasamente se encuentran en los viveros de la región a pesar de que la mayoría de las especies de este estudio están recomendadas en programas de reforestación por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (Vanegas-López 2016). Las razones pueden ser varias, pero entre las más importantes está la falta de zonificación de las

unidades de producción de germoplasma y el desconocimiento de su manejo tanto en condiciones de vivero, como en campo.

Precisamente por la falta de disposición de semillas de *O. macrocalyx* no se pudo anexar simultáneamente en el experimento; sin embargo, en un tiempo posterior se obtuvieron datos preliminares acerca de su longitud de tallo y diámetro basal a los seis meses después de la siembra, previa escarificación. Se establecieron con el mismo tipo de sustrato y de bandejas de cultivo, en condiciones de umbráculo (50%), similares a las condiciones del estudio de las demás especies.

El porcentaje de supervivencia fue del 82.1% y su tasa de crecimiento en longitud de tallo durante seis meses fue similar a lo registrado por Pérez-Hernández *et al.* (2011), 0.8 cm semana⁻¹ bajo 40% de sombra. Dadas su importancia económica y ecológica, los estudios al respecto deberán ampliarse y considerarla como un árbol factible de ser utilizado en reforestación. Las zonas adecuadas para utilizarla coinciden con las que se delimitaron por medio del Método Cartográfico por Conglomerados, que se discute en la última sección de este capítulo.

6.3. Especies arbóreas para reforestación en zonas costeras del trópico húmedo

En el Capítulo 4, se muestran los resultados de la evaluación del crecimiento durante 23 meses después del trasplante de cinco especies arbóreas: *Ceiba pentandra*, *Tabebuia rosea*, *Gliricidia sepium*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Brosimum alicastrum* en un suelo Arenosol, que se caracteriza por tener mediana fertilidad y baja disponibilidad de agua (Palma-López *et al.* 2007), particularmente el sitio de experimentación tiene pH neutro y baja conductividad eléctrica. El porcentaje de supervivencia, varió entre especies, pero en *B. alicastrum* se presentó mortandad total a los 6 meses de evaluación. Los valores máximos en las principales variables medidas (supervivencia, longitud de tallo, diámetro basal de tallo y área basimétrica) se presentaron en *C. pentandra* y *G. sepium*. Se demostraron diferencias estadísticas altamente significativas entre las especies y en la mayoría de los períodos evaluados.

Los porcentajes de supervivencia mayores del 76% que corresponden al caso de *C. pentandra* y *G. sepium* son considerados excelentes por Román-Dañobeytia *et al.* (2012); para *E. cyclocarpum* y *T. rosea* son considerados “buenos” (51 al 75%). Las longitudes de tallo de *C. pentandra* y *G. sepium* fueron menores a las

registradas en la literatura (de Souza *et al.* 2010, de Oliveira *et al.* 2016); aunque cabe aclarar que los valores reportados en la literatura para *G. sepium* corresponden a plantas obtenidas por estaca que es su forma de propagación común, y que en este experimento se comportó como arbusto, no encontrando datos de brinzales para comparar. En el caso del diámetro basal, lo registrado en este estudio para estas dos especies fue similar a los valores que reportan Román-Dañobeytia *et al.* (2012) y Silva *et al.* (2012).

Las especies arbóreas *C. pentandra*, *G. sepium* y *T. rosea* se consideran de crecimiento rápido (Araque *et al.* 2009, Plath *et al.* 2011, Silva *et al.* 2012); pero se debe considerar que una misma especie puede tener una expresión diferente dependiendo de las características de textura, fertilidad y humedad en el suelo, así como de las prácticas de manejo (van Breugel *et al.* 2011). Los valores mínimos de longitud del tallo estarían asociados a las características del suelo mencionadas y además al bajo contenido de materia orgánica (Palma-López *et al.* 2007).

En el presente estudio, las tasas relativas de crecimiento (TRC) de la longitud de tallo y diámetro basal de tallo fueron similares en *T. rosea*, *E. cyclocarpum* y *C. pentandra* mientras que *G. sepium* presentó una TCR mayor en longitud del tallo pero menor TRC en el diámetro, que se podría atribuir al crecimiento arbustivo, ya que el crecimiento se reparte entre varios tallos para cada planta. El anova de medidas repetidas para estas variables detectó diferencias estadísticas entre especies y períodos de evaluación, el patrón entre pares de especies fue muy diferente a las anteriores variables para la TRC de longitud de tallo, las altas tasas las obtuvieron *C. pentandra* (en el sexto mes) y *G. sepium* (en el noveno) y *E. cyclocarpum* junto con *T. rosea* (en el mes doceavo). Sin embargo en TRC de diámetro de tallo, *C. pentandra* y *E. cyclocarpum* fueron estadísticamente iguales y con los valores más altos al final del experimento.

El área basimétrica de *C. pentandra* y *G. sepium*, fue mayor que en las otras especies, lo que concuerda con la alta supervivencia y los diámetros basales mayores, comparativamente similares a los mencionados en PROECEN (2003) para *C. pentandra* y *G. sepium*. Las diferencias estadísticas en esta variable fueron similares a las registradas en longitud de tallo y diámetro basal: *C. pentandra* y *G. sepium* fueron similares entre ellas (no presentaron diferencias estadísticamente significativas) y diferentes al grupo formado por *T. rosea* y *E. cyclocarpum* ($P \leq 0.05$).

Considerando que las plantaciones forestales en Latinoamérica se han concentrado en pocas especies que representan el 51% de todas las plantaciones establecidas en el Neotrópico (Wishnie *et al.* 2007). Los resultados obtenidos en este experimento sugieren posibilidades para ampliar el grupo de especies que se utiliza tanto en la reforestación como en el manejo silvícola tropical sobre todo en zonas costeras. Para aumentar la potencialidad de las especies promisorias se requeriría una fertilización adecuada al tipo de suelo y el espaciamiento apropiado entre árboles que permitirá un mejor crecimiento y desarrollo.

6.4. Distribución geocológica de *Ormosia macrocalyx* en México y delimitación de sus áreas de ocupación

En México, *O. macrocalyx* es una especie protegida, su status es “en peligro de extinción” (SEMARNAT 2010), su escasez se debe principalmente a la alta deforestación y a la fragmentación de sus ecosistemas (Koleff *et al.* 2012). Tiene importancia económica y ecológica (Ochoa-Gaona *et al.* 2008, Pérez-Hernández *et al.* 2011). En el Capítulo 5, se determinó la distribución geográfica-ecológica y se delimitaron sus áreas de ocupación (AO) con base en ejemplares de herbario. Con base en las áreas de ocupación delimitadas y la correlación de éstas con el clima, geomorfología, tipo de vegetación y suelo, la especie se encontró únicamente en los estados sureños de la República Mexicana, se puede inferir que se encontraba desde el centro-norte del país hasta el estado de Quintana Roo, zona donde se distribuía la selva alta perennifolia (Miranda y Hernández-Xolocotzi 1963, Rzedowski 2006). Ecológicamente, se distribuye en zonas de alta precipitación (>800 mm por año) y en elevaciones menores de 1150 msnm, preferiblemente en suelos tipo Gleysol y en climas cálido húmedos. Por la alta deforestación, actualmente se encuentra asociada con remanentes de bosque tropical perennifolio, bosque tropical inundable de *Bravaisia integerrima* (Maldonado-Sánchez *et al.* 2016), bosque mediano caducifolio y bosque bajo caducifolio, pero también se localiza en agroecosistemas como huertos familiares y como individuos aislados (INE 1999, González-Valdivia *et al.* 2012, Maldonado-Sánchez *et al.* 2016, Palma-López *et al.* 2015, INEGI 2013).

A nivel internacional se encuentra asociada con vegetación riparia, que comprende los géneros *Orbigyna* sp., *Pachira* sp., *Ceiba* sp., *Desmoncus* sp., *Cecropia* sp., *Cedrela* sp., *Bursera*, *Calophyllum* sp., *Calathea* sp. y *Heliconia* sp.

(Botany Collections Smithsonian National Museum of Natural History 2015, Herbarium Missouri Botanical Garden 2015, Kew Herbarium Catalogue 2015, Virtual Herbarium The New York Botanical Garden 2015).

Además del problema de la restricción de sus hábitats, su escasez se debe a la poca dispersión de sus semillas, las cuales permanecen adheridas al árbol por períodos largos y además existe alta mortalidad de plántulas porque las radículas de éstas no logran penetrar en el suelo (Foster 2008). Las semillas además requieren alta humedad para germinar y las plántulas requieren sombra para establecerse lo que es coherente con su carácter de especie tardía sucesionalmente. Las altas temperaturas debido al cambio climático y los cambios de uso de suelo representan factores adicionales que afectarán su fenología y su propagación, ya que los organismos dispersores también se encuentran en algún grado de amenaza (Sánchez-Soto 2012).

Las dos áreas más grandes de las cinco AO y los seis satélites delimitados corresponden a los estados de Tabasco y de Chiapas. La suma de dichas áreas para *O. macrocalyx* excede el criterio establecido por la IUCN (2001) para considerarla como especie vulnerable en la Lista Roja ($< 2,000 \text{ km}^2$). El método utilizado en este trabajo es poco conocido, pero su eficacia en representar las áreas reales de ocupación ha sido constatado también por Jaryan *et al.* (2013) en su comparación con los métodos aerográficos y cartográficos. Los registros satélites detectados fuera de las AO, muestran la fragmentación real de los hábitats en los que se distribuye la especie (Hernández y Navarro, 2007); que se encuentra en cinco áreas protegidas. El establecimiento del Corredor Biológico Mesoamericano, es un proyecto que pretende disminuir la fragmentación y mejorar la conectividad del paisaje y los ecosistemas (CONABIO 2015). Las áreas en que se proyecta su establecimiento coinciden en buena medida con la distribución de la especie y serviría para dar continuidad a las zonas de distribución fragmentadas y se propiciará su recuperación.

6.5. Bibliografía

- Araque O, Jaimez RE, Azócar C, Espinoza W, Tezara W. 2009. Relaciones entre anatomía foliar, intercambio de gases y crecimiento en juveniles de cuatro especies forestales. *Interciencia* **34**: 725-729.
- Azad MS, Paul NK, Matin, A. 2010. Do pre-sowing treatments affect seed germination in *Albizia richardiana* and *Lagerstroemia speciosa*? *Frontiers of Agriculture in China* **4**: 181-184.
- Baskin MJ, Baskin CC. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* **14**: 1-16.
- Baskin CC, Thompson K, Baskin JM. 2006. Mistakes in germination ecology and how to avoid them. *Seed Science Research* **16**: 165-168.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. 2013. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd edition). New York: Springer.
- Botany Collections. 2015. Department of Botany Collections, Smithsonian National Museum of Natural History. <http://collections.nmnh.si.edu/search/botany/>. Acceso 18 de mayo, 2015.
- Cibrián D, García S, Don Juan B. 2008. *Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales*. Ciudad de México: Comisión Nacional Forestal.
- Combalicer MS, Lee DK, Woo SY, Park PS, Lee KW, Tolentino EL, Combalicer EA, Lee YK, Park YD. 2011. Aboveground biomass and productivity of nitrogen-fixing tree species in the Philippines. *Science Research Essays* **6**: 5820-5836.
- CONAFOR 2016. *Manual para el establecimiento de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal*. Zapopan: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
- CONABIO. 2001a. Edafología, Escala 1: 1'000,000. Portal de geoinformación, Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad. Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- CONABIO. 2001b. Climas, Escala 1: 1'000,000. Portal de geoinformación, Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad. Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la

- Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- CONABIO. 2015. Corredor Biológico Mesoamericano, Biodiversidad Mexicana. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/corredorbiomeso.html>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- Cordero J, Boshier DH. (eds.). 2003. *Árboles de Centroamérica, un Manual para Extensionistas*. Oxford Forestry Institute. Turrialba. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), CD-ROM.
- Da Trinidad-Lessa BF, Nobre-de Almeida JP, Lobo-Pinheiro C, Melo-Gomez F, Medeiros-Filho S. 2015. Germination and seedling growth of *Enterolobium contortisiliquum* as a function of seed weight and temperature and light conditions. *Agrociencia* **49**:315-327.
- De Oliveira VRD, Lima e Silva PS, de Paiva HN, Pontes FST, Antonio RP. 2016. Growth of arboreal leguminous plants and maize yield in agroforestry systems. *Revista Árvore* **40**: 679-688.
- De Souza CR, de Azevedo CP, Lima MR, Rossi LMB. 2010. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazonia. *Acta Amazonica* **40**: 127-134.
- De Voguel EF. 1980. *Seedlings of dicotyledons*. Wageningen. Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Dennis JH, Lopez RG, Behe BK, Hall CR, Yue C, Campbell BL. 2010. Sustainable production practices adopted by greenhouse and nursery plant growers. *HortScience* **45**:1232-1237.
- DOF 2017. *Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2017*. México DF: Diario Oficial (DOF), Decimocuarta sección, Poder Ejecutivo, Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 28 de diciembre de 2016.
- Ferreira SDN, Gentil DDO. 2003. Armazenamento de sementes de camu-camu (*Myrciaria dubia*) com diferentes graus de umidade e temperaturas. *Revista Brasileira de Fruticultura* **25**: 440-442.
- Foster MS, Delay LS. 1998. Dispersal of mimetic seeds of three species of *Ormosia* (Leguminosae). *Journal of Tropical Ecology* **14**: 389-411.

- Foster MS. 2008. Potential effects of arboreal and terrestrial avian dispersers on seed dormancy, seed germination and seedling establishment in *Ormosia* (Papilionoideae) species in Peru. *Journal of Tropical Ecology* **14**: 619-627.
- García-de la Cruz Y, Olivares-López LA, Ramos-Prado JM. 2013. Estructura y composición arbórea de un fragmento de bosque mesófilo de montaña en el estado de Veracruz. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* DOI: 10.5154/r.rchscfa.2012.03.025.
- González-Valdivia N, Ochoa-Gaona S, Ferguson BG, Pozo C, Kampichler C, Pérez-Hernández I. 2012. Análisis comparativo de la estructura, diversidad y composición de comunidades arbóreas de un paisaje agropecuario en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **83**: 83-99.
- Griscom HP, Ashton PMS, Berlyn GP. 2005. Seedling survival and growth of native tree species in pastures: Implications for dry tropical forest rehabilitation in central Panama. *Forest Ecology and Management* **218**: 306-318.
- Gurgel CES, dos Santos MJU, Lucas AFC, Bastos CMN. 2012. Leguminosae seedlings morphology and the systematic potential. *Rodriguésia* **63**: 065-073.
- Herbarium Missouri Botanical Garden. 2015. Herbarium Missouri Botanical Garden. <http://www.missouribotanicalgarden.org/plant-science/plant-science/resources/herbarium.aspx>. Acceso 13 de mayo, 2015.
- Hernández HM, Navarro M. 2007. A new method to estimate areas of occupancy using herbarium data. *Biodiversity and Conservation* **16**: 2457-2470.
- Hong TD, Ellis RH. 1996. *A protocol to determine seed storage behaviour*. Technical Bulletin No. 1. Rome: International Plant Genetics Resources Institute.
- Ibarra-Manríquez G, Martínez-Ramos M, Oyama K. 2001. Seedling functional types in a lowland rain forest in Mexico. *American Journal of Botany* **88**: 1801-1812.
- INE. 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Instituto Nacional de Ecología (INE), México.
- INEGI. 2013. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación de la serie V, escala 1: 250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <http://www.INEGI.org.mx/geo/contenidos/reconat/usosuelo/>. Acceso 2 de febrero, 2015.
- IUCN. 2001. IUCN Red List categories and criteria: version 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge.

- Jaryan V, Uniyal SK, Kumar A, Gupta RC., Singh RD. 2013. Extent of occurrence and area of occupancy of tallow tree (*Sapium sebiferum*): using the red list criteria for documenting invasive species expanse. *National Academy Science Letters* **36**: 85-91.
- Kew Herbarium Catalogue. 2015. Royal Botanic Gardens, Kew. http://apps.kew.org/herbcat/navigator.do?_ga=1.234330654.1472225349.1451239005. Acceso 2 de Febrero, 2015.
- Koleff P, Urquiza-Haas T, Contreras B. 2012. Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Ecosistemas* **21**: 6-20.
- Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP. 1994. *The container tree Nursery manual*. Washington DC: Department of Agriculture, Forest Service.
- Linkies A, Leubner-Metzger G. 2012. Beyond gibberellins and abscisic acid: how ethylene and jasmonates control seed germination. *Plant Cellular Report* **31**: 253–270.
- Lisboa CA, Santos DPS, Neto NOS, Castro DND, Abreu MDAH. 2012. Effect of volume of tubes on the production of seedlings of *Calophyllum brasiliense* and *Toona ciliata*. *Revista Árvore* **36**:603-609.
- Lobo GA, Santana DG, Salomão AN, Rehbein LS, Wielewicki AP. 2014. A technological approach to the morphofunctional classification of seedlings of 50 Brazilian forest species. *Journal of Seed Science* **36**: 087-093.
- Maldonado-Sánchez EA, Ochoa-Gaona S, Ramos-Reyes R, Guadarrama-Olivera MA, González-Valdivia N, de Jong BHJ. 2016. La selva inundable de canacoite en Tabasco, México, una comunidad vegetal amenazada. *Acta Botánica Mexicana* **115**:75-101.
- Miranda F, Hernández-Xolocotzi E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **28**:29-179. DOI: 10.17129/botsci.1084.
- Moïse AJ, Han S, Gudynaite-Savitch L, Johnson AD, Miki BLA. 2005. Seed coats: structure, development, composition and biotechnology. *In vitro Cellular Development Biology-Plant* **41**: 620-644.

- Muñoz-Flores HJ, García-Magaña JJ, Orozco-Gutiérrez, Coria-Avalos VM, Nájera-Rincón B. 2013. Evaluación de una plantación con dos especies tropicales en diferentes tipos de envases. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **4**:28-43.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2000. *Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis*. Diario Oficial de la Federación del 2000, 14: 17.
- Ochoa-Gaona S, de la Cruz-Arias V. 2002. La distribución y fenología de la flora arbórea del estado de Tabasco con base en la información de herbario. *Universidad y Ciencia* **18**: 114-127.
- Ochoa-Gaona S, Pérez-Hernández I, Jiménez-Pérez NC. 2008. Descripción de las especies de árboles más comunes de la sierra de Tenosique, Tabasco, México. Villahermosa: El Colegio de la Frontera Sur.
- Oliveira CV, Joly CA. 2010. Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. *Trees* **24**:185-193.
- Palma-López DJ, Cisneros-Domínguez.J, Moreno-Cáliz E, Rincón-Ramírez J.A. 2007. *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Villahermosa. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB.
- Pennington TD, Sarukhán J. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica.
- Pérez-Hernández I, Ochoa-Gaona S, Vargas-Simón G, Mendoza-Carranza M, González-Valdivia NA. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y Bosques* **17**: 79-91.
- Plath M, Mody K, Potvin C, Dorn S. 2011. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: small-scale effects on tree performance and insect herbivory. *Forest Ecology and Management* **261**: 741-750.
- PROECEN 2003. *Guías silviculturales de 23 especies forestales del bosque húmedo de Honduras*. Proyecto PD 022/99 Rev.2 (F) Estudio de Comportamiento de Especies Maderables Nativas con Importancia Comercial del Bosque Húmedo Tropical en Honduras. Siguatepeque: (PROECEN), Escuela Nacional de

Ciencias Forestales (ESNACIFOR), Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT).

- Ramos-Reyes R, Gama-Campillo LM, Nuñez-Gómez JC, Sánchez-Hernández R, Hernández-Trejo H, Ruiz-Álvarez O. 2016. Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **13**: 2551-2563.
- Román F, de Sautu R, Deago A, Hall J, Jefferson S. 2012. *Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá and los Neotrópicos*. Panamá: Environmental Leadership & Training Initiative (Elti), Proyecto de reforestación con especies nativas (PRORENA).
- Román-Dañobeytia F, Levy-Thatcher S, Perales-Rivera H, Ramírez-Marcial N, Douterlungne D, López-Mendoza S. 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en La Selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada* **6**: 1-8.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Sánchez-Soto S. 2012. Lista actualizada de las aves del Parque Ecológico de la Chontalpa, Tabasco, México. *Huitzil* **13**: 173-180.
- Saraiva FRG, Souza MG, Rodrigues DJ. 2014. Aclimatação e fisiologia de mudas de Guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras. *Colloquium Agrariae* **10**: 01-10.
- SEMARNAT 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT 2015. *Manual para el manejo de germoplasma forestal*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México: Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Economía, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.
- Silva PSL, Holanda AER, Paiva HND, Oliveira FHTD, Oliveira OFD. 2012. Planting density and initial growth of two tree species adapted to the semi-arid region. *Revista Árvore* **36**: 951-960.

- Sousa KR, Aragão VPM, Reis RS, Macedo AF, Vieira HD, de Souza CLM, Floh EIS, Silveira V, Santa-Catarina, C. 2016. Polyamine, amino acid, and carbohydrate profiles during seed storage of threatened woody species of the Brazilian Atlantic Forest may be associated with seed viability maintenance. *Brazilian Journal of Botany* **39**: 985-995.
- Van Breugel M., Hall J.S., Craven D.J., Gregoire T.G., Park A., Dent D.H., Wishnie M.H., Mariscal E., Deago J., Ibarra D., Cedeño N. 2011. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management* **261**: 1580-1589.
- Van Klinken RD, Goulier JB. 2013. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* **23**: 181-188.
- Vanegas-López M. 2016. *Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias*. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Ciudad de México: CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD.
- Vargas-Simón G, Molina-Martínez R, Moguel-Ordoñez E. 2003. Caracterización del fruto, semilla y estudios de germinación del guapaque (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith.). *Universidad y Ciencia* **38**: 77-83.
- Vázquez-Yanes C, Batis BIM, Alcocer MI., Sánchez-Dirzo C. 1999. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Reporte Técnico del Proyecto J084. Ciudad de México. CONABIO. Instituto de Ecología. UNAM.
- Viani RAG, Rodrigues RR. 2007. Sobrevivência em viveiro de mudas de espécies nativas retiradas da regeneração natural de remanescente florestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **42**:1067-1075.
- Virtual Herbarium The New York Botanical Garden. 2015. The C.V. Starr Virtual Herbarium The New York Botanical Garden. <http://sciweb.nybg.org/science2/vii2.asp>. Acceso 15 mayo 2015.
- Viveros H, Hernández JD, Velasco MV, Robles R, Ruiz C, Aparicio A, Martínez MJ, Hernández J, Hernández ML. 2015. Análisis de semilla, tratamientos

pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencia Forestal* **6**: 52-65

Wishnie MH, Dent DH, Mariscal E, Deago J, Cedeño N, Ibarra D, Condit R, Ashton PMS. 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* **243**: 39-49.

Zhang R, Wang Y, Liu G, Wang Y, Li J, Wang X, Yang C. 2012. Investigation of temporal variations in endogenous gibberellin A₃ and A₄ in the leaves of birch (*Betula platyphylla*). *Trees* **26**: 1113–1121.

CAPÍTULO 7 Conclusiones Generales



CAPÍTULO 7. Conclusiones Generales

1. En el trabajo sobre el estudio de germinación de *Ormosia macrocalyx* en semillas de frutos de diferente etapa de maduración, se demostró que semillas recién formadas tomadas de frutos cerrados y semi-abiertos, presentan alta germinación, en comparación con las de frutos abiertos, las cuales muestran menores tasas de germinación, pero el porcentaje final no es afectado.

2. Cuando las semillas de *O. macrocalyx* son almacenadas durante 17 meses bajo refrigeración, su viabilidad disminuye marcadamente, lo que se refleja en bajos valores en las tasas y porcentajes de germinación; además de un retraso en el inicio de la germinación y en el tiempo requerido para alcanzar el 50 % del porcentaje final de la germinación.

3. Los porcentajes más altos de germinación se alcanzan con semillas escarificadas o con la aplicación de ácido giberélico. Semillas colectadas de frutos no dispersados por períodos indefinidos de tiempo requieren tratamientos pregerminativos para asegurar la necesaria ruptura de la cubierta seminal para interrumpir la latencia física. Estos datos de manejo de las semillas pueden contribuir a la recuperación y conservación de *O. macrocalyx*, lo cual es de un valor particular considerando la escasez de estudios sobre la fisiología reproductiva y propagación de esta importante especie arbórea.

4. Las plántulas de *Bravaisia integerrima*, *Piscidia piscipula* y *Tabebuia donnell-smithii* desarrollándose en condiciones de umbráculo durante 6 meses presentaron diferencias morfológicas entre los cotiledones foliáceos y sus hojas juveniles (eófilos y metáfilos). Los cotiledones de *B. integerrima* son orbiculares, los de *P. piscipula* oblongos y en *T. donnell-smithii* oblongos con un ápice marcadamente hendido y en las tres especies, los eófilos y los metáfilos tienen una forma ovada; *Calophyllum brasiliense*, *Dialium guianense* y *Enterolobium cyclocarpum* se caracterizan por tener cotiledones de reserva. *Calophyllum brasiliense* posee hojas juveniles morfológicamente iguales a lo largo de su crecimiento y presenta germinación criptocotilar hipógea; las demás especies se destacaron con una germinación epígea fanerocotilar.

5. En las plantas de hojas compuestas, el número de folíolos por hoja juvenil fue menor (entre 3 a 5) al descrito para las hojas adultas, en *P. piscipula* y *T. donnell-smithii*, cuando son adultas contienen 7 folíolos/hoja; *E. cyclocarpum* tuvo 5-10 pares de folíolos a diferencia de 15-35 cuando es un árbol adulto. *D. guianense* cuenta con 7 folíolos/hoja, número característico como en su adultez.

6. Las especies que presentan mayor crecimiento en longitud del tallo fueron *E. cyclocarpum*, *C. brasiliense* y *B. integerrima*, y en diámetro basal *B. integerrima*, *P. piscipula* y *T. donnell-smithii*. Las especies *C. brasiliense*, *D. guianense* y *T. donnell-smithii* se caracterizaron por tener un número alto de hojas juveniles en comparación con las otras tres especies de este estudio (*B. integerrima*, *P. piscipula* y *E. cyclocarpum*).

7. Las tasas relativas de crecimiento de las seis especies bajo umbráculo fueron superiores en el primer período de crecimiento (0-2 meses de edad), y menores en el último (4-6 meses de edad), siendo *B. integerrima*, *C. brasiliense* y *P. piscipula* las de mayor crecimiento de longitud de tallo: 0.0052-0.0036 cm cm⁻¹ día⁻¹. *Bravaisia integerrima*, *P. piscipula* y *C. brasiliense* cuentan con la mayor tasa de crecimiento de diámetro basal: 0.0062-0.0055 cm cm⁻¹ día⁻¹, a los seis meses de edad. *Bravaisia integerrima* a los cinco meses de edad desarrolló raíces adventicias en 17% de las plantas evaluadas, característica que la identifica como una excelente alternativa para reforestar áreas inundables.

8. Las especies *Ceiba pentandra* y *Gliricidia sepium*, tuvieron altos índices de supervivencia y valores máximos de crecimiento de longitud de tallo, y área basimétrica en 23 meses de evaluación después del trasplante, en comparación con *Tabebuia rosea* y *Enterolobium cyclocarpum*, lo que se comprobó con el análisis de varianza de medidas repetidas, por lo que serán especies útiles para programas de reforestación en zonas arenosas.

9. Las tasas relativas de crecimiento para longitud de tallo y de diámetro basal de tallo disminuyeron a partir de los doce meses de estudio en todas las especies

debido a las altas temperaturas y escasa precipitación en el período. *Enterolobium cyclocarpum* y *T. rosea*, presentaron supervivencias en torno al 50% a los dos años, que técnicamente son valores bajos, pero con la alta densidad de plantación utilizada ocuparon el terreno completamente en ese tiempo. *Brosimum alicastrum*, no sobrevivió en los primeros seis meses, lo que demuestra que es una especie que requiere un ambiente sombreado y mayor humedad para utilizarla en programas de reforestación.

10. La distribución geográfica de *O. macrocalyx* se delimitó al sureste de la República Mexicana, y se encontró en cuatro estados: Veracruz, Tabasco, Chiapas y Oaxaca. Se localiza en zonas cálido-húmedas con altitudes ≤ 1150 msnm y en suelos inundables, principalmente. La especie se encuentra en algunas áreas protegidas y remanentes de selvas, también en algunos agroecosistemas y como árboles aislados. Es vulnerable debido a su deficiente estrategia de dispersión de semillas y ocupa un hábitat especializado.

11. Se delimitaron cinco áreas de ocupación y seis satélites que se encuentran dentro de las rutas del Corredor Biológico Mesoamericano, el área calculada ($16,133.62 \text{ km}^2$) es mayor que el umbral mínimo aconsejado ($2,000 \text{ km}^2$) para considerarla como especie vulnerable en la Lista Roja de la IUCN. Esta información podría ser útil para evitar el deterioro de sus ecosistemas y la extinción de la especie.

ANEXO

ANEXO
