



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CONZATTIA MULTIFLORA PARA LA RESTAURACIÓN DE LAS SELVAS BAJAS DE MORELOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

WOLKE TOBÓN NIEDFELDT

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS



FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

2005



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

m. 348450



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:
Evaluación del crecimiento y establecimiento de plántulas de
Conzattia multiflora para la restauración de las Selvas Bajas de Morelos.
realizado por Wolke Tobón Niedfeldt
con número de cuenta 40105213-8 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| Directora de Tesis Propietario | Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders | |
| Propietario | Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo | |
| Propietario | Dr. Victor Luis Barradas Miranda | |
| Suplente | M. en C. Pedro Eloy Mendoza Hernández | |
| Suplente | Dra. María Teresa Valverde Valdés | |

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
EN BIOLOGÍA

*So ist Natur ein Buch lebendig,
unverstanden, doch nicht unverständlich.*

Johann Wolfgang von Goethe

*Only when the last tree has died
the last river been poisoned
the last fish been caught
we will realize
we cannot eat money.*

Cree Indian saying

Agradecimientos

Los más sinceros agradecimientos a mi directora de tesis la *Dra. Consuelo Bonfil* por su extraordinario apoyo al realizar esta tesis.

Les agradezco también al *Dr. Jorge Meave*, al *Dr. Victor Barradas* y a la *Dra. Teresa Valverde* por sus valiosas sugerencias y comentarios.

Un muy merecido reconocimiento al Maestro en Ciencias *Pedro Mendoza* quien me apoyó desde el principio de este proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos a *Juan Ulloa* por su compañía y ayuda durante los viajes al campo.

Mil gracias también a todo el personal del Laboratorio Especializado de Ecología.

Le quiero agradecer el apoyo incondicional a mi mamá *Heide*: Mami, ich lieb' Dich.

Así como a mi papá *Héctor*, quien me ayudó a enriquecer esta tesis. Papá, te quiero.

Gracias a mis dos hermanas *Paloma* y *Geraldine Aztlani*.

A mi Familie en Alemania.

A Abraham.

A Karla.

A Geli.

A Salva.

A Danok.

A Checo.

A los *Miaus* (WTF).

Y a *todos* mis amigos en el mundo.

Estoy agradecida por la beca que me brindó la Universidad Nacional Autónoma de México a través del proyecto IN231802-3 de PAPIIT-DGAPA: Estructura y dinámica de la vegetación ribereña y de taludes de la alta cuenca del río Tembembe, Morelos: análisis y experimentación con fines de restauración y conservación.

Índice

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 1 |
| Capítulo I. Introducción | 3 |
| Capítulo II. Antecedentes | 8 |
| II. 1. La restauración ecológica | 8 |
| II. 2. Análisis de crecimiento | 13 |
| II. 3. Objetivos | 19 |
| II. 4. Hipótesis | 20 |
| Capítulo III. Métodos | 21 |
| III. 1. Zona de estudio | 21 |
| III. 2. Descripción de la especie | 22 |
| III. 3. Propagación y reintroducción experimental de plántulas | 25 |
| III. 3. 1. Ensayo de germinación de semillas | 25 |
| III. 3. 2. Producción de plántulas en invernadero | 26 |
| III. 3. 3. Establecimiento en campo | 27 |
| III. 4. Análisis de crecimiento de plántulas en invernadero | 28 |
| Capítulo IV. Resultados | 32 |
| IV. 1. Germinación de semillas | 32 |
| IV. 1. 1. Germinación en el laboratorio | 32 |
| IV. 1. 2. Germinación en el campo | 33 |
| IV. 2. Establecimiento inicial de plántulas | 34 |
| IV. 3. Supervivencia y crecimiento de plántulas en campo | 35 |
| IV. 4. Análisis de crecimiento en invernadero | 38 |
| Capítulo V. Discusión | 51 |
| V. 1. Germinación | 51 |
| V. 2. Establecimiento, supervivencia y crecimiento de plántulas en condiciones naturales | 53 |
| V. 3. Análisis de crecimiento en condiciones controladas | 56 |
| Capítulo VI. Conclusiones | 65 |
| Capítulo VII. Literatura citada | 67 |

Resumen

En México la Selva Baja Caducifolia (SBC) es de gran importancia por la superficie que ocupa, su alta diversidad florística y su elevado número de endemismos. Este tipo de vegetación originalmente ocupaba el 14% del área total del territorio nacional, pero se ha reducido considerablemente y en la actualidad se considera uno de los tipos de vegetación más afectados y explotados por el hombre. En el estado de Morelos se estima que cerca del 60% del territorio estaba cubierto por SBC, pero en 1989 sólo el 22% permanecía como bosque conservado. La desaparición de la SBC y el deterioro de los sitios que aún mantienen cobertura vegetal hacen necesario emprender acciones de restauración ecológica.

El presente estudio forma parte de un proyecto de restauración ecológica de los terrenos que ocupan los taludes de la cuenca alta y media del río Tembembe, en Morelos. El objetivo general fue analizar el crecimiento de *Conzattia multiflora*, una leguminosa arbórea de amplia distribución en las selvas bajas de esta región, en condiciones controladas y evaluar el establecimiento, la supervivencia y el crecimiento inicial de plántulas en terrenos degradados del noroeste de Morelos, con el fin de determinar su potencial para la restauración ecológica.

Se comparó el establecimiento inicial a partir de semillas y de plántulas producidas en invernadero en dos sitios: un acahual y un pastizal, y en dos condiciones: bajo nodrizas y en sitios abiertos. En cada sitio se sembraron 14 grupos de 12 semillas cada uno, protegidos por una malla metálica, 7 grupos expuestos y 7 bajo nodriza. Además, se trasplantaron 70 plántulas de seis semanas de edad (35 expuestas y 35 bajo nodrizas), en cada parcela en

agosto de 2003. La germinación de semillas en campo fue muy baja (aproximadamente 7%), pero el establecimiento de plántulas fue alto (> 90%). Al final de la temporada de crecimiento (diciembre 2003) la supervivencia fue de 70 - 90%. Se registraron diferencias significativas debidas al sitio, pero no a las nodrizas, en el diámetro y la altura de las plántulas. Durante la siguiente temporada seca (enero - abril 2004) la mortalidad fue muy alta (> 80%) debido principalmente a la depredación por roedores. En futuros ensayos se recomienda usar plántulas mayores y establecer métodos de control de roedores durante la temporada seca.

Por otra parte, se analizó el crecimiento de plántulas en invernadero en respuesta a seis tratamientos que resultaron de la combinación de dos condiciones de radiación solar (100% y 50%) y tres condiciones de riego (muy frecuente, frecuente y esporádico) durante cuatro meses. En general, las diversas variables de crecimiento resultaron afectadas tanto por cambios en la disponibilidad de la radiación como por la frecuencia de riego. La tasa de crecimiento, la biomasa y el diámetro fueron significativamente mayores en radiación alta en comparación los obtenidos en radiación al 50%. En contraste, la altura, el área foliar, el área foliar específica y la relación de peso foliar fueron mayores bajo sombra parcial y en condiciones de riego frecuente. Las diferencias entre los tratamientos de riego muy frecuente y frecuente no fueron significativas en la mitad de las variables, lo cual indica que las plántulas toleran bien el exceso de agua. Las variables relacionadas con las hojas y el coeficiente de esbeltez (altura/diámetro) fueron las más afectadas negativamente por el exceso de riego. El menor crecimiento se registró siempre en condiciones de estrés hídrico, que resultó en una mayor reducción en el crecimiento que la sombra parcial.

Capítulo I. Introducción

Los bosques tropicales estacionalmente secos (*sensu* Gentry 1982) constituyen un tipo de vegetación de gran importancia, ya que representan el 42% de los bosques tropicales del mundo (Holdridge 1967, Lugo y Lowe 1995). Esta vegetación presenta una amplia distribución en latitudes tropicales y subtropicales de África, Asia y América, y se establece comúnmente por debajo de los 2000 m de altitud. En Mesoamérica y el Caribe, 49% del territorio corresponde a bosques tropicales secos (BTS), lo cual equivale a 8.2×10^5 km² (Brown y Lugo 1980). Aunque son bosques menos diversos en términos biológicos que los bosques tropicales húmedos, resaltan por su elevado número de endemismos. Además, presentan mayor diversidad de formas de vida de plantas, debido posiblemente a la gran heterogeneidad de las zonas donde se localizan (Medina 1995). Éstas varían espacio - temporalmente en aspectos del medio físico, en la historia biogeográfica y en el tipo e intensidad de disturbios naturales y antropogénicos que en ellas se presenta (Murphy y Lugo 1986).

En América Central los bosques estacionalmente secos han sido explotados con una intensidad mayor que la de los bosques tropicales húmedos. El uso agrícola, el pastoreo y la extracción de una gran variedad de especies vegetales y animales, tanto para uso local como para el comercio, han reducido drásticamente su área (Saravia-Toledo y del Castillo 1988, Bye 1995, Sampaio 1995). Actualmente es raro encontrar BTS que no hayan estado expuestos a disturbios masivos y constantes, debido a que la mayoría de ellos han sido alterados en distinto grado. Además, sólo 0.1% de los bosques tropicales secos conservados

de Mesoamérica están bajo algún tipo de protección (Maass 1995), a pesar de que se encuentran entre los ecosistemas más amenazados de la zona (Janzen 1988, Trejo y Dirzo 2000). Algunos investigadores incluso los consideran el tipo de vegetación más afectado del planeta (Toledo 1988, Ceballos 1995). Esto pone de manifiesto la importancia de realizar proyectos de investigación que brinden elementos para su protección, conservación y restauración.

En México, la selva baja caducifolia (SBC) es el bosque tropical seco de mayor importancia por la superficie que ocupa (2/3 del área total de vegetación tropical), su elevado número de endemismos y su alta diversidad florística. Aproximadamente 60% de las especies que habitan en las SBC son exclusivas de México (Rzedowski 1991). Respecto a los animales, 20% de las especies de vertebrados, que se distribuyen en México se localiza únicamente en estos bosques (Ceballos y Miranda 1986). Además, presentan numerosas especies vegetales con importancia etnobotánica (Bye 1995). De acuerdo con Rzedowski (1978, 1990), la SBC representaba originalmente 14% del área total del territorio nacional. Sin embargo, esta cifra se redujo hasta llegar a 8% en los años setenta, equivalente a 160 000 km² (Trejo 1999). Actualmente, sólo una tercera parte de dicha área permanece intacta; la mayor parte ha sido convertida en pastizales o tierras para uso agrícola (Toledo 1988, Flores y Gerez 1994, Trejo y Dirzo 2000).

La SBC se distingue fácilmente por sus elementos fisonómicos, fenológicos y florísticos y por sus requerimientos ecológicos. Es un tipo de vegetación propio de regiones de clima cálido, con temperaturas promedio anuales entre 20 y 29°C (más comúnmente entre 22 y 26°C), con una mínima extrema que no es menor a 0°C y una precipitación anual

entre 400 y 1300 mm, repartida de manera desigual a lo largo del año, con una estación seca de 5 a 8 meses de duración. La mayoría de las SBC (37.5%) se distribuye en climas cálido-subhúmedos, que corresponden al tipo A_w según Koeppen (1948). En cuanto a las características del medio físico, habitualmente se ubican en relieves montañosos, sobre laderas con una pendiente variada, entre 0 y 1900 m de altitud, en suelos someros y pedregosos, los cuales tienen un alto contenido de arena y/o arcilla (Trejo 1996, 1999). Los géneros dominantes y mejor representados en las SBC de México son *Bursera*, *Acacia*, *Croton*, *Mimosa*, *Euphorbia* e *Ipomoea*, entre otros (Trejo 1989), los cuales forman un estrato arbóreo cuyo dosel no alcanza más de 15 m; el diámetro a la altura de pecho (DAP) de los árboles normalmente es menor de 50 cm. Las copas suelen ser convexas o planas, el ancho de la copa es igual o mayor a la altura del árbol y los troncos son retorcidos, ramificados casi desde la base. Lo más llamativo y característico de este tipo de vegetación es la pérdida de las hojas de la mayor parte de los árboles durante la época de secas (Rzedowski 1978).

En el estado de Morelos, originalmente 60% de su superficie estaba cubierta por selvas bajas, mientras que para 1989 solamente 22% de dicha superficie permanecía como bosque conservado (Trejo y Dirzo 2000). El resto ha sido muy alterado o se ha convertido en campos agrícolas, ganaderos o en asentamientos humanos; en el peor de los casos son tierras que carecen casi por completo de cualquier tipo de vegetación. Las huellas de la deforestación, las quemas del monte, el sobrepastoreo y sus consecuencias en la vegetación están a la vista en casi todo el estado. Entre 1973 y 1989 se registró en Morelos una tasa de deforestación anual de aproximadamente 1.4%. De continuar esta tendencia durante los

siguientes 80 años, solamente quedará 10% de la cobertura vegetal original de SBC en ese estado (Trejo y Dirzo 2000).

En las selvas bajas, al igual que en otras comunidades vegetales, las crecientes y extensas presiones de las actividades humanas han producido alteraciones en el ciclo de agua, pérdidas de nutrientes en el suelo, compactación del mismo y, finalmente, cambios irreversibles en la composición de especies vegetales y animales, así como en el funcionamiento y la estructura del sistema completo (Buschbacher *et al.* 1988, Uhl *et al.* 1988, García-Oliva *et al.* 1994, Maass 1995, Money *et al.* 1995, Johnson y Wedin 1997). La pérdida de cobertura vegetal, además de tener graves consecuencias para la biodiversidad, afecta el funcionamiento de los ecosistemas y consecuentemente la provisión de servicios ambientales, necesarios para las sociedades humanas e incluso para el mantenimiento de la vida (Daily *et al.* 1997, Chapin *et al.* 2000). La desaparición de los bosques y el alto nivel de deterioro de los sitios que aún mantienen cobertura vegetal hacen necesario emprender acciones de restauración ecológica para revertir el deterioro y restablecer la composición, la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas (Bradshaw 1984, Vázquez-Yanes *et al.* 1999).

Las especies arbóreas de la familia Leguminosae resultan especialmente útiles para la restauración ecológica de sitios perturbados de los bosques tropicales secos, debido a que muchas de ellas son nativas de este tipo de vegetación y presentan una alta diversidad, así como elevadas tasas de crecimiento (Bradshaw 1983, 1984, Ashton *et al.* 1997). Por otra parte, muchas especies de esta familia tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico gracias a su asociación con bacterias del género *Rhizobium* (Vázquez-Yanes *et al.* 1999).

Por esta razón, pueden prosperar en suelos pobres y producir grandes cantidades de hojarasca, la cual se descompone rápidamente, formando suelo y liberando nutrientes para otras plantas (Ashton *et al.* 1997, Vázquez-Yanes *et al.* 1997).

Aunque en los viveros de México se propagan diversas especies de leguminosas para la reforestación y restauración de selvas bajas, la diversidad de especies arbóreas empleadas es aún muy limitada, así como el conocimiento del desempeño de las mismas en distintas condiciones ambientales. Por ejemplo, de las 70 monografías de especies de árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica publicadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO 1999), 25 corresponden a especies que forman parte de bosques tropicales secos y de éstas, nueve son leguminosas. Sin embargo, de acuerdo con Trejo (1989) en las SBC de México se distribuyen 59 especies tan solo en los géneros *Acacia*, *Mimosa*, *Caesalpinia* y *Pithecellobium*. Es por tanto importante ampliar el espectro de especies de leguminosas nativas usadas en la restauración de este tipo de vegetación. Con este fin, en el presente trabajo se estudió la germinación, el crecimiento en condiciones controladas y el establecimiento inicial de *Conzattia multiflora*, una leguminosa nativa y de amplia distribución en las SBC de Morelos y, en general, en la cuenca del Balsas (Guizar-Nolazco y Sánchez Vélez 1991).

Capítulo II. Antecedentes

II. 1. La restauración ecológica

Debido al explosivo crecimiento de la población humana en los últimos siglos, así como al enorme desarrollo de la industria, el estado de la naturaleza se ha deteriorado gravemente en todo el planeta. La desaparición y las modificaciones de hábitats naturales, así como la permanente degradación de extensas áreas naturales, son solamente algunos de los grandes cambios ocurridos en el siglo XX. Entre 1990 y 2000, la FAO estimó la tasa mundial de deforestación anual en 9.4 millones de hectáreas, de las cuales la mayor pérdida se presentó en los países tropicales (Lamb y Gilmore 2003).

En respuesta a la extensión y gravedad de los problemas asociados a la degradación de los bosques, la restauración surge como una rama de la ecología aplicada que busca revertir la pérdida de la biodiversidad y reestablecer el funcionamiento de los ecosistemas, y con ello los servicios ambientales que proporcionan (Daily *et al.* 1997, Gregory e Ingram 2000). Recientemente, un grupo de investigadores de la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER 2002) definió a ésta en un sentido amplio como “el proceso de apoyar la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”.

Se han diferenciado tres formas de intervención para la recuperación de un ecosistema, que difieren en las metas que persiguen en cada caso, así como en los métodos empleados. El primero considera que la restauración ecológica (en sentido estricto) implica el regreso a las condiciones originales del ecosistema previas al disturbio, incluyendo la

diversidad biológica original, la estructura, el funcionamiento, etc. Esta visión ha sido calificada como fundamentalista por algunos autores (Vázquez-Yanes *et al.* 1999). El segundo tipo de intervención es la llamada rehabilitación, que tiene el objetivo de reestablecer la utilidad ecológica y las principales funciones ambientales (como la productividad y los ciclos de nutrientes) para mantener la estabilidad del sistema. Por último, la reclamación trata de recrear parte de la composición y el funcionamiento del sistema para desarrollar un paisaje más natural y funcional que reemplace a otro que no lo es (Bradshaw 1984, 1987).

La intervención del hombre en la regeneración de un ecosistema es necesaria si los tamaños poblacionales de plantas y animales son muy reducidos, si se presentan cambios severos en los componentes del ambiente biofísico (por ejemplo, la fertilidad del suelo) y/o si los disturbios no permiten que proceda la sucesión (Lamb y Gilmore 2003). Resulta fundamental considerar detalladamente diversos aspectos involucrados en un proyecto de restauración, en especial los socio-culturales, políticos, económicos y científicos (Jackson *et al.* 1995).

El nivel de degradación, es decir, la duración y la intensidad de la perturbación, así como las condiciones actuales, determinan los diversos métodos a seguir en la restauración. Las estrategias para sitios con niveles de degradación bajos requieren técnicas de intervención mínima e implican, por ejemplo, el manejo de incendios, la exclusión de ganado, la diversificación de especies y el incremento de la heterogeneidad espacial, entre otras medidas. En sitios donde las condiciones de deterioro son más graves, las metas consisten en reestablecer un sistema autosuficiente y se recomienda fijar metas de

restauración razonables, como reestablecer la cobertura vegetal y maximizar el número de especies nativas. En los ecosistemas tropicales, las estrategias más comunes para restaurar sitios perturbados son: a) el uso y enriquecimiento de bancos de semillas, b) la regeneración a partir de estructuras vegetativas (como tocones) y, c) la introducción directa de plántulas de especies nativas (Vázquez-Yanes *et al.* 1999).

Según ciertos autores, el banco de semillas es un elemento importante en la regeneración natural de ecosistemas tropicales (Skoglund 1992, Vázquez-Yanes 1997, Bakker *et al.* 1996, Khurana y Singh 2001, 2004). En suelos cuyas condiciones no aseguren el éxito en el establecimiento a partir de semillas, se debe proceder a restaurar la cubierta vegetal por medio de plantaciones. Para la producción del material vegetal puede realizarse la propagación a partir de semillas o de estacas; esta última puede ser valiosa cuando no es posible el uso de semillas o en el caso de que se desee seleccionar características específicas de las plantas, es decir, se usa generalmente como un método complementario.

Las especies vegetales útiles para la restauración y la reforestación deben seleccionarse considerando las características del sitio. Es preferible usar especies nativas de la zona, de fácil propagación, resistentes a condiciones limitantes (tales como baja fertilidad, sequía, suelos compactos, pH alto o bajo, salinidad etc.), y que tengan un rápido crecimiento, así como una acelerada producción de materia orgánica y hojarasca. Además, es importante que no presenten tendencias hacia una propagación invasora e incontrolable (Vázquez-Yanes *et al.* 1999). La presencia de nódulos fijadores de nitrógeno, común en especies de la familia Leguminosae, es de gran ventaja para compensar el bajo nivel de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes en el suelo. Otra característica importante de las

especies a utilizar es que proporcionen alimento y/o hábitat a la flora y fauna nativas para facilitar su establecimiento. Por último, las especies utilizadas deberían beneficiar a las comunidades humanas cercanas al presentar alguna utilidad adicional, por ejemplo, la producción de leña o madera, néctar, carbón, forraje nutritivo o vainas comestibles (Rincón y Huante 1993, Vázquez-Yanes *et al.* 1999).

En México se han realizado diversas investigaciones que han aportado conocimientos indispensables para restaurar, manejar y conservar comunidades perturbadas. Los estudios realizados en las selvas bajas, aunque aún son limitados, abarcan aspectos de estructura y composición, fenología y ecofisiología de especies vegetales, y evalúan los impactos del cambio de uso del suelo en la materia orgánica y la dinámica de los nutrientes minerales del mismo, entre muchos otros (Ceballos y Miranda 1986, Bullock y Solís-Magallanes 1990, Martínez-Yrizar y Sarukhán 1990, Lott 1993, Solís 1993, García-Oliva *et al.* 1994, Jaramillo y Sanford 1995, Cuevas 1995, González Días 2002, Camacho Rico 2004, Piña Covarrubias 2005).

A partir de tales estudios se sabe, por ejemplo, que la disponibilidad de nutrientes en el suelo está estrechamente relacionada con la disponibilidad de agua en las épocas de lluvia y sequía (Jaramillo y Sanford 1995). Martínez-Yrizar y Sarukhán (1990), quienes trabajaron en la SBC de Chamela, Jalisco, encontraron que las tasas de pérdida de materia orgánica durante la transformación de la selva a pastizal en Chamela, Jalisco, fueron mayores a las reportadas para cualquier otro ecosistema tropical. Otros aspectos ecológicos, relevantes para la restauración y que han sido estudiados para las selvas bajas, son el papel de los bancos de semillas, la ecofisiología de las semillas y sus características de

germinación (Garwood 1989, Rico-Gray y García 1992, Skoglund 1992, Marín Chávez 1997).

Entre las semillas de leguminosas de las SBC, en general, la germinación es relativamente rápida, ya que ocurre entre dos y diez días, según la especie (Camargo-Ricalde y Grether 1998). Los porcentajes de germinación reportados varían entre 10% y 100% (Camargo-Ricalde y Grether 1998, Cervantes *et al.* 2001, Ortega Baes *et al.* 2001, Cervantes Sánchez y Sotelo Boyás 2002). Existen diversos factores que pueden causar bajos porcentajes de germinación en semillas viables. Uno de los principales es la latencia, que en condiciones naturales evita la germinación durante épocas desfavorables para el crecimiento de las plántulas o durante condiciones favorables de corta duración, favoreciendo así la supervivencia de las plántulas (Skerman *et al.* 1991, Ronaldo y Ferguson 1992). La latencia se ha definido como una fase de letargo o inactividad metabólica y, de acuerdo con Baskin y Baskin (1998) puede ser de dos tipos: endógena o exógena. En la latencia endógena algunas características fisiológicas, morfológicas o morfofisiológicas del embrión previenen la germinación, mientras que en la exógena diversos tipos de estructuras que cubren al embrión, incluyendo el endospermo, la testa o las paredes del fruto, previenen la germinación. Esta última se divide en tres tipos: (a) latencia física, en la que la semilla es incapaz de germinar debido a la impermeabilidad de la testa de la semilla (o el fruto) al agua, (b) química, que se da por la presencia de inhibidores en el pericarpio, por ejemplo ácido abscísico y (c) mecánica, la cual está regulada por la presencia de un endocarpo o en ocasiones un mesocarpo duro o leñoso.

Entre las leguminosas es común la latencia física de testa, que resulta de la naturaleza impermeable que cubre a la semilla. Varias técnicas de escarificación han demostrado su efectividad para disminuir la dureza de la testa de estas semillas y, de esta forma, aumentar los porcentajes de germinación (Cervantes *et al.* 2001, Khurana y Singh 2004, D'Aubeterre *et al.* 2002). Las técnicas de escarificación química, física y térmica son de especial valor para acelerar la germinación; sin embargo, diversas especies de leguminosas responden en forma diferente a dichas técnicas. La respuesta puede variar, además, en función de su origen, época de cosecha y tiempo de almacenamiento, por lo que es importante hacer un análisis caso por caso (Cervantes *et al.* 1998, Smith *et al.* 2002).

II. 2. Análisis de crecimiento

El crecimiento de las plantas se expresa como un incremento en el volumen, tamaño o número de partes, lo cual implica la producción y acumulación de biomasa (Hunt 1978). El análisis de crecimiento es una técnica que permite obtener información y cuantificar el incremento en biomasa y la asignación de ésta a diferentes órganos, bajo diversas condiciones naturales o artificiales. A partir de la cosecha de las plantas enteras o de algunas de sus partes es posible obtener variables estandarizadas que se pueden comparar entre individuos, especies y/o tratamientos. Se reconocen tres diferentes enfoques para la cuantificación del crecimiento en plantas:

1. Análisis clásico. Desarrollado por Evans (1972) y Hunt (1978), estima la acumulación de biomasa vegetal por medio de una cosecha destructiva inicial y otra final, lo que permite calcular y graficar el incremento en biomasa entre esos dos puntos en el tiempo, asumiendo que fue constante a lo largo de dicho

intervalo. Aunque es sencillo de realizar, presenta la desventaja de que no es posible valorar detalladamente el comportamiento del crecimiento de las plantas en fases intermedias entre las dos cosechas.

2. Análisis funcional. Se diferencia del primero básicamente por el uso de cosechas destructivas más frecuentes. Los datos obtenidos permiten analizar con mayor detalle la curva de incremento de biomasa a través del tiempo, representando así de manera más real el proceso de crecimiento de las plantas. Los principales exponentes de este análisis han sido Evans (1972) y Hunt (1978).
3. Análisis demográfico, también llamado modular. Originalmente fue propuesto por Bazzaz y Harper (1977). En él se usan variables demográficas para describir el crecimiento de una planta, concebida ésta como una población de módulos, por ejemplo l_x (probabilidad de supervivencia de los módulos en un intervalo de tiempo) y d_x (número de módulos muertos en un intervalo de tiempo). En este análisis no se emplean cosechas destructivas.

Tanto el análisis clásico como el funcional parten de la medición de variables como la biomasa seca de raíz y partes aéreas para calcular: tasas de crecimiento, cociente raíz-vástago, tasa de asimilación neta, área foliar específica y relación de peso foliar, entre otros. En la tabla 1 se presentan las principales variables usadas en los análisis de crecimiento clásico y funcional.

Tabla 1. Descripción de las variables comúnmente utilizadas en los análisis de crecimiento clásico y funcional (w: biomasa, t: tiempo).

| <i>Variabes</i> | | | | |
|-----------------------------|--|------------------------------------|--|---------------------|
| <i>Inglés</i> | | <i>Español</i> | <i>Fórmula</i> | <i>Unidades</i> |
| Relative growth rate (RGR) | | Tasa de crecimiento relativo (TCR) | $(\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$ | $g\ g^{-1}\ d^{-1}$ |
| Absolute growth rate (AGR) | | Tasa de crecimiento absoluto (TCA) | $(w_2 - w_1) / (t_2 - t_1)$ | $g\ g^{-1}\ d^{-1}$ |
| Specific leaf area (SLA) | | Área foliar específica (AFE) | área foliar / biomasa foliar | $cm^2\ g^{-1}$ |
| Leaf area ratio (LAR) | | Relación de área foliar (RAF) | área foliar / biomasa total | $cm^2\ g^{-1}$ |
| Leaf weight ratio (LWR) | | Relación de peso foliar (RPF) | biomasa foliar / biomasa total | $g\ g^{-1}$ |
| Net assimilation rate (NAR) | | Tasa de asimilación neta (TAN) | área foliar / TCR | $g\ cm^{-2}\ día$ |
| Root-shoot ratio (R/S) | | Cociente raíz-vástago (R/V) | biomasa de raíz / (biomasa de tallo + hojas) | sin unidades |
| Coefficient H/D | | Coefficiente de esbeltez (CE) | altura / diámetro del tallo | sin unidades |

A continuación se presenta una breve revisión de algunos patrones generales de respuesta de las plantas a cambios en las principales variables del medio físico que afectan el crecimiento y la asignación de biomasa.

El estudio de las respuestas de crecimiento a cambios en los niveles de radiación lumínica ha mostrado que muchas plantas asignan una mayor biomasa a las hojas y tienden a incrementar su superficie ante una baja incidencia de luz en relación a la que logran

cuando crecen bajo condiciones de alta radiación. Esto lleva a una mayor captación de luz. Por esa razón, el área foliar específica (AFE) y la relación de área foliar (RAF) aumentan, al igual que la relación de peso foliar (RPF) (Augsburger 1984, Walters *et al.* 1993, Cervantes *et al.* 1998, Lambers *et al.* 1998, Bloor 2003, Fownes y Harrington 2004). Por otro lado, se presenta una mayor asignación de biomasa a raíces y tallos cuando las plantas crecen en condiciones de alta radiación (Rincón y Huante 1993, Cervantes *et al.* 1998).

El potencial hídrico del suelo, que refleja la disponibilidad de agua, es de gran importancia; ya que afecta el crecimiento, el desarrollo y la asignación de biomasa a los distintos órganos de la planta. Cuando la disponibilidad de agua en el suelo es reducida (i. e. el potencial hídrico es más negativo), la tasa de crecimiento relativo (TCR), la relación de área foliar (RAF) y la relación de peso foliar (RPF) se ven afectadas negativamente, mientras que el cociente raíz-vástago (R/V) aumenta, debido a una mayor asignación de biomasa a las raíces en comparación con condiciones de mayor disponibilidad de agua. Estos cambios permiten a la planta explorar un mayor volumen y extraer agua del suelo. A la vez se reduce la pérdida de agua a través de los estomas al tener una menor superficie foliar (Percy *et al.* 1989, Rincón y Huante 1993).

Por otro lado, cuando los nutrientes son un factor limitante, por ejemplo si hay una baja disponibilidad de nitrógeno o de fósforo, diversas variables de crecimiento (TCR, RAF, AFE y RBF) también se ven reducidas, ya que no hay suficientes nutrientes para el funcionamiento óptimo de todo el aparato fotosintético (Rincón y Huante 1994, 1995, Huante *et al.* 1995, Milberg *et al.* 1998).

Es importante aclarar que las especies presentan diferencias, determinadas genéticamente, en su capacidad de producción de biomasa y su capacidad de respuesta a cambios en las condiciones naturales. Grime y Campbell (1991) establecieron tres principios generales: a) las plantas crecen más rápidamente en ambientes controlados productivos que en su hábitat natural; b) diferentes especies y poblaciones difieren en las condiciones necesarias para alcanzar un crecimiento óptimo; y c) aun bajo condiciones óptimas, algunas especies no tienen el potencial para crecer rápidamente.

En el caso de especies arbóreas y arbustivas de las SBC de México, se han realizados diversos análisis de crecimiento, entre los cuales destacan los trabajos de Cervantes *et al.* (1996, 2001, 2002), Rincón y Huante (1993, 1994, 1995, 1998), Martínez Ovando (2002) y Ceccon *et al.* (2003). Rincón y Huante (1993, 1998) analizaron la respuesta de crecimiento de especies la SBC ante diferentes condiciones de radiación. En general, se presentó una marcada diferencia entre los tratamientos de radiación alta (70%) y baja (20%) en la asignación de biomasa, las tasas de crecimiento y la asimilación neta. No obstante, dos de las especies de leguminosas utilizadas en el primer experimento (*Caesalpinia eriostachys* y *C. platybola*) presentaron pocas diferencias en variables como RGR y SLA entre los tratamientos lumínicos. En condiciones de radiación baja todas las especies incrementaron su área foliar, lo que causó incrementos en variables como LAR y SLA, aunque una leguminosa (*Caesalpinia platybola*) no mostró diferencias significativas en esta variable ni en el cociente raíz-vástago en respuesta a cambios de la radicación. En otras leguminosas (*Apoplanesi paniculada* y *C. eriostachys*) aumentó significativamente la biomasa de raíces bajo condiciones de radiación lumínica alta.

Por otra parte, Cervantes *et al.* (1996, 1998) analizaron el crecimiento de especies de leguminosas nativas del sur de México. Aunque la tasa relativa de crecimiento inicial (14 días después del transplante) entre especies no mostró diferencias significativas (aproximadamente $0.08 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), al final del experimento (165 días después del transplante) esta variable presentó una gran variación (de -0.006 a $0.060 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$). De la misma manera, la producción de biomasa, el cociente raíz-vástago y la longitud del tallo manifestaron diferencias significativas entre especies.

En condiciones de alta luminosidad, especies de crecimiento rápido como *Heliocarpus pallidus* e *Ipomea wolcottiana* alcanzan valores de TCR promedio de $0.12 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que especies de lento crecimiento como *Celaenodendron mexicanum* y *Trichifolia trifolia* alcanzan una TCR promedio de $0.015 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En condiciones de radiación baja las mismas especies de rápido crecimiento presentan valores promedios de alrededor de $0.09 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y las de crecimiento lento de $0.011 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Rincón y Huante 1993 y 1998, Cervantes 1996 y 1998). En comparación, las especies de leguminosas tienden a presentar tasas de crecimiento altas o medias en relación con otras especies. Un objetivo de este trabajo, como se mencionó anteriormente, es analizar el crecimiento de plántulas de *C. multiflora* en dos condiciones de radiación lumínica y tres de riego y determinar en qué parte de dicho intervalo de crecimiento se puede ubicar.

II. 3. Objetivos

En este trabajo se analizó el crecimiento en condiciones controladas de *Conzattia multiflora* y se evaluó el establecimiento, la supervivencia y el crecimiento inicial de plántulas en terrenos degradados de la SBC del noroeste de Morelos, con el fin de determinar su potencial para la restauración ecológica.

Objetivos particulares:

- Realizar un análisis preliminar de la germinación de semillas de *C. multiflora* en respuesta a seis diferentes tratamientos pre-germinativos.
- Analizar el efecto de dos condiciones de radiación solar (exposición total y sombra parcial) y tres condiciones de riego (muy frecuente, frecuente y esporádico) en el crecimiento de plántulas en condiciones controladas.
- Comparar el establecimiento a partir de semillas y de plántulas en dos sitios: pastizal y acahual.
- Evaluar el papel de las plantas nodriza en la supervivencia y el crecimiento inicial de las plántulas.

II. 4. Hipótesis

Se plantearon cinco hipótesis:

1. Al igual que en otras especies de leguminosas, la germinación de semillas se verá estimulada por tratamientos pre-germinativos de escarificación mecánica y térmica.
2. La tasa de crecimiento de plántulas en condiciones controladas será mayor con intensidades altas de luz y adecuada disponibilidad de agua (riego frecuente), en comparación con la sombra parcial y el riego esporádico o muy frecuente.
3. El establecimiento en campo a partir de plántulas será mayor que a partir de semillas, debido a que en ésta última se evitan procesos como latencia, pudrición de semillas, etc.
4. El establecimiento será más alto en un acahual que en un pastizal abandonado, ya que en este último el suelo está más compactado, es más arcilloso y hay mayor competencia con pastos.
5. La presencia de una planta nodriza favorecerá la supervivencia de las plántulas de *C. multiflora*, sobretodo durante la temporada seca, debido a que la sombra que brindan reduce la evapotranspiración.

Capítulo III. Métodos

III. 1. Zona de estudio

El sitio de estudio está ubicado en la zona noroeste del estado de Morelos, en los municipios de Temixco y Miacatlán. El experimento de reintroducción de plántulas se desarrolló en dos sitios: la zona arqueológica de Xochicalco y los potreros al norte del poblado de Cuentepec, donde se localiza la estación de restauración ambiental “Barranca del Río Tembembe” (Figura 1).



Figura 1. Zona de estudio

La región en que se localiza el poblado de Cuentepec presenta una temperatura media anual de 21.6°C y una precipitación anual de 961 mm. En la localidad dominan suelos poco profundos de tipo feozem háplico y secundariamente, vertisoles pélicos. En la

estación de restauración “Barranca del Río Tembembe” (Cuentepec) es, además, frecuente que durante la temporada de lluvias se presente anegamiento del suelo en algunos sitios. El alto contenido de arcillas de los suelos impide que el agua se filtre. Por otra parte, la zona arqueológica de Xochicalco es ligeramente más cálida que la zona de Cuentepec, con una temperatura media anual de 22.9°C, una precipitación anual de 1,055 mm y un suelo derivado de rocas calizas (Rendzina).

En ambas regiones se presenta como principal tipo de vegetación la selva baja caducifolia, en la que dominan los géneros *Bursera*, *Acacia*, *Ceiba*, *Lysiloma*, *Heliocarpus* e *Ipomoea* (CETENAL 1976, Piña Covarrubias 2005). En Cuentepec también se presentan parches de bosque de encinos (*Quercus glaucoides*), así como pastizales inducidos y parcelas agrícolas de maíz y sorgo.

III. 2. Descripción de la especie

Conzattia multiflora B. L. Rob. (Caesalpinieae) es un árbol que alcanza 10 a 20 m de altura y 30 a 50 cm de diámetro. Se caracteriza por tener hojas compuestas de 20 a 50 cm de largo, las cuales presentan 10 a 15 pares de folíolos alargados, que a su vez exhiben 20 a 50 foliólulos redondeados, de 5 a 10 mm de longitud. El árbol se identifica por sus numerosas flores amarillas pequeñas; florece entre abril y junio y fructifica entre julio y agosto. La inflorescencia mide entre 10 y 20 cm de longitud, cada flor presenta un pedicelo de 5 a 10 mm con sépalos glabros y pétalos en forma elíptica de 7 a 10 mm de longitud. El fruto es una vaina de color rojizo a café (5 - 10 cm de largo × 1 - 1.5 cm de ancho) con aproximadamente tres semillas de color café a gris de 1 a 1.2 cm de largo (Figura 2). La especie tiene una distribución que abarca toda Centroamérica; en México se localiza

preponderantemente en la Cuenca del Balsas y en la vertiente del Pacífico (Figura 3) (Mc Vaugh y Anderson 1987, Guizar Nolzco y Sánchez Vélez 1991, Téllez comunicación personal).

En un estudio de la distribución, la abundancia y las características de 10 especies de la SBC de Morelos, *Conzattia multiflora* (cuyo nombre común en la región es guayacán) destacó como una de las más abundantes del estado (Tapia Uribe 1991). De acuerdo con el mismo autor, *C. multiflora* es una especie con un gran potencial maderable, es decir que presenta características dasonómicas que le dan a su madera una alta calidad para ser utilizada industrialmente.

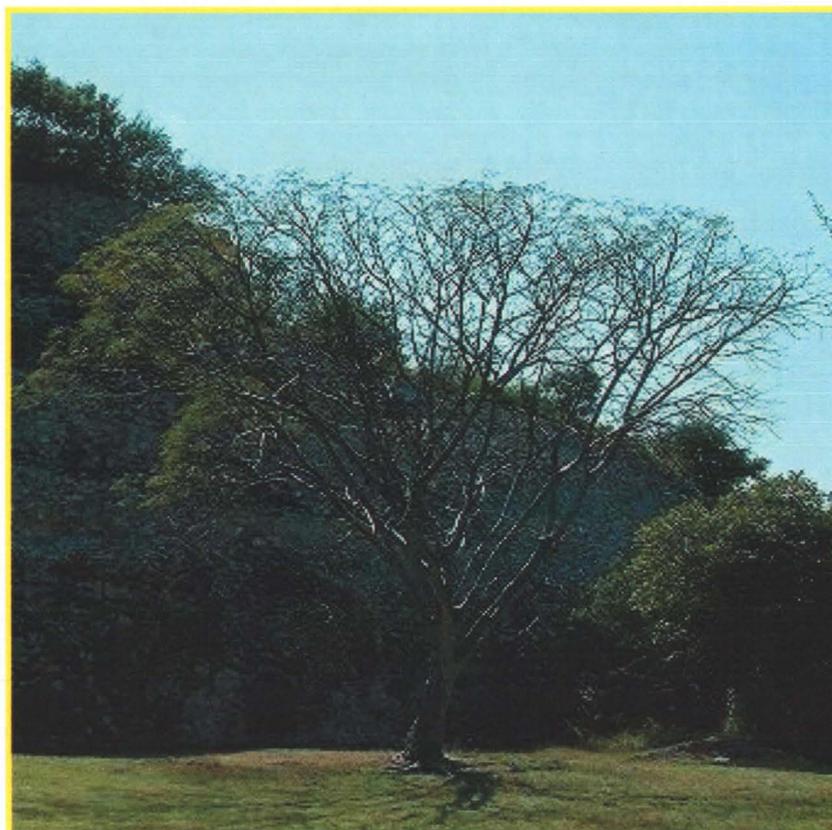


Figura 2. Árbol de *Conzattia multiflora*.

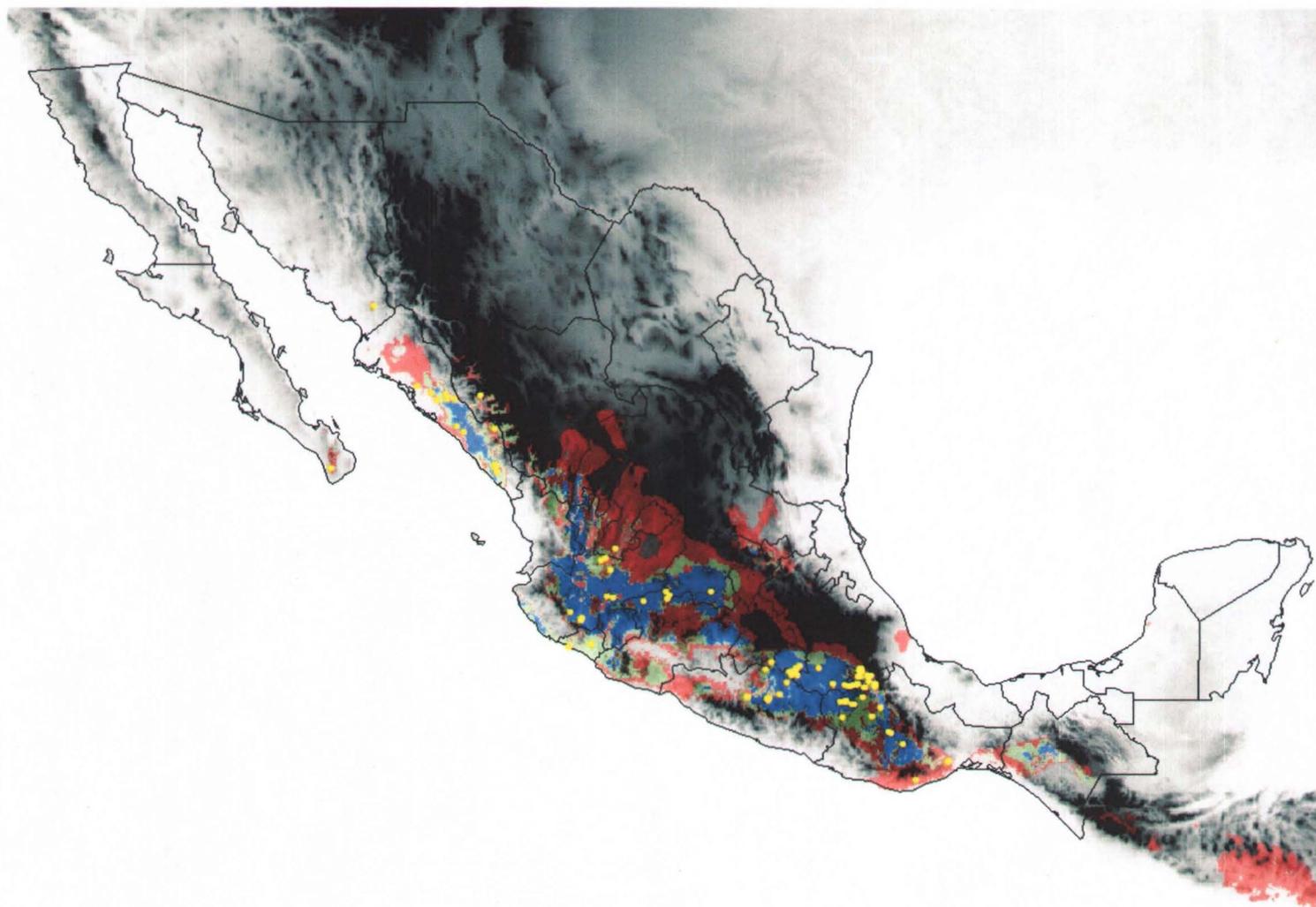


Figura 3. Mapa de distribución de *Conzattia multiflora* en México. (Los puntos amarillos indican puntos de colecta de ejemplares de herbario y los colores su distribución potencial de acuerdo con variables climáticas). Mapa proporcionado por el Dr. Oswaldo Téllez.

III. 3. Propagación y reintroducción experimental de plántulas

III. 3. 1. Ensayo de germinación de semillas

Se realizó un ensayo de germinación de carácter preliminar, debido a que la limitada cantidad de semillas no permitió contar con un diseño experimental adecuado para estudiar en detalle este proceso. El ensayo incluyó seis tratamientos pre-germinativos, cada uno de los cuales se aplicó a una muestra de 10 semillas. Dichos tratamientos fueron:

- a. Escarificación con lija en el extremo distal de la semilla.
- b. Escarificación con lija y remojo en agua a temperatura ambiente durante 2 h.
- c. Corte de la testa: con una navaja se hizo un corte pequeño en el extremo distal de la semilla y luego se remojó en agua a temperatura ambiente durante 2 h.
- d. Tratamiento térmico: inmersión de las semillas durante 5 min en agua caliente (casi hirviendo) e inmediatamente después en agua con temperatura ambiente.
- e. Esacarificación ácida: inmersión las semillas en ácido sulfúrico concentrado durante 20 min.
- f. Calentamiento en horno, a 60°C durante 2 h.

Además, se definió un grupo testigo, formado por semillas a las cuales no se aplicó ningún tratamiento. Una vez aplicado el tratamiento respectivo, cada grupo de 10 semillas fue sembrado en una caja de Petri con una sustrato formado por una mezcla de vermiculita y arena (1:1); cada caja se regó con 30 - 40 ml de agua al inicio del experimento. Las cajas permanecieron durante 10 días (12 – 22 de enero de 2004) en una cámara de germinación con un fotoperíodo de 12:12 h y un termoperíodo de 18 - 37°C; las temperaturas altas coincidieron con las horas de luz. Las cajas se regaron cada tercer día y durante el

experimento se eliminaron posibles patógenos, en este caso hongos, mediante la aplicación de una solución de Captán al 20%.

III. 3. 2. Producción de plántulas en invernadero

Se recolectaron semillas maduras de cinco árboles (en vainas maduras o en el suelo, contiguas a cada árbol) en la zona arqueológica de Xochicalco (septiembre-noviembre de 2002), y se separaron las semillas viables de las no viables mediante el método de flotación (i. e. se colocaron las semillas en un recipiente con agua; las que se sumergen se consideran viables, Camacho Morfín, 2003). Se aplicó un tratamiento pre-germinativo térmico (tratamiento *d* del apartado anterior por ser el más exitoso y sencillo) a 500 semillas viables, las cuales posteriormente se sumergieron durante 2 min en una solución de hipoclorito de sodio al 5% con el fin de desinfectarlas. Las 500 semillas seleccionadas se colocaron en charolas de plástico con tierra preparada de agrolita y tierra (1:1) en el invernadero de la Facultad de Ciencias (UNAM) en julio de 2003. Cada charola se regó con la misma cantidad de agua y se cubrió con una película de plástico transparente con el fin de conservar la humedad.

Las semillas recién germinadas (radícula > 1 cm de longitud) se trasplantaron a bolsas de plástico blanco (0.5 l) con sustrato preparado de agrolita y tierra (1:1). Las plántulas crecieron durante un mes en el invernadero, bajo condiciones de alta humedad y radiación, antes de ser trasplantadas al campo. Previamente al trasplante, a cada plántula se le colocó una etiqueta de plástico con un número que la identificara, fijada con un alambre en la base del tallo, y se registró la altura y el número de hojas de cada una.

III. 3. 3. Establecimiento en campo

El éxito del establecimiento se evaluó tanto a partir de semillas como de plántulas introducidas experimentalmente en los dos sitios de estudio antes descritos: Cuentepec y Xochicalco. El experimento se montó en agosto de 2003. Para evaluar el establecimiento a partir de semillas, en cada sitio se eligieron siete árboles o arbustos mayores de 2 m de altura que funcionarían como nodrizas y siete sitios abiertos (cercaos a cada nodriza). En cada punto se colocó un cilindro de tela de mosquitero metálico (14 cilindros por parcela: 7 bajo nodrizas y 7 en condiciones abiertas). Dentro de cada cilindro (20 cm de diámetro y 20 cm de altura) se sembraron 12 semillas (336 en total) a una profundidad de 1 cm, las cuales no recibieron ningún tratamiento pre-germinativo. Alrededor de cada cilindro se aplicó un insecticida en polvo para evitar la actividad de los insectos. Se evaluó la germinación a través de la emergencia de las plántulas, semanalmente durante el primer mes (agosto 2003) y mensualmente durante los siguientes tres meses, hasta noviembre 2003. El porcentaje de germinación acumulada durante este periodo de cada cilindro representó un dato, y los efectos del sitio (acahual y pastizal) y la condición (con y sin nodriza) se analizaron por medio de un análisis de varianza de dos vías, transformando previamente los datos mediante la transformación arcoseno.

Adicionalmente, en cada parcela se trasplantaron 70 plántulas de un mes de edad, la mitad de las cuales se ubicaron bajo arbustos o árboles que funcionarían como plantas nodriza, y la otra mitad en condiciones abiertas. Se eligieron 12 sitios con nodriza y 12 sitios abiertos (cercaos a cada nodriza), y en cada sitio se plantaron tres plántulas. El establecimiento inicial se evaluó en términos de la supervivencia seis semanas después del trasplante (septiembre 2003) y posteriormente la supervivencia y el crecimiento mediante

censos mensuales durante seis meses. En estos censos se registraron la altura, el diámetro basal y el número de hojas de cada plántula. Los valores de las dos primeras variables al final del periodo de estudio (diciembre 2003) se analizaron cada una mediante un ANOVA de dos vías, que no se aplicó en el caso de las hojas debido a que estas se pierden al final de la temporada de lluvias.

Las curvas de supervivencia se compararon de manera pareada entre los sitios (incluyendo los datos de ambas condiciones en cada sitio) y dentro de cada sitio, entre condiciones, mediante el análisis de Peto y Peto, que es una prueba no paramétrica (χ^2) que permite comparar dos curvas (Pike y Thomson 1986), mediante la fórmula:

$$LR = ((d_1 - E_1)^2 / E_1) + ((d_2 - E_2)^2 / E_2)$$

donde LR (Logrank) = valor χ^2 , d_j es la suma de las muertes observadas en la cohorte j , y E_j es el número esperado de muertes en la misma cohorte, que se calcula como: $\sum_{x=1}^n = D_j (P_{ji})$, donde D_j = suma de las muertes de las dos cohortes en el intervalo de tiempo i y P_{ji} = supervivencia proporcional de los individuos de la cohorte j en el intervalo i . P_{ji} se calcula como la proporción S_{ji} / S_i , donde S_{ji} = número de individuos vivos en la cohorte j al principio del intervalo i y S_i = suma de los individuos vivos en ambas cohortes al principio del intervalo i . Además, se elaboraron curvas de supervivencia por sitio y condición.

III. 4. Análisis de crecimiento de plántulas en invernadero

Con el fin de obtener las plántulas para este experimento, el 15 de junio de 2004 se pusieron a germinar 250 semillas previamente escarificadas en semilleros del vivero de

Huajintlán, Morelos (Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente, Morelos). Las plántulas resultantes se trasplantaron a bolsas de plástico negro de 2 l y con aperturas en el fondo, las cuales fueron rellenas con un sustrato de tierra negra, arena y composta en proporciones iguales. Las plántulas crecieron durante tres meses en el vivero, y en septiembre de 2004 fueron transportadas al invernadero de la Facultad de Ciencias.

Como se deseaba evaluar el efecto de diferentes condiciones lumínicas y disponibilidad de agua en el crecimiento de las plántulas, se aplicaron seis tratamientos que resultaron de la combinación de dos condiciones de radiación: exposición total (100%) y sombra parcial (50%) y tres condiciones de riego: muy frecuente, frecuente y esporádico. Para el riego muy frecuente se sellaron las aperturas de las bolsas para evitar el escurrimiento del agua, y cada bolsa se regó tres veces por semana con 750 ml, con lo que se producía un encharcamiento de agua en el fondo de la bolsa. Las plántulas con riego frecuente se regaron una vez a la semana con 500 ml y las de riego esporádico cada dos semanas con 250 ml. Las condiciones de sombra parcial se lograron por medio de una malla de sombra negra (50% radiación solar), colocada sobre un bastidor de 1 m de altura colocada sobre una mesa del invernadero de la Facultad de Ciencias (UNAM), mientras que otra mesa se dejó sin malla (100% radiación solar). En cada condición de radiación lumínica se aplicaron las tres frecuencias de riego, a 18 plántulas por tratamiento (108 plántulas en total).

El experimento duró cuatro meses (octubre 2004 - enero 2005), durante los cuales se registraron mensualmente las siguientes variables: altura, diámetro basal y número de hojas de cada plántula. Al montar el experimento (17 de octubre de 2004) se cosecharon

18 plántulas, y al final del período de estudio (31 de enero 2005) se cosecharon todas las demás plantas, registrando su altura, diámetro del tallo, número de hojas y área foliar. Posteriormente, las plántulas se secaron durante 48 h a 80°C para obtener el peso seco de la raíz y la parte aérea, separada en las hojas y el tallo.

El efecto de los distintos tratamientos sobre el crecimiento de las plántulas se evaluó a partir de los siguientes índices:

- Biomasa (total , hojas, tallo, raíz) (g)
- Diámetro basal (cm)
- Altura del tallo (cm)
- Tasa relativa de crecimiento (RGR: $\ln \text{biom final} - \ln \text{biom inicial} / t_2 - t_1$)
- Tasa absoluta de crecimiento (AGR: $\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial} / t_2 - t_1$)
- Cociente raíz-vástago (R/S: $\text{biomasa de la raíz} / \text{biomasa del tallo+hojas}$)
- Área foliar específica (SLA: $\text{área foliar por unidad de biomasa foliar}$)
- Relación de área foliar (LAR: $\text{área foliar por gramo de biomasa total}$)
- Relación de peso foliar (LWR: $\text{peso foliar por gramo de biomasa total}$)
- Coeficiente de esbeltez (H/D: $\text{altura del tallo} / \text{diámetro basal}$)
- Tasa de asimilación neta (NAR: $(1 / \text{área foliar}) * \text{TCR}$)

Para analizar el efecto de los tratamientos en el crecimiento de las plántulas se realizaron diversos análisis estadísticos. Debido a que no hubo réplicas verdaderas de los tratamientos de radiación, puesto que todas las plantas de cada uno de los tratamientos se encontraban en la misma mesa, no fue posible realizar un análisis de varianza de dos vías

(con los factores de radiación y frecuencia de riego). Para analizar las tendencias que presentaban los datos en respuesta a los dos niveles de radiación se realizaron pruebas de t , mientras que el efecto de la frecuencia de riego se analizó al interior de cada tratamiento lumínico por medio de análisis de varianza de una vía (un factor con tres niveles). Cuando fue necesario se transformaron las variables de respuesta para cumplir con los supuestos de normalidad u homogeneidad de varianzas (transformación: x^2 para la altura, el número de hojas y el coeficiente de esbeltez; $1/\sqrt{x}$ para el cociente raíz-vástago) o para transformar variables discretas (como el número de hojas) en continuas.

Por otro lado, se midió la asimilación de CO_2 y el potencial hídrico en dos plántulas por tratamiento al final del experimento (enero 2005), con el fin de detectar si estas variables fisiológicas diferían como resultado de los factores experimentales. Sin embargo, el tamaño de muestra no permitió evaluarlas estadísticamente. La asimilación de CO_2 se registró con un analizador de intercambio gaseoso. Las mediciones del potencial hídrico de las plántulas se hicieron con una cámara de Scholander, a una temperatura de 25°C y una radiación de $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Capítulo IV. Resultados

Este capítulo se divide en cuatro secciones: en la primera se muestran los resultados de los ensayos de germinación de semillas sometidos a diferentes tratamientos pre-germinativos en el laboratorio, así como los de la germinación de semillas en campo; en la segunda sección se presentan los del experimento de establecimiento de plántulas; en la tercera los de supervivencia y crecimiento de plántulas en los dos sitios de campo y por último, se presentan los resultados del análisis de crecimiento de plántulas en condiciones controladas.

IV. 1. Germinación de semillas

IV. 1. 1. Germinación en el laboratorio

Los porcentajes de germinación en respuesta a los seis tratamientos pre-germinativos variaron entre 0 y 100%. Los más altos (100%) se obtuvieron en dos tratamientos: a) corte de la testa y remojo en agua y b) térmico-húmedo (inmersión de las semillas en agua caliente durante 5 min; Figura 4). El resto de los tratamientos (escarificación con lija, escarificación y remojo y calentamiento en horno) presentaron porcentajes menores a 60% y en el de escarificación ácida la germinación fue nula. En el grupo testigo la germinación fue baja; alcanzó 30%. Debido a la limitada cantidad de semillas disponible, no se contó con réplicas para evaluar la variación en la respuesta germinativa. Sin embargo, los resultados permitieron contar con algún antecedente sobre el cual tomar decisiones para la siembra de semillas y obtención de plántulas para experimentos subsecuentes.

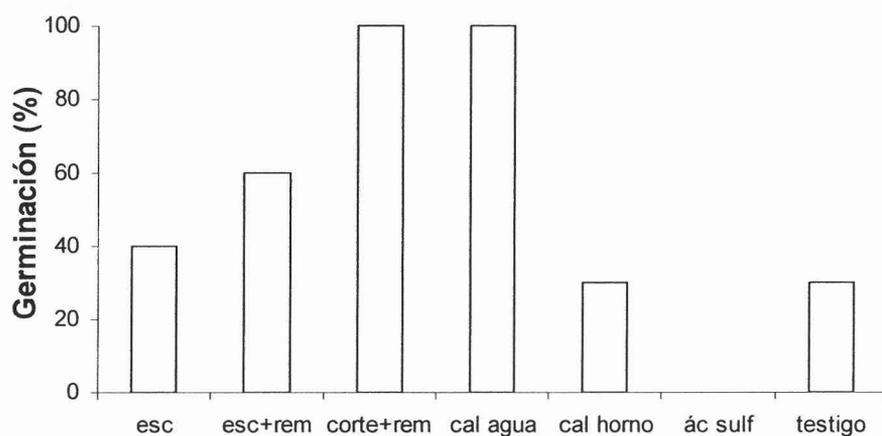


Figura 4. Porcentajes de germinación de las semillas de *Conzattia multiflora* en respuesta a seis tratamientos pre-germinativos (esc: escarificación con lija, esc+rem: escarificación con lija y remojo en agua durante 2 h, corte+rem: corte de la testa y remojo durante 2 h, cal agua: inmersión de las semillas 5 min en agua caliente, esc ácida: inmersión de las semillas en ácido sulfúrico concentrado 20 min) (N = 10 semillas por tratamiento).

IV. 1. 2. Germinación en el campo

La germinación de semillas en el campo fue baja, con un promedio general de 7% ($\pm 4\%$), independientemente del sitio o la condición. Hubo un efecto significativo del factor sitio en la germinación (Tabla 2), pues en Cuentepec ésta fue menor ($4\% \pm 2\%$) que en Xochicalco ($10\% \pm 3\%$). El valor más alto se presentó en Xochicalco en condiciones abiertas, aunque no superó 16%. Aunque en ambos sitios la germinación fue ligeramente superior en condiciones abiertas, el factor nodricismo no fue significativo (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del ANOVA del efecto del sitio y la presencia de plantas nodriza en la germinación de semillas de *Conzattia multiflora* (N = 336).

| Factor | C. M. | g. l. | F | P |
|---------------|--------------|--------------|----------|--------------|
| Sitio | 0.201 | 1 | 4.53 | 0.044 |
| Nodriza | 0.079 | 1 | 1.80 | 0.191 |
| Interacción | 0.028 | 1 | 0.43 | 0.433 |
| Error | 0.043 | 24 | | |

En una visita a campo realizada un año después del montaje del experimento, se observó germinación de algunas semillas colocadas en 2003 en los cilindros experimentales al inicio de la temporada de lluvias (2004) en Xochicalco, lo que indica que las semillas permanecieron viables en el suelo por todo un año.

IV. 2. Establecimiento inicial de plántulas

El establecimiento inicial de plántulas introducidas a campo (evaluado seis semanas después del trasplante, i. e. 23 de septiembre 2003) fue alto, ya que las plántulas exhibieron porcentajes de supervivencia superiores a 80% en ambos sitios, aunque fueron ligeramente mayores en Cuentepec que en Xochicalco (Figura 5).

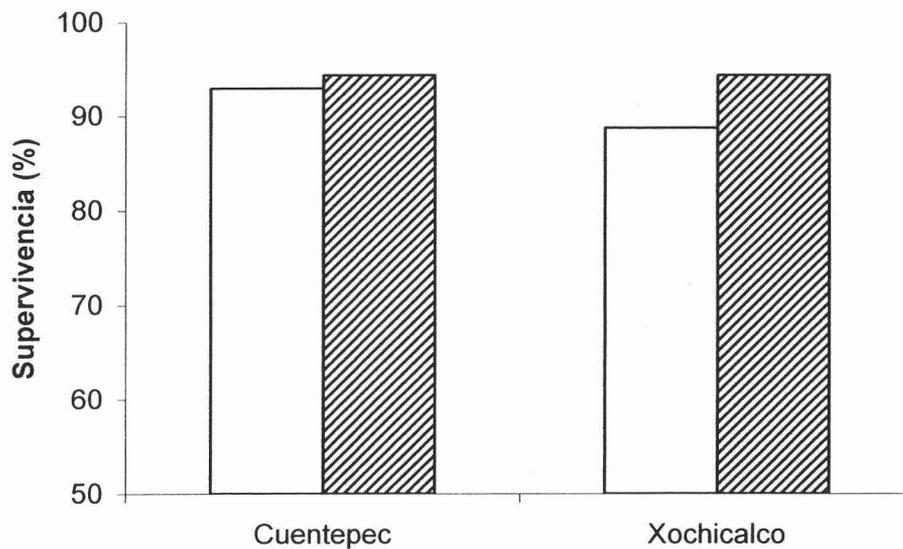


Figura 5. Supervivencia inicial de plántulas de *Conzattia multiflora* en dos sitios: Cuentepec y Xochicalco y dos condiciones: abiertas (columnas blancas) y bajo plantas nodriza (columnas rayadas).

IV. 3. Supervivencia y crecimiento de plántulas en campo

En general, la supervivencia de plántulas fue alta al final de la temporada de crecimiento (diciembre 2003) y aunque fue ligeramente mayor en Xochicalco (79%) que en Cuentepec (75%), estas diferencias no fueron significativas ($\chi^2 = 0.016$, g.l. = 1, $P = 0.9$) (Figuras 6 a y b). Sin embargo, durante la temporada seca (enero – marzo 2004), se presentó una alta mortalidad, que disminuyó la supervivencia a sólo 3% en Xochicalco y 6% en Cuentepec. La principal causa de muerte (92%) fue la depredación por ratones y/o conejos, que consumieron las plántulas durante la temporada seca. Aunque la supervivencia (evaluada en enero de 2004) bajo nodrizas fue ligeramente mayor que la que se presentó en sitios expuestos, este factor no fue significativo ni en Cuentepec ($\chi^2 = 0.024$, g.l. = 1, $P = 0.90$) ni en Xochicalco ($\chi^2 = 0.435$, g.l. = 1, $P = 0.45$) (Figuras 6a y b). La alta mortalidad registrada

impidió evaluar el efecto de las nodrizas en un periodo anual, como se pretendía originalmente. Esto ocasionó también que el crecimiento de las plántulas se evaluara sólo hasta el final de la primera temporada de crecimiento. i. e. diciembre 2003.

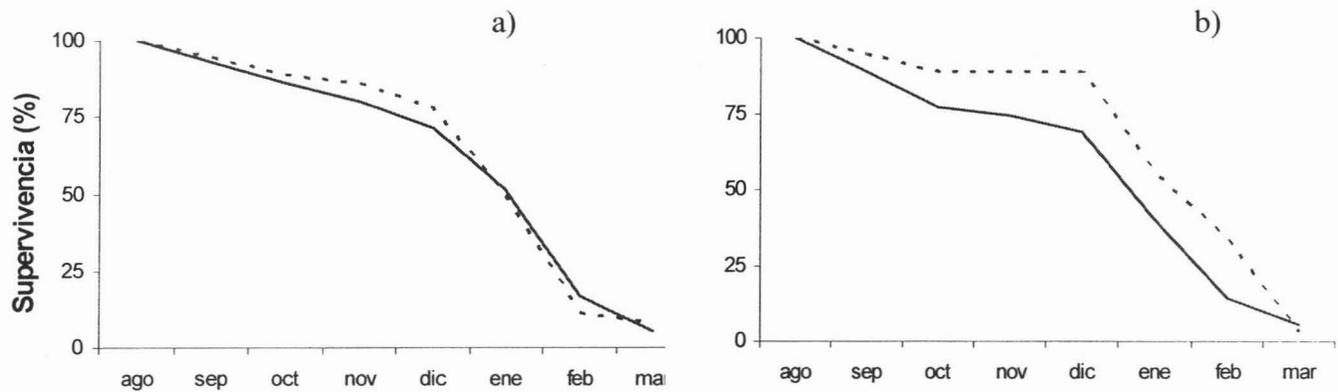


Figura 6. Supervivencia de plántulas de *Conzattia multiflora* en dos sitios: a) Cuentepec y b) Xochicalco y en dos condiciones: en condiciones abiertas (líneas continuas) y bajo plantas nodriza (líneas punteadas) (N = 140).

En esta fecha se presentaron diferencias significativas debidas al sitio, pero no a la presencia de nodrizas, tanto en la altura como en el diámetro de las plántulas (Tablas 3 y 4). La altura promedio de las plántulas de ambos sitios fue 10.89 cm (± 5.38) y el diámetro 0.40 cm (± 0.17) al final del periodo de estudio (marzo 2004), mientras que inicialmente estas cifras fueron 10.7 ± 3.2 cm y 0.36 ± 0.08 cm respectivamente. En Xochicalco, tanto la altura como el diámetro promedio final de las plántulas fueron ligeramente mayores que en Cuentepec (Tablas 5 y 6). Las nodrizas no tuvieron efecto sobre el crecimiento ni en altura ni en diámetro (Tablas 3 y 4); en ambos casos se obtuvieron valores ligeramente superiores bajo nodrizas, pero su efecto no resultó significativo.

Tabla 3. Resultados del Análisis de Varianza del efecto del sitio y la presencia de plantas nodriza en la altura final de plántulas de *Conzattia multiflora* (C.M.= cuadrado medio, g.l.= grados de libertad) (N =108).

| Factor | C. M. | g. l. | F | P |
|---------------|--------------|--------------|----------|--------------|
| Sitio | 0.199 | 1 | 7.167 | 0.008 |
| Nodriza | 0.032 | 1 | 1.158 | 0.284 |
| Interacción | 0.063 | 1 | 2.288 | 0.133 |
| Error | 0.027 | 101 | | |

Tabla 4. Resultados del Análisis de Varianza del efecto del sitio y la presencia de plantas nodriza en el diámetro final de plántulas de *Conzattia multiflora*. (C.M.= cuadrado medio, g.l.= grados de libertad) (N = 108).

| Factor | C. M. | g. l. | F | P |
|---------------|--------------|--------------|----------|--------------|
| Sitio | 205.98 | 1 | 7.43 | 0.008 |
| Nodriza | 17.46 | 1 | 1.16 | 0.429 |
| Interacción | 0.15 | 1 | 0.005 | 0.941 |
| Error | 23.74 | 101 | | |

Tabla 5. Altura promedio ($x \pm d. e.$) inicial y final de plantas de *Conzattia multiflora* en dos sitios: Cuentepec y Xochicalco (N = 108).

| | Cuatepec | | Xochicalco | |
|---------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | <i>Altura inicial (cm)</i> | <i>Altura final (cm)</i> | <i>Altura inicial (cm)</i> | <i>Altura final (cm)</i> |
| Nodriza | 10.1 \pm 1.5 | 11.5 \pm 4.6 | 9.7 \pm 5.1 | 13.2 \pm 3.3 |
| Abierto | 10.5 \pm 2.6 | 10.8 \pm 4.2 | 11.6 \pm 3.8 | 12.8 \pm 3.2 |

Tabla 6. Diámetro promedio ($x \pm d. e.$) inicial y final de plantas de *Conzattia multiflora* en dos sitios: Cuentepec y Xochicalco (N = 108).

| | Cuatepec | | Xochicalco | |
|---------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | <i>Diámetro inicial (cm)</i> | <i>Diámetro final (cm)</i> | <i>Diámetro inicial (cm)</i> | <i>Diámetro final (cm)</i> |
| Nodriza | 0.32 \pm 0.09 | 0.41 \pm 0.09 | 0.35 \pm 0.07 | 0.48 \pm 0.14 |
| Abierto | 0.31 \pm 0.06 | 0.4 \pm 0.09 | 0.32 \pm 0.09 | 0.46 \pm 0.13 |

IV. 4. Análisis de crecimiento en invernadero

El tamaño inicial de las plántulas se midió tres semanas después de su traslado a la Facultad de Ciencias (16 de octubre 2004), aproximadamente cuatro meses después de que germinaron. Durante este periodo crecieron en condiciones de alta humedad y alta radiación lumínica. Cabe anotar que durante el periodo en el que permanecieron en el vivero, el personal del mismo cortó una hoja de cada plántula (la hoja mayor) para evitar que las aves se posaran sobre ellas y doblaran los tallos, aún frágiles. Los valores promedio de las plántulas de la cosecha inicial (octubre 2004) se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Valores ($x \pm d. e.$) de las principales variables de crecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* al iniciar los tratamientos experimentales (N = 18).

| <i>Variable</i> | $x \pm d. e.$ |
|--------------------------------|--------------------|
| Biomasa total (g) | 1.56 ± 0.51 |
| Biomasa hojas (g) | 0.67 ± 0.24 |
| Biomasa tallo (g) | 0.46 ± 0.15 |
| Biomasa raíz (g) | 1.14 ± 0.37 |
| Área foliar (cm ²) | 139.84 ± 41.93 |
| Número de hojas | 4.53 ± 0.92 |
| Diámetro basal (cm) | 0.56 ± 0.76 |
| Altura (cm) | 16.16 ± 2.0 |

En la tabla 8 se presentan los valores promedios de las variables de crecimiento y los valores de las pruebas de *t* para analizar el efecto general de los dos niveles de radiación. Los resultados de los ANOVA realizados para analizar el efecto de la frecuencia de riego se presentan en las tablas 9 y 10. Como se mencionó antes (ver método), en

algunos casos se transformaron las variables de respuesta para cumplir con los supuestos de normalidad u homogeneidad de varianzas o para transformar variables discretas en continuas.

Tabla 8. Valores promedio de las variables de crecimiento ($x \pm d. e.$) y resultados de las pruebas de t de plántulas de *Conzattia multiflora*, sometidas a dos niveles de radiación lumínica (N = 108).

| Variable | Radiación | | T | P |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|-------|----------|
| | 100% | 50% | | |
| Biomasa total (g) | 7.02 ± 3.12 | 4.31 ± 1.82 | 5.495 | < 0.0001 |
| Biomasa hojas (g) | 1.92 ± 0.67 | 1.75 ± 0.66 | 1.381 | < 0.0001 |
| Biomasa tallo (g) | 3.81 ± 1.74 | 2.51 ± 1.18 | 4.558 | < 0.0001 |
| Biomasa raíz (g) | 3.21 ± 1.54 | 1.81 ± 0.67 | 6.078 | < 0.0001 |
| R/V | 0.633 ± 0.41 | 0.579 ± 0.29 | 1.666 | 0.099 |
| Núm. Hojas | 8.22 ± 1.65 | 7.96 ± 1.69 | 0.791 | 0.431 |
| Área foliar (cm ²) | 375.22 ± 136.67 | 516.57 ± 190.29 | 4.434 | < 0.0001 |
| AFE | 201.78 ± 57.01 | 319.36 ± 143.49 | 5.596 | < 0.0001 |
| CAF | 63.39 ± 33.81 | 133.91 ± 57.87 | 7.730 | < 0.0001 |
| CPF | 0.305 ± 0.109 | 0.427 ± 0.126 | 5.331 | < 0.0001 |
| Diámetro (cm) | 1.02 ± 0.23 | 0.92 ± 0.15 | 4.682 | < 0.0001 |
| Altura (cm) | 28.08 ± 5.59 | 30.54 ± 6.47 | 2.110 | 0.037 |
| TCR _{biomasa} | 0.012 ± 0.004 | 0.008 ± 0.003 | 5.191 | < 0.0001 |
| TCA _{biomasa} | 0.048 ± 0.027 | 0.024 ± 0.016 | 5.495 | < 0.0001 |
| TCR _{altura} | 0.004 ± 0.005 | 0.005 ± 0.001 | 1.732 | 0.086 |
| TCA _{altura} | 16.09 ± 3.59 | 16.12 ± 3.62 | 0.084 | 0.931 |
| CE | 26.42 ± 6.01 | 33.54 ± 5.73 | 6.309 | < 0.0001 |
| TAN | 0.00021 ± 0.00016 | 0.000082 ± 0.000061 | 5.950 | < 0.0001 |

Tabla 9. Valores promedio de las variables de crecimiento ($x \pm d. e.$) y resultados de los ANOVA del efecto de la frecuencia de riego en diversas variables de crecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* en condiciones de alta radiación lumínica. Diferentes letras en un renglón indican diferencias significativas (N = 108).

| Variable | Riego muy frecuente | Riego frecuente | Riego Esporádico | P |
|--------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------|
| Biomasa total (g) | 9.727 a | 7.861 b | 3.461 c | <0.0001 |
| Biomasa hojas (g) | 2.133 a | 2.253 a | 1.383 b | <0.0001 |
| Biomasa tallo (g) | 5.233 a | 4.238 b | 1.950 c | <0.0001 |
| Biomasa raíz (g) | 4.494 a | 3.622 b | 1.511 c | <0.0001 |
| R/V | 0.711 a | 0.659 a | 0.583 b | <0.0001 |
| Núm. hojas | 8.56 a | 8.54 a | 6.833 b | 0.001 |
| Área foliar (cm ²) | 334.658 a | 473.713 a | 317.283 b | 0.002 |
| AFE | 160.861 b | 210.567 a | 233.911 a | <0.0001 |
| CAF | 34.810 c | 60.962 b | 94.423 a | <0.0001 |
| CPF | 0.222 c | 0.288 b | 0.407 a | <0.0001 |
| Diámetro (cm) | 1.249 a | 1.188 a | 0.837 b | <0.0001 |
| Altura (cm) | 26.97 b | 30.77 a | 26.52 b | 0.048 |
| TCR _{biomasa} | 0.016 a | 0.014 a | 0.007 b | <0.0001 |
| TCA _{biomasa} | 0.073 a | 0.056 a | 0.016 b | <0.0001 |
| TCR _{altura} | 0.004 | 0.006 | 0.005 | 0.722 |
| TCA _{altura} | 15.925 | 16.647 | 15.707 | 0.922 |
| CE | 21.454 b | 26.124 a | 31.671 a | <0.0001 |
| TAN | 0.0005 a | 0.0002 a | 0.00008 b | <0.0001 |

Tabla 10. Valores promedio de las variables de crecimiento ($\bar{x} \pm d. e.$) y resultados de los ANOVA del efecto de la frecuencia de riego en diversas variables de crecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* en condiciones de baja radiación lumínica. Diferentes letras en un renglón indican diferencias significativas (N = 108).

| Variable | Riego muy frecuente | Riego frecuente | Riego Esporádico | P |
|--------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|----------|
| Biomasa total (g) | 5.556 a | 4.438 a | 2.938 b | < 0.0001 |
| Biomasa hojas (g) | 1.844 a | 2.111 a | 1.288 b | 0.0003 |
| Biomasa tallo (g) | 3.361 a | 2.572 b | 1.572 c | < 0.0001 |
| Biomasa raíz (g) | 2.205 a | 1.866 a | 1.366 b | 0.0006 |
| R/V | 0.646 a | 0.548 a | 0.545 b | < 0.0001 |
| Núm. hojas | 8.38 | 8.66 | 6.77 | 0.259 |
| Área foliar (cm ²) | 497.618 a | 626.824 a | 425.264 b | 0.004 |
| AFE | 322.698 | 301.795 | 333.59 | 0.802 |
| CAF | 105.67 b | 147.44 a | 148.60 a | 0.036 |
| CPF | 0.336 b | 0.494 a | 0.442 a | 0.0003 |
| Diámetro (cm) | 1.020 a | 0.931 a | 0.792 b | < 0.0001 |
| Altura (cm) | 30.455 a | 34.466 a | 26.728 b | 0.0008 |
| TCR _{biomasa} | 0.011 a | 0.008 a | 0.005 b | 0.001 |
| TCA _{biomasa} | 0.035 a | 0.025 a | 0.012b | < 0.0001 |
| TCR _{altura} | 0.006 a | 0.007 a | 0.004 b | < 0.0001 |
| TCA _{altura} | 15.894 | 16.386 | 16.178 | 0.92 |
| CE | 29.657 b | 37.021 a | 33.945 a | 0.0002 |
| TAN | 0.0001 a | 0.00007 b | 0.00004 b | 0.0004 |

Tanto la radiación como la frecuencia de riego tuvieron efectos significativos en la biomasa final de las plántulas (Tablas 8, 9 y 10). En general, aquellas sometidas a una alta intensidad lumínica tuvieron una biomasa promedio 60% mayor que las que crecieron en baja radiación. En ambas condiciones de radiación, las plántulas expuestas tanto a una frecuencia de riego muy frecuente como frecuente alcanzaron una biomasa final mayor, que fue significativamente distinta de las que crecieron en condiciones de riego esporádico; en este último caso el efecto de la luz perdió importancia, ya que (aunque no fue posible evaluar la significancia de estas diferencias) la biomasa final fue similar en ambos tratamientos, ligeramente mayor en radiación alta que bajo sombra (Figura 7).

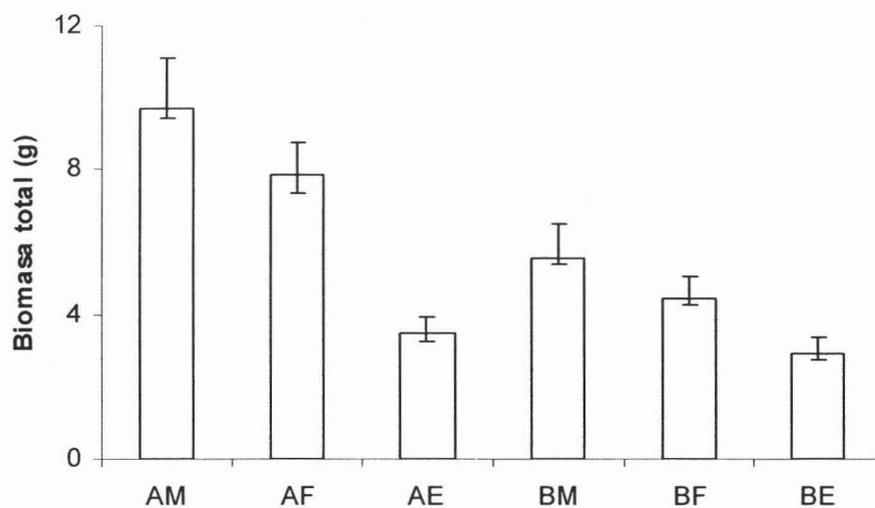


Figura 7. Biomasa final ($\bar{x} \pm e. e.$) de plántulas de *Conzattia multiflora* expuestas a dos niveles de radiación y tres frecuencias de riego (AM: radiación alta, riego muy frecuente; AF: radiación alta, riego frecuente; AE: radiación alta, riego esporádico; BM: radiación baja, riego muy frecuente; BF: radiación baja, riego frecuente; BE: radiación baja, riego esporádico, N = 108).

Al analizar los diferentes componentes de la biomasa, se observó que la biomasa foliar, así como las del tallo y de la raíz, fueron afectadas significativamente por los dos factores experimentales. En el caso de la biomasa foliar, ésta fue ligeramente mayor en condiciones de alta radiación. Respecto al riego, las plántulas presentaron una biomasa foliar similar en condiciones de riego muy frecuente y frecuente, pero significativamente menor en las de riego esporádico. Tanto en la biomasa de tallo como en la de raíz se observó un patrón similar: se produjo mayor biomasa bajo condiciones de radiación alta y riego muy frecuente o frecuente, mientras que ésta disminuyó significativamente en los tratamientos de riego esporádico. La biomasa de tallo aumentó 50% y la de raíces 80% en condiciones de alta radiación respecto al tratamiento de sombra. En cuanto a la frecuencia de riego, las diferencias en biomasa entre el tratamiento de riego muy frecuente y el esporádico fueron mayores en radiación alta (casi del triple), que en radiación baja (aproximadamente del doble) (Tablas 9 y 10, Figura 7).

El cociente raíz-vástago (R/V) no se vio afectado significativamente por los niveles de radiación ($P = 0.099$, Tabla 8, Figura 8), pero sí por los niveles de riego al interior de cada nivel de radiación. El comportamiento en relación al riego fue similar en ambas condiciones lumínicas, el cociente R/V tuvo un valor significativamente mayor bajo riego muy frecuente o frecuente y menor en el esporádico (Tablas 9 y 10).

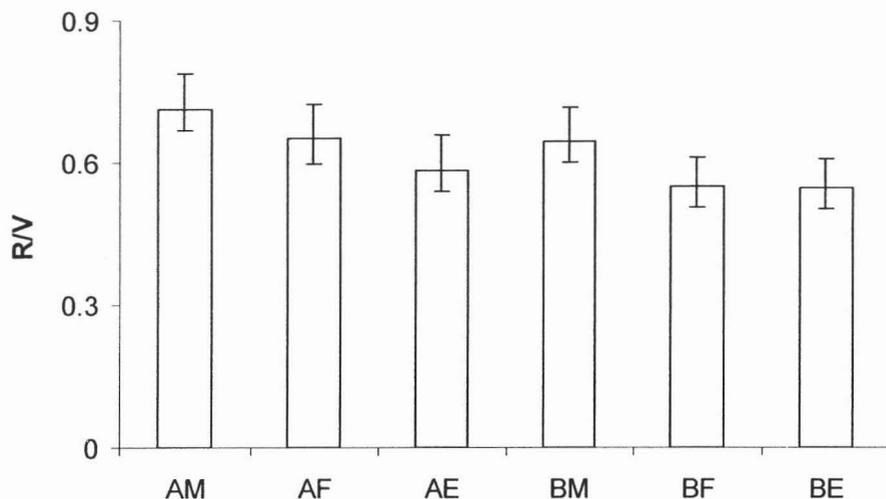


Figura 8. Cociente raíz-vástago ($x \pm e. e.$) de plántulas de *Conzattia multiflora* expuestas a dos niveles de radiación y tres frecuencias de riego (AM: radiación alta, riego muy frecuente; AF: radiación alta, riego frecuente; AE: radiación alta, riego esporádico; BM: radiación baja, riego muy frecuente; BF: radiación baja, riego frecuente; BE: radiación baja, riego esporádico, N = 108).

La frecuencia de riego (pero no la radiación lumínica) tuvo un efecto significativo sobre el número de hojas. Esta variable tuvo un valor mayor en condiciones de riego muy frecuente y frecuente y menor en riego esporádico; aunque la magnitud de la diferencia no fue muy grande, de alrededor de una hoja (Tablas 9 y 10).

El nivel de radiación tuvo un efecto significativo en el área foliar, el área foliar específica (AFE), la relación área foliar (RAF) y la relación de peso foliar (RPF); los valores promedio de todas estas variables fueron mayores bajo sombra que en radiación alta. El caso más notable fue el de la relación área foliar (RAF) que fue 110% mayor en condiciones de radiación baja respecto a su valor en radiación alta. En cuanto a las frecuencias de riego, en ambos tratamientos lumínicos el área foliar disminuyó bajo

condiciones de riego esporádico. El área foliar específica (AFE) no cambió significativamente con la frecuencia de riego en condiciones de baja radiación; sin embargo, en alta radiación, el AFE fue menor en riego muy frecuente que en los otros tratamientos. En ambas condiciones de radiación los valores promedio de la relación área foliar (RAF) tuvieron una relación inversa con la frecuencia de riego, i. e. fueron mayores en riego esporádico. El comportamiento de la relación de peso foliar (RPF) en respuesta a la frecuencia de riego difirió entre los dos tratamientos de radiación: en 100% fue mayor en riego esporádico y menor en riego muy frecuente, mientras que en radiación baja fue mayor en riego frecuente y disminuyó en riego muy frecuente (Tablas 9 y 10).

El diámetro final de las plántulas fue significativamente mayor en condiciones de alta radiación lumínica que en sombra parcial, mientras que la altura tuvo un comportamiento inverso (Tabla 8). En ambas condiciones de luz el diámetro fue menor en riego esporádico, mientras que la altura fue mayor en riego frecuente que en muy frecuente o esporádico, aunque las diferencias con estos últimos variaron en cada caso (Tablas 9 y 10).

El coeficiente de esbeltez (CE) difirió entre condiciones de radiación y de acuerdo a la frecuencia de riego. La relación de este coeficiente con la radiación fue inversa (i. e. los valores más altos se presentaron en condiciones de radiación baja), y lo mismo sucedió con la frecuencia de riego (los valores más bajos se presentaron en riego muy frecuente en ambas condiciones lumínicas; Tablas 9 y 10, Figura 9).

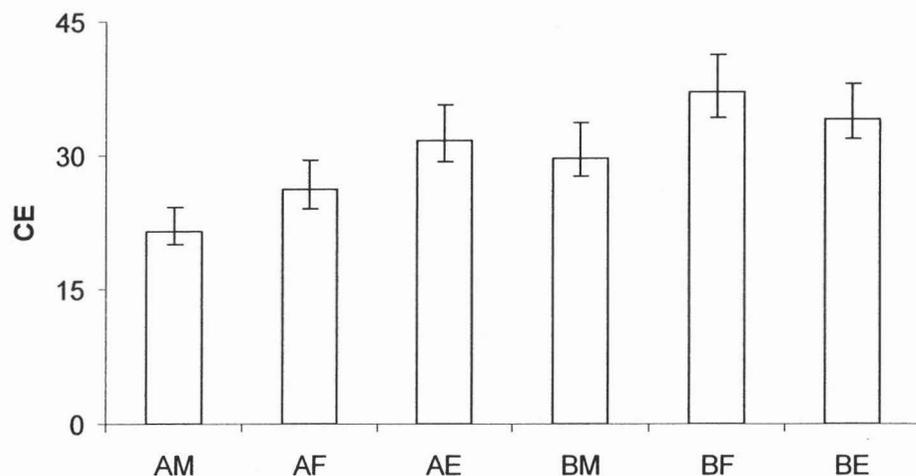


Figura 9. Cociente de esbeltez ($\bar{x} \pm e. e.$) de plántulas de *Conzattia multiflora* expuestas a dos niveles de radiación y tres frecuencias de riego (AM: radiación alta, riego muy frecuente; AF: radiación alta, riego frecuente; AE: radiación alta, riego esporádico; BM: radiación baja, riego muy frecuente; BF: radiación baja, riego frecuente; BE: radiación baja, riego esporádico, N = 108).

Con respecto a las tasas de crecimiento, tanto relativas como absolutas, éstas difirieron significativamente entre los dos niveles de radiación cuando se calcularon a partir de la biomasa, pero no cuando se calcularon a partir de la altura. Los valores de las tasas relativas de crecimiento en biomasa fueron mayores cuando hubo una alta disponibilidad de agua (sin diferencias significativas entre riego muy frecuente y frecuente, Tablas 9 y 10), y decrecieron en condiciones de riego esporádico en ambas condiciones de radiación. Cabe notar que incluso en condiciones de riego esporádico los valores, tanto relativos como absolutos, fueron ligeramente mayores en radiación alta que en baja (aunque no fue posible establecer la significancia de dichas diferencias) (Tablas 9 y 10, Figura 10).

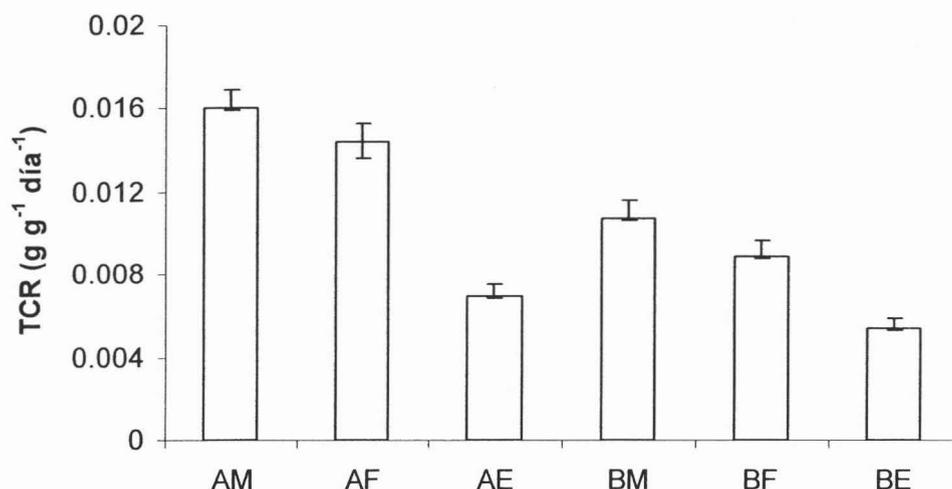


Figura 10. Tasa de crecimiento relativo en biomasa ($x \pm e. e.$) de plántulas de *Conzattia multiflora* expuestas a dos niveles de radiación y tres frecuencias de riego (AM: radiación alta, riego muy frecuente; AF: radiación alta, riego frecuente; AE: radiación alta, riego esporádico; BM: radiación baja, riego muy frecuente; BF: radiación baja, riego frecuente; BE: radiación baja, riego esporádico, N = 108).

En cuanto a las tasas de crecimiento en altura, sólo se encontraron diferencias debidas a la frecuencia de riego en condiciones de sombra parcial, que presentaron el mismo patrón que la altura final, i. e. el menor valor se obtuvo en condiciones de riego esporádico.

La tasa de asimilación neta (TAN) fue mayor (en promedio 160%) en condiciones de alta radiación que en sombra parcial. En general, esta variable tuvo valores mayores cuando las disponibilidades de luz y de agua fueron altas. Tal como se esperaba, la tasa de asimilación fue menor cuando ambas condiciones fueron limitantes (Figura 11).

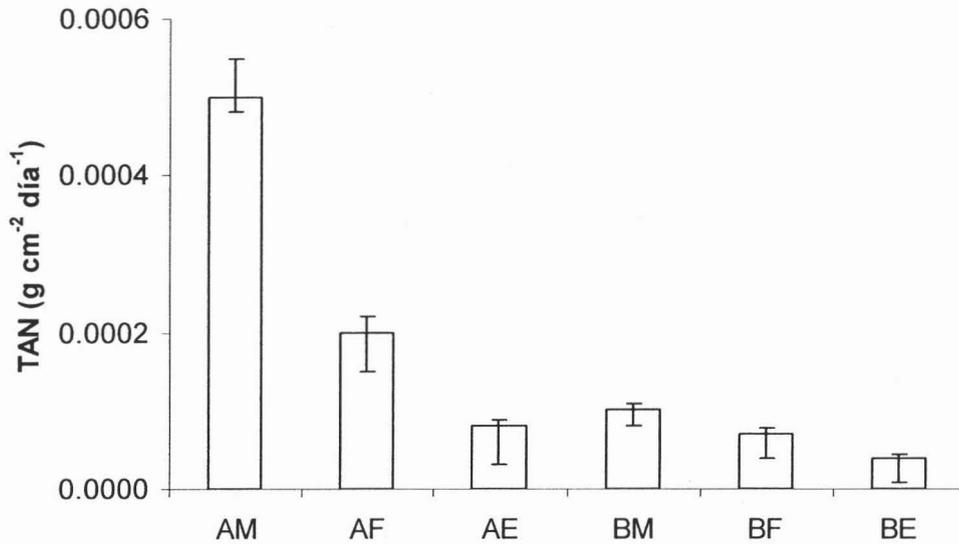


Figura 11. Tasa de asimilación neta ($\bar{x} \pm e. e.$) de plántulas de *Conzattia multiflora* expuestas a dos niveles de radiación y tres frecuencias de riego (AM: radiación alta, riego muy frecuente; AF: radiación alta, riego frecuente; AE: radiación alta, riego esporádico; BM: radiación baja, riego muy frecuente; BF: radiación baja, riego frecuente; BE: radiación baja, riego esporádico, N = 108).

En cuanto a las mediciones de la tasa asimilación de CO₂ y de potencial hídrico, se observó una relación positiva entre la frecuencia de riego y los valores registrados. La tasa de asimilación de CO₂ presentó valores más altos en riego muy frecuente y los más bajos en riego esporádico, independientemente de la radiación (Tabla 11). El potencial hídrico tuvo el mismo comportamiento, aunque el tratamiento de riego muy frecuente y radiación baja no presentó un valor alto, sino intermedio (Tabla 11). Es probable que los valores de la tasa asimilación de CO₂ hayan sido negativos debido a que las mediciones se realizaron antes de regar las plantas y por la hora del día (12 h).

Tabla 11. Asimilación de CO₂ y potencial hídrico de plántulas de *Conzattia multiflora* expuestas a dos niveles de radiación y tres frecuencias de riego (AM: radiación alta, riego muy frecuente; AF: radiación alta, riego frecuente; AE: radiación alta, riego esporádico; BM: radiación baja, riego muy frecuente; BF: radiación baja, riego frecuente; BE: radiación baja, riego esporádico).

| Tratamiento | Potencial hídrico (MPa) | Asimilación de CO ₂ (g cm ⁻² día ⁻¹) |
|-------------|-------------------------|--|
| AM | -6.25 | 0.25 |
| AF | -6.75 | -1.25 |
| AE | -11.5 | -2.58 |
| BM | -7.75 | -0.13 |
| BF | -9.25 | -1.05 |
| BE | -11.5 | -1.75 |

Capítulo V. Discusión

V. 1. Germinación

La presencia de latencia en las semillas está asociada especialmente a ambientes impredecibles y climas con patrones de lluvia variables, como los que se presentan en bosques estacionalmente secos (Khurana y Singh 2001, 2004). En contraste con el bosque tropical lluvioso, en donde 62% de las especies producen semillas sin latencia, 76% de las especies del bosque tropical seco producen semillas latentes (Baskin y Baskin 1998). En estas últimas predomina la latencia física (i. e. de testa), que se presenta en más de dos terceras partes de los casos, mientras que en el resto se presenta una latencia fisiológica (Khurana y Singh 2001). En el caso de las leguminosas, el tipo de latencia física más común es la latencia impuesta por la testa (Smith *et al.* 2002). Para romperla bajo condiciones experimentales, se han utilizado diversos tratamientos, aunque el remojo (preferentemente en agua caliente) y las escarificaciones mecánica y ácida resultan en una mayor germinación y son los más ampliamente usados (Cervantes *et al.* 2001, Cervantes Sánchez y Sotelo Boyás 2002).

El ensayo de germinación realizado con *Conzattia multiflora*, aunque limitado por el número de semillas disponibles, mostró una gran variabilidad en las respuestas a los tratamientos pre-germinativos (0–100%) (Figura 4). Los porcentajes más altos se alcanzaron en el tratamiento térmico (inmersión en agua caliente y luego fría) y en el corte del extremo distal de la testa seguido de un remojo en agua. En el segundo caso se rompió directamente la testa y es probable que en el primero ésta se haya fracturado, lo que

permitió la activación de los procesos enzimáticos y la movilización de las reservas que preceden a la germinación. De los resultados obtenidos se puede inferir que para lograr altos porcentajes de germinación, el mejor tratamiento pre-germinativo consiste en cortar el extremo distal de la testa y colocar las semillas en condiciones de alta humedad. Es probable que la baja germinación en el tratamiento de escarificación ácida se haya debido a que las semillas se mantuvieron durante un tiempo demasiado prolongado en la solución ácida, lo que pudo haber dañado al embrión. Sin embargo, para corroborar estos resultados es necesario llevar a cabo experimentos más detallados.

A pesar de que en el laboratorio se lograron altos porcentajes de germinación, en el campo no fue así. Los bajos porcentajes de germinación de las semillas enterradas en los dos sitios de estudio se podrían explicar por la latencia de la testa. La mayoría de las semillas de especies del bosque tropical seco se dispersan durante el verano; la especie de estudio fructifica entre julio y agosto, durante la temporada de lluvias, pero es probable que las semillas permanezcan en el suelo durante todo un año hasta la siguiente temporada de lluvias (observación personal) y que durante este periodo experimenten cambios fuertes de temperatura que fracturen la testa y permitan su germinación en la siguiente temporada de lluvias. La germinación de algunas semillas un año después de haberlas enterrado en las exclusiones muestra su capacidad de permanecer viables por un periodo de al menos un año.

En comparación con los resultados del tratamiento control (ensayo de laboratorio), en el cual se alcanzó 30% de germinación, en el campo la germinación promedio fue de 7%, pero la mayor (aprox. 16%) se presentó en condiciones de mayor exposición a la

radiación solar, lo que apoyaría la hipótesis de que los cambios de temperatura favorecen la ruptura de la testa y la germinación de las semillas de esta especie. Es probable que las diferencias en el clima entre los dos sitios experimentales y, sobre todo, en tipo y las condiciones del suelo también influyeran, dado que el análisis de varianza mostró un efecto significativo del sitio (Tabla 2) y los sitios elegidos difieren tanto en variables climáticas como en tipo de suelo, entre otros factores. En Xochicalco el clima es ligeramente más cálido que Cuentepec (temperatura media anual de 22.9 y 21.6°C, respectivamente) y el suelo es derivado de rocas calizas (Rendzina) en el primero, mientras que en Cuentepec es un Feozem háplico, derivado de rocas ígneas (CETENAL 1976). Este último sitio es un pastizal abandonado, que presenta un suelo compactado y alto grado de erosión; la ausencia de vegetación arbórea determina que no tenga hojarasca, mientras que el sitio de Xochicalco es un acahual abandonado con abundante regeneración arbórea. De esa forma, las condiciones en Xochicalco fueron más favorables que en Cuentepec para la germinación de las semillas.

V. 2. Establecimiento, supervivencia y crecimiento de plántulas en condiciones naturales

De acuerdo con Harper (1977), para que el reclutamiento de las plantas se lleve a cabo es necesario que se reúnan una serie de condiciones ambientales que proporcionen un “sitio seguro” para establecerse y crecer. Diferentes micrositos varían en disponibilidad de recursos, es decir: agua, luz y nutrientes, y en factores bióticos como la abundancia de depredadores, patógenos y competidores, lo que se refleja en el éxito de la germinación, el establecimiento y en la supervivencia diferencial de las plántulas (Schupp 1995).

Al analizar el establecimiento inicial de las plántulas trasplantadas de *C. multiflora* se observó una mortalidad ligeramente mayor en sitios abiertos que bajo sombra de las plantas nodriza en ambos sitios de trabajo (Figura 5). Esto es un indicio de que los sitios con sombra pueden favorecer el establecimiento de esta especie, como se ha reportado en otras especies (Bonfil y Soberón 1999, Bonfil *et al.* 2000, Flores Rivas 2001, Jiménez Lobato 2003, Rodríguez de la Vega 2003, Piña Poujol 2003), al menos durante el periodo en que las plántulas son muy jóvenes, y por lo tanto, muy vulnerables. Sin embargo, durante el resto del periodo de estudio, se observó una supervivencia ligeramente mayor bajo nodrizas sólo en Xochicalco (Figura 6), y debido a la alta mortalidad no fue posible evaluar su efecto posteriormente, en particular durante la temporada seca, cuando la presencia de nodrizas puede ser más relevante. En los bosques estacionales, los sitios abiertos y sombreados no sólo difieren en cuanto a la intensidad de radiación y su composición espectral, sino también en temperatura, humedad del suelo, tasas de descomposición de hojarasca y presencia de competidores (Rincón y Huante 1993).

La depredación por mamíferos pequeños fue la principal causa de mortalidad de las plántulas de la especie de estudio, ya que se concentró en la temporada seca, cuando no había otros recursos disponibles para estos animales. Un problema al que frecuentemente se enfrentan los proyectos de restauración y reforestación es la baja supervivencia de las plántulas trasplantadas y las condiciones altamente limitantes para el crecimiento en las que deben vivir (Poschen 1986). La herbivoría puede ser particularmente importante en este contexto, ya que se ha observado un alto consumo por roedores e insectos en diversos sitios, lo que limita tanto la regeneración natural como la asistida (Hume 1994, Nepstad 1996). Los resultados de este trabajo muestran que probablemente deban establecerse exclusiones

de roedores, al menos durante la temporada seca, para lograr el establecimiento y la supervivencia de plántulas de ésta y otras especies en el sitio de estudio.

El crecimiento de las plántulas durante el periodo evaluado (cuatro meses) fue limitado. La altura y el diámetro se incrementaron en promedio sólo 0.5 cm y 0.08 cm respectivamente. Sin embargo, el crecimiento fue significativamente mayor en Xochicalco que en Cuentepec. Una posible explicación de estos resultados es que el sitio de Xochicalco tenía un mayor desarrollo de la vegetación, por lo que probablemente el suelo presenta más materia orgánica; además por tratarse de un suelo menos arcilloso que el de Cuentepec, tiene una mejor infiltración del agua. La parcela de Cuentepec parece tener un menor contenido de materia orgánica (observación personal), el suelo es poco profundo y mucho más compacto. Por otro lado, la ausencia de un efecto significativo de las nodrizas en el crecimiento inicial de las plántulas indica que esta especie tiene la capacidad de crecer de manera similar tanto bajo radiación directa como bajo sombra parcial una vez que logra establecerse y sobrevivir las primeras etapas de alta fragilidad al menos durante la temporada de lluvias.

Con el objeto de poder utilizar a esta especie en la restauración sería deseable introducir plántulas de mayor tamaño para así poder incrementar su supervivencia. En otros estudios se ha mostrado que al aumentar la edad y/o el tamaño de las plantas trasplantadas aumenta la supervivencia (Bonfil *et al.* 2000, Blanco García 2005, Thompson 1985), aunque en otros (Piña Poujul 2003), el tamaño de las plántulas no tuvo efecto importante.

V. 3. Análisis de crecimiento en condiciones controladas

Conzattia multiflora es considerada una especie característica de selvas conservadas y, por lo tanto, es probable que se establezca en etapas tardías de la sucesión (Martínez *et al.* datos no publicados). Los estudios que han analizado el crecimiento de plántulas de diferentes etapas sucesionales han encontrado un comportamiento común entre las especies sucesionalmente tempranas. Éstas suelen mostrar tasas de crecimiento altas y una gran plasticidad, lo que les permite ajustar su crecimiento y la asignación de biomasa en respuesta a cambios en la disponibilidad de recursos. Las especies de lento crecimiento, que dominan en etapas más avanzadas de la sucesión, suelen ser mucho menos plásticas y responder de forma moderada a cambios en la disponibilidad de recursos (Khurana y Singh 2004, Rincón y Huante 1993, 1994, 1995, 1998).

El análisis de crecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* en condiciones controladas puede brindar información relevante sobre la plasticidad en el crecimiento y la asignación de biomasa de esta especie en respuesta a dos variables que han probado ser determinantes del desempeño de plántulas en selvas bajas: la disponibilidad de agua y el ambiente lumínico (Huanté y Rincón 1993, 1998, Ceccon *et al.* 2003). Asimismo, permite hacer una evaluación inicial de qué tan tolerantes son las plántulas a condiciones de exceso o déficit temporal de agua, que suelen ser frecuentes en la zona de estudio. En la mayoría de las zonas de SBC se presentan periodos de varios meses sin lluvias, en los que las plántulas deben enfrentar un fuerte déficit hídrico, pero en Cuentepec es, además, frecuente que se presente anegamiento del suelo en algunos sitios durante la temporada de lluvias, lo que representa un desafío adicional para el establecimiento de especies arbóreas, sobre todo en los sitios más planos y con suelos más profundos.

A pesar de que no fue posible analizar estadísticamente las interacciones entre los factores experimentales (radiación y riego) por medio de ANOVAS de dos vías y estrictamente hablando tampoco el factor de radiación, debido a que en el diseño experimental empleado no se contó con réplicas verdaderas de los tratamientos de radiación (puesto éste estuvo anidado en el factor “mesa” y sólo se tenía una mesa con radiación 100% y una cubierta por una malla de sombra), se obtuvieron resultados que sugieren que, en general, las diversas variables de crecimiento resultaron afectadas tanto por cambios en la disponibilidad de luz como por la frecuencia de riego. El efecto de los diferentes niveles de radiación lumínica fue patente en casi todas las variables analizadas, excepto en el cociente raíz-vástago, el número de hojas y las tasas absoluta y relativa de crecimiento en altura (Tabla 8). Por otro lado, las diferencias debidas a la frecuencia de riego fueron significativas en 14 de 19 variables evaluadas en ambas condiciones de radiación.

Al analizar cada variable por separado, se observó que tanto la biomasa final total como todos sus componentes (hojas, tallo y raíz) presentaron incrementos importantes en condiciones de radiación alta respecto a los valores obtenidos en radiación baja, lo que se reflejó en mayores tasas de crecimiento en biomasa, tal como se ha mostrado en gran cantidad de estudios (Augspurger 1984, Rincó y Huante 1993, Cervantes *et al.* 1998, Huante *et al.* 1998, Walter *et al.* 2002, Bloor 2003). Este mayor crecimiento muy probablemente fue resultado de varios factores, como una mayor tasa de asimilación neta, que también fue significativamente mayor en condiciones de radiación total. Por otro lado, los valores de AFE y RAF sugieren un aumento en la superficie de las hojas en respuesta a una reducción en la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis, patrón que ha sido reportado ampliamente en la literatura (Percy *et al.* 1989, Lambers *et al.* 1998, Bloor

2003, Fownes y Harrington 2004), incluyendo diversas especies de selva baja, entre ellas algunas leguminosas (Huante y Rincón 1993, Cervantes *et al.* 1998).

Los cambios en el cociente de esbeltez indican que las plántulas que crecieron en radiación baja tendieron a crecer más en altura y las de radiación alta más en diámetro. Mediante un aumento relativo en la altura, las plántulas probablemente aumentan la captura de luz (Ngulube 1989, Cervantes *et al.* 1998); el fenómeno de adelgazamiento de los tallos asociado a un incremento en la altura es conocido como etiolación, y es común en plántulas que crecen en sombra parcial. La etiolación puede provocar una mayor fragilidad, ya que disminuye la fuerza del sostén principal de la planta. Aunque en los proyectos de reforestación y restauración la altura es un criterio empleado comúnmente para decidir cuándo las plántulas pueden ser trasplantadas a los sitios a reforestar (Cervantes *et al.* 1998, Martínez Ovando 2002), en general, en la literatura forestal es considerado que el diámetro un mejor indicador del vigor de una plántula, aunque no puede usarse un sólo criterio en todos los casos, ya que la medida real de la calidad de las plántulas es su supervivencia en el campo (Thompson 1985, Landis *et al.* 1998).

El crecimiento se vio afectado por la frecuencia de riego en ambas condiciones lumínicas. Aunque se esperaba una reducción en el crecimiento en condiciones de exceso de agua (riego muy frecuente), los resultados mostraron que, en general, hubo pocas diferencias entre las plántulas que crecieron en riego muy frecuente y frecuente (Tablas 9 y 10). Las variables más directamente relacionadas con el crecimiento, es decir las tasas de crecimiento (relativo y absoluto) en biomasa, no difirieron entre las condiciones de riego muy frecuente y frecuente, y la biomasa final fue incluso mayor en condiciones de riego

muy frecuente que en el tratamiento de riego frecuente cuando la radiación fue alta (Tabla 9). Estos resultados parecen indicar que el riego muy frecuente resultó ligeramente benéfico (en términos de acumulación de biomasa) en condiciones de alta radiación, mientras que en condiciones de sombra parcial no se presentó esta respuesta. Los resultados pueden interpretarse en como un indicio de que las plántulas de esta especie toleran bien un exceso de agua en el suelo por periodos de varios meses. Por lo general, un exceso de agua tiene un efecto negativo en las variables de crecimiento, ya que ocasiona la formación de raíces superficiales, ocasiona asfixia radicular y pudrición de las raíces por ataque de hongos. Se ha reportado que en este caso es común que la biomasa total, la altura, el diámetro y el área foliar se reduzcan, se presente clorosis de las hojas, caída de las mismas y desecación apical (Mc Keizie 1951, Peacock y Smith 1992, Cregg 1994, Mooney y Winner 1991, Lambers *et al.* 1998, Paz *et al.* 2003).

En *C. multiflora* no se presentaron estas respuestas, aunque los valores de algunas variables se redujeron bajo riego muy frecuente. Éstas fueron el área foliar específica (AFE), la relación de área foliar (RAF), la relación de biomasa foliar (RBF), la altura y el coeficiente de esbeltez (CE) en condiciones de radiación alta (Tabla 9), y bajo sombra parcial este mismo patrón se presentó en RAF, RBF y CE. En resumen, las variables relacionadas con la calidad de las hojas fueron las más afectadas por el exceso de agua en ambas condiciones lumínicas.

Por el contrario, las diferencias entre riego muy frecuente o frecuente por un lado y esporádico por el otro, fueron muy marcadas en ambas condiciones de radiación. Tanto la biomasa total, la de hojas y tallo como el área foliar, el diámetro y las tasas de crecimiento

absoluto y relativo en biomasa aumentaron significativamente en relación con los valores registrados bajo riego esporádico. En diversos análisis de crecimiento de plántulas de especies de selvas bajas, que incluyen leguminosas, se han encontrado valores menores a 1 en el cociente R/V, así como una mayor asignación de biomasa a la raíz en condiciones de alta radiación lumínica que en condiciones de baja radiación (Rincón y Huante 1993, Martínez Ovando 2002). Aunque en el presente trabajo se presentó la misma tendencia, las diferencias en el cociente raíz-vástago asociadas a la variación en radiación fueron sólo marginalmente significativas (Tabla 8). Es posible que el mayor crecimiento de plántulas registrado en radiación alta se deba en parte a la mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes de una raíz más desarrollada. Diversos estudios muestran que las plantas que crecen en intensidades lumínicas bajas tienden a asignar más biomasa a hojas que a raíz, lo cual implica un valor de R/V menor y valores elevados de LWR (Lambers *et al.* 1998, Perkins *et al.* 2003).

El efecto de las variaciones en la disponibilidad de agua en el crecimiento de las raíces de *C. multiflora* no fue similar al que se ha reportado en una amplia variedad de especies, las cuales muestran un incremento relativo en la biomasa radicular (y por lo tanto, en el cociente raíz-vástago) cuando se presenta una baja disponibilidad de agua (Cregg 1994, Acosta-Díaz *et al.* 1998, Paz *et al.* 2003), lo que les permite explorar un mayor volumen de suelo y captar agua. Es posible que este resultado se deba a una baja plasticidad de la especie en la asignación a raíces y parte aérea. Sin embargo, no puede descartarse que las condiciones en que crecieron las plántulas hayan influido en el resultado obtenido, ya que se observó que el sustrato se endurecía con facilidad, en especial cuando estaba seco, lo

que podría haber dificultado el crecimiento de las raíces en condiciones de riego esporádico y facilitarlos cuando el riego era adecuado. Otro resultado sorprendente fue que los valores promedio del cociente de área foliar aumentaron en el tratamiento de riego esporádico, ya que de acuerdo con los resultados de otros trabajos, se esperaba que el área foliar disminuyera en términos relativos ante condiciones de estrés hídrico, lo que se traduce en una reducción de la superficie de transpiración. Esto podría indicar que el nivel de estrés hídrico al que fueron sometidas las plántulas no fue muy grande respecto al que enfrentan en condiciones naturales.

Los resultados de las mediciones del potencial hídrico de las plántulas y de la asimilación de CO_2 (Tabla 11) están estrechamente asociados con los resultados obtenidos en las tasas de crecimiento y la biomasa final total, y muestran que a menor disponibilidad de agua en el suelo (en los tratamientos de riego esporádico), fue mayor la tensión del agua en la planta, es decir, el potencial hídrico disminuyó. La asimilación de bióxido de carbono, que es un indicador de las tasas fotosintéticas, presentó el mismo patrón. Es muy probable, entonces, que la baja disponibilidad de agua se tradujera en una reducción del crecimiento celular. Se ha reportado que el menor crecimiento celular asociado a una baja disponibilidad de agua repercute en la biomasa de tallo, hojas y raíces, por lo que las tasas de crecimiento disminuyen y las plantas, en general, son más pequeñas (Hsiao 1973). Sin embargo, ambas variables (potencial hídrico y asimilación de CO_2) fueron evaluadas sólo puntualmente, por lo que no fue posible establecer la magnitud y significancia de las diferencias entre tratamientos a lo largo del periodo de estudio.

No puede realizarse directamente una comparación directa de las tasas de crecimiento obtenidas en el presente estudio con las que se reportan en otros trabajos, ya que en la mayoría de ellos se analiza el crecimiento inicial, es decir, a partir del momento de la germinación y durante un periodo promedio entre tres y cinco meses. Sin embargo, el presente estudio se inició casi cuatro meses después de la germinación, por lo que los resultados se refieren a una etapa posterior. Las tasas de crecimiento suelen ser más altas poco después de la germinación y disminuyen conforme aumenta el tamaño de las plántulas (Huante y Rincón 1993, Walters *et al.* 1993, Lambers *et al.* 1998, Martínez 2002). Sin embargo, una comparación muy general con las tasas de crecimiento reportadas para otras especies de leguminosas de SBC (Tabla 12) parece indicar que *C. multiflora* podría considerarse más bien como una leguminosa de crecimiento intermedio o lento.

Tabla 12. Tasas de crecimiento de diversas especies de leguminosas de Selvas Bajas Caducifolias de México.

| <i>Especie</i> | <i>RGR</i> ($g\ g^{-1}\ d^{-1}$) | <i>Tiempo del estudio (días)</i> | <i>Cita</i> |
|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| <i>Pithecellobium dulce</i> | - 0.006 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Acacia pennulata</i> | 0.007 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Leucaena esculanta</i> | 0.009 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Conzattia multiflora</i> | 0.016-0.005 | 116 | Presente estudio |
| <i>Prosopis juliflora</i> | 0.020 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Acacia colchiacantha</i> | 0.023 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Lysiloma acapulcensis</i> | 0.032 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Leucaena macrophylla</i> | 0.034 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Acacia farnesiana</i> | 0.037 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 0.037 | 104 | Huante y Rincón 1998 |
| <i>C. platibola</i> | 0.039 | 104 | Huante y Rincón 1998 |
| <i>Apoplanesia paniculada</i> | 0.060 | 104 | Huante y Rincón 1998 |
| <i>Lysiloma divaricata</i> | 0.060 | 165 | Cervantes <i>et al.</i> 1998 |
| <i>Abarrida acatlensis</i> | 0.072 | 168 | Martínez Ovando 2002 |
| <i>Lysiloma tergeminum</i> | 0.073 | 168 | Martínez Ovando 2002 |
| <i>Acacia macilenta</i> | 0.074 | 168 | Martínez Ovando 2002 |
| <i>Mimosa benthamii</i> | 0.093 | 168 | Martínez Ovando 2002 |

Las especies de rápido crecimiento muestran una alta producción de biomasa y altas tasas de fotosíntesis y respiración en comparación con las de crecimiento lento. Además, responden más drásticamente a los cambios del ambiente, es decir que crecen y se desarrollan rápidamente en condiciones óptimas, pero reducen su eficiencia en condiciones menos favorables (Lambers *et al.* 1998). Huante y Rincón (1998) obtuvieron en tres especies de rápido crecimiento (*Ipomoea wolcottiana*, *Heliocarpus pallidus* y

Cochlospermum vitifolium) un valor promedio de la tasa de crecimiento relativo de $0.096 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en condiciones de radiación alta (70%) y de $0.069 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en radiación baja (20%). Las plántulas de crecimiento intermedio, que incluyeron dos especies de leguminosas (*Caesalpinia platybola* y *Apoplanesia paniculata*), alcanzaron valores promedio de $0.052 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y $0.043 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en radiación alta y baja respectivamente y las de crecimiento lento (*Celaenodendron mexicanum* y *Trichifolia trifolia*) tuvieron valores promedio de $0.031 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y de $0.021 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ al cabo de tres meses en las mismas condiciones. En el caso de *C. multiflora*, la diferencia entre la RGR de plántulas en condiciones de alta (0.012) y baja radiación ($0.008 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) fue relativamente menor, lo que muestra que sus variables de crecimiento responden en forma moderada a las diferencias en las condiciones lumínicas.

Un factor adicional que pudo influir en las tasas de crecimiento registradas es la época en la que se realizó el experimento. Aunque originalmente se planteó llevarlo a cabo en verano, en dos intentos previos las plántulas fueron atacadas por una plaga (homóptero), por lo que debieron desecharse y germinar nuevamente las semillas en un vivero externo, para transportar posteriormente las plántulas al invernadero de la Facultad de Ciencias. Esto causó que se realizara a finales de año, cuando las plantas normalmente pierden las hojas y entran en un periodo de reposo en condiciones naturales (observación personal). Aunque las condiciones del invernadero permitieron el crecimiento y no se produjo la caída de hojas ni se observaron signos de reposo, es posible que la temperatura estuviera por debajo de la óptima para el crecimiento de la especie (los intervalos de temperatura máxima y mínima registrados en el invernadero en este periodo fueron 4 y 31°C respectivamente).

Capítulo VI. Conclusiones

- Las semillas de *C. multiflora* presentan mayores porcentajes de germinación cuando se aplica un tratamiento pre-germinativo térmico-húmedo o un corte del extremo distal de la testa seguido por un remojo en agua. Por ello, en caso de introducir semillas al campo se recomienda que previamente se escarifiquen y se protejan de la depredación con una malla metálica y la aplicación de un insecticida.
- El sitio afectó significativamente la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas de *C. multiflora*. Ambos fueron mayores en Xochicalco que en Cuentepec; sin embargo, debido a que existen diferencias en el clima, el tipo de suelo y el estadio sucesional de ambos sitios, es difícil establecer la contribución relativa de estos factores a los resultados obtenidos.
- Las plantas nodriza no tuvieron un efecto significativo en el crecimiento de las plántulas hasta el séptimo mes posterior al transplante.
- El establecimiento de plántulas de esta especie en sitios alterados se ve restringida fuertemente por la depredación, que es muy aguda durante la temporada seca.
- Los análisis de crecimiento en invernadero mostraron que las plántulas de *C. multiflora* incrementan su tasa de crecimiento y, por lo tanto, presentan mayor biomasa, en condiciones de alta radiación lumínica, pero son capaces de crecer en diferentes ambientes lumínicos, incluida una sombra parcial que deje pasar 50% de la radiación solar.

- La mayoría de las variables de crecimiento no difirieron significativamente entre condiciones de riego muy frecuente y frecuente, lo que indica que las plántulas toleran el exceso de agua. Por el contrario, se presentaron valores significativamente menores de todas las variables de crecimiento en respuesta a la reducción en la frecuencia de riego, aunque no se presentaron síntomas de daño o mortalidad por déficit hídrico. La frecuencia de riego *per se* resultó en una mayor reducción en el crecimiento que la sombra parcial.
- Se recomienda usar plántulas de mayor edad y tamaño (aproximadamente cuatro meses de edad), para su introducción en sitios perturbados de SBC. Es también necesario excluir a los mamíferos pequeños para incrementar la supervivencia de las plántulas.
- *Conzattia multiflora* es una especie útil para la restauración, que tolera bien diferentes condiciones de luz y disponibilidad de agua.

Capítulo VII. Literatura citada

- Acosta-Díaz, E., Padilla-Ramírez, S., López-Salinas, E., Salinas-Pérez, R. A., Mayek-Pérez, N. y Nelly, J. D. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 41: 151-152
- Ashton, P. M. S., Samarasinghe, S. J., Gunatilleke, I. A. U. N. y Gunatilleke, C. V. S. 1997. Role of legumes in release of sucesionally arrested grassland in the central hills of Sri Lanka. Restoration Ecology 5: 36-43
- Augspurger, C. K. 1984. Light requirements of neotropical tree seedlings: a comparative study of growth and survival. Journal of Ecology 72: 777-795
- Bakker, J. P., Poschlod, P., Strykstra, R. J., Bekker R. M. y Thomson, K. 1996. Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. Acta Botanica Neerlandica 45: 461-490
- Baskin, C. C. y Baskin, J. M. 1998. Seeds. Academic Press, Londres
- Bazzaz, F. A. y Harper, J. L. 1977. Demographic analysis of the growth of *Linus usitatissimum*. New Phytologist 78:193-207
- Blanco García, J. A. 2005. Efecto del esfuerzo de restauración de la vegetación nativa aledaña al volcán Paricutín, Michoacán, México. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Bloor, J. M. G. 2003. Light responses of shade-tolerant tropical tree species in north-east Queensland: a comparison of forest- and shadehouse-grown seedlings. Journal of Tropical Ecology 19: 163-170

- Bonfil, C. y Soberón, J. 1999. *Quercus rugosa* seedling dynamics as related to its re-introduction in a disturbed Mexican landscape. *Applied Vegetation Science* 2: 189-200
- Bonfil, C., Rodríguez de la Vega, H. y Peña Ramírez, V. 2000. Evaluación del efecto de las plantas nodrizas en el establecimiento de una plantación de *Quercus* L. *Ciencia Forestal en México* 25: 59-74
- Bradshaw, A. D. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20: 1-17
- Bradshaw, A. D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Planning* 11: 35-48
- Bradshaw, A. D. 1987. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. En: Jordan III, W. R., Gilpin, M. E. y Aber, J. D. (Eds.) *Restoration ecology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Brown, S. y Lugo, A. E. 1980. Preliminary estimate of the storage of organic carbon in the tropical ecosystems. En: Brown, S. H., Lugo, A. E. y Liegel, B. (Eds.) *Carbon Dioxide effects research and assessment program: The role of tropical forests on the world carbon cycles*. Center for Wetlands. University of Florida, Gainesville
- Bullock, S. y Solís-Magallanes, J. A. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 22: 22-35
- Buschbacher, R. B., Uhl, C. y Serrão E. A. S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *Journal of Ecology* 76: 682-699

- Bye, R. 1995. Ethnobotany of the Mexican tropical dry forests. En: Bullock, S. H., Mooney, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Camacho Rico, F. 2004. Estructura y composición de la vegetación del fondo de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Camargo-Ricalde, S. L. y Grether, R. 1998. Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (Leguminosae) en México. Revista de Biología Tropical 46: 543-554
- Ceballos, G. 1995. Vertebrate Diversity, ecology and conversion in neotropical dry forests. En: Bullock, S. H., Money, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Ceballos, G. y Miranda, A. 1986. Los mamíferos de Chamela, Jalisco; manual de campo. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Ceccon, E., Huante, P. y Campo, J. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedling of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatan, Mexico. Forest Ecology and Management 182: 387-402
- Cervantes, V., Arriaga, V. y Carabias, J. 1996. La problemática socioambiental e institucional de la Región de la Montaña, Guerrero, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 59: 67-80
- Cervantes, V., Arriaga V., Meave J. y Carabias, J. 1998. Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico. Forest Ecology and Management 110: 329-341

- Cervantes, V., López Gonzáles, M., Salas Nava, N. y Hernández Cárdenas, G. 2001. Técnicas para propagar especie nativas de selvas bajas caducifolias y criterios para establecer áreas de reforestación. Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Cervantes Sánchez, M. A. y Sotelo Boyás M.E. 2002. Guías técnicas para la propagación sexual de diez especies latifoliadas de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos. Edición especial: 30. INIFAP-SAGARPA, México. D. F.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1976. Carta de uso de suelo y vegetación. 1:50.000 Cuernavaca y Tenancingo. México, D. F.
- Chapin III, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. U., Lavorel, S., Sala, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C. y Díaz, S. 2002. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234-242
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1999. Formato online: http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_05_Forestales/data_forestales/CuadroIII.5.4.13_a.htm
- Cregg, B. M. 1994. Carbon allocation, gas exchange, and needle morphology of *Pinus ponderosa* genotypes known to differ in growth and survival under imposed drought. *Tree Physiology* 14: 883-898
- Cuevas, E. 1995. Biology of the belowground system of tropical dry forests. En: Bullock, S. H., Money, H. A. y Medina, E. (Eds.) *Seasonally dry tropical forest*. Cambridge University Press, Cambridge
- Daily, G. C., Matson, P. A. y Vitousek, P. M. 1997. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2: 1-16

- D'Aubeterre, R., Principal, J. y García J. 2002. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. *Revista Científica* 7: 575 – 577
- Evans, G. C. 1972. *The quantitative analysis of plant growth*. Blackwell Scientific Publications, Oxford
- Flores, O. y Gerez, P. 1994. *Conservación en México. Síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso de suelo*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Conservación Internacional, México D. F.
- Flores Rivas, J. D. 2001. *Dinámica del establecimiento de plantas de diferentes formas de vida del Desierto de Tehuacán, México*. Tesis. Instituto de Ecología, A. C., Jalapa, México
- Fownes, J. H. y Harrington, R. A. 2004. Seedling response to gaps: separating effects of light and nitrogen. *Forest Ecology and Management* (sin publicar)
- García-Oliva, F., Cesar, I., Morales P. y Maass J. M. 1994. Forest to pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. *Oecologia* 99: 392-396
- Garwood, N. C. 1989. Tropical seed banks: A review. En: Leck, M. A., Parker, V. T. y Simpson, R. L. (Eds.) *Ecology of soil seed banks*. Academic Press, Nueva York
- Gentry, A. H. 1982. Neotropical floristic diversity: Phytogeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the Andean orogeny. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 69: 557-593
- Gregory, P. J. e Ingram, J. S. I. 2000. Food and forestry: global change and global challenges – Preface. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 1-2

- González Díaz, G. 2002. Restauración de la Selva Baja Caducifolia en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco: Un enfoque experimental usando comunidades sintéticas. Tesis. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Grime, J. P. y Campell, B. D. 1991. Growth rate, habitat productivity and plant strategies as predictors of stress response. En: Mooney, H. A., Winner, W. E. y Pell, E. J. (Eds.) Response of plants to multiple stresses. Academic Press, Nueva York
- Guizar Nolazco, E. y Sánchez Vélez, A. 1991. Guía para el reconocimiento de los principales árboles del Alto Balsas. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo
- Harper, J. L. 1977. Population biology of plants. Academic Press, Londres
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology 24: 519-570
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Centre, San José, Costa Rica
- Huante, P. y Rincón, E. 1998. Responses to light changes in tropical woody seedlings with contrasting growth rates. Oecologia 113: 53-66
- Huante, P., Rincón, E. y Acosta, I. 1995. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. Functional Ecology 9: 849-858
- Hume, P. E. 1994. Seedling herbivory in grasslands – relative impact of vertebrate and invertebrate herbivores. Journal of Ecology 82: 873-880
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold, Londres
- Jackson, L. L., Lopoukine, L. y Hillyard, D. 1995. Commentary Ecological Restoration: A Definition and Comments. Restoration Ecology 3 (2): 71-75

- Janzen, D. H. 1988. Tropical dry forests: the most endangered major system. En: Wilson, E. O. y Peter, F. M. (Eds.) Biodiversity. National Academic Press, Washington D. C.
- Jaramillo, V. y Sanford, R. 1995. Nutrient cycling in a tropical deciduous forest. En: Bullock, S. H., Money, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Jiménez Lobato, V. 2003. Dinámica poblacional de *Acacia bilimekii* Macbr. (Mimosoideae) en Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Johnson, N. C. y Wedin, D. A. 1997. Soil carbon, nutrients and mycorrhizae during the conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecological Applications* 7: 171-182
- Koeppen, W. 1948. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. En: García, A. E. (Ed.) Offset Larios, México D. F.
- Khurana, E. y Singh, J. S. 2001. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forests: A review. *Environmental Conservation* 28: 39-52
- Khurana, E. y Singh, J. S. 2004. Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to water stress: impact of seed size. *Journal of Tropical Ecology* 20: 385-396
- Lamb, D. y Gilmore, D. 2003. Rehabilitation and restoration of degraded forests. IUCN y WWF, Gland y Cambridge
- Lambers, H., Chapin III, F. S. y Pons, T. L. 1998. Plant physiological ecology. Springer Verlag, Nueva York

- Landis, T. D., Tinus, R. W. y Barnett, J. P. 1998. The container tree nursery manual. Vol. 6: Seedling propagation. USDA. Forest Service, Washington D.C.
- Lott, E. J. 1993. Annotated checklist of the vascular flora of Chamela Bay region, Jalisco, Mexico. California Academic Sciences, San Francisco
- Lugo, A. E. y Lowe, C. 1995. Tropical forests: their future and our future. En: Lugo, A. E. y Lowe, C. (Eds.) Tropical forests: management and ecology. Springer-Verlag, Nueva York
- Maass, J. 1995. Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture. En: Bullock, S. H., Money, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Marín Chávez, J. 1997. Composición y estructura de la vegetación y sus relaciones con el banco de semillas en tres sitios de la selva baja caducifolia de la península de Yucatán. Tesis. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida
- Martínez, E., Jiménez Ramírez, J. y Soto, J. 2005. Lista de plantas indicadoras de sitios conservados y perturbados de la reserva de la biosfera Sierra de Huautla. Elaborada por D. Valenzuela con base en la opinión de los botánicos Esteban Martínez, Jaime Jiménez y José C. Soto. Manuscrito sin publicar.
- Martínez Ovando, E. 2002. Crecimiento en vivero de cuatro especies nativas del bosque tropical seco del estado de Guerrero, México. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Martínez-Yrizar, A. y Sarukhán, J. 1990. Litterfall patterns in tropical deciduous forest in Mexico over a five-year period. *Journal of Tropical Ecology* 6: 433-444
- Mc Keizie, R. 1951. The hability of forage plants to survive easily spring flooding. *Science* 31: 358-363

- Mc Vaugh, R. y Anderson, W. R. (Gral. Eds.) 1987. Flora Novo-Galiciana. Vol. 5: Leguminosae. The University of Michigan Press, Michigan
- Medina, E. 1995. Diversity of life forms of plants in neotropical dry forests. En: Bullock, S. H., Money, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Milberg, P., Pérez-Fernández, M. A. y Lamont, B. B. 1998. Seedling growth response to added nutrients depends on seed size in three woody genera. *Journal of Ecology* 86: 624-632
- Mooney, H. A., Bullock, S. H. y Medina, E. 1995. Introduction. En: Bullock, S. H., Mooney, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Mooney, H. A. y Winner, W. E. 1991. Partitioning response of plant stress. En: Mooney, H. A., Winner, W. E. y Pell, E. J. (Eds.) Response of plants to multiple stresses. Academic Press, Nueva York
- Murphy, P. G. y Lugo, A. E. 1986. Dry forests of Central America and the Caribbean. En: Bullock, S. H., Mooney, H. A. y Medina, E. (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Nepstad, D. C., Uhl, C., Cassio, A. P. y Cardoso da Silva, J. M. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 76: 25-39
- Ngulube, M. 1989. Seed germination, seedling growth and biomass production of eight Central-American multipurpose trees under nursery conditions in Zomba, Malawi. *Forest Ecology and Management* 27: 21-27

- Ortega Baes, P., de Viana, M. L., Larenas, G. y Saravia, M. 2001. Germinación de semillas de *Caesalpinia paraguariensis* (Fabaceae): agentes escarificadores y efecto del ganado. *Revista de Biología Tropical* 49: 301-304
- Paz, V., Vera, A. y Páez, A. 2003. Distribución de biomasa de *Barleria lupulina* Lindl. en respuesta a tres regímenes de riego. *Revista de la Facultad de Agronomía* 20: 273-281
- Peacock, A. y Smith, F. T. 1992. Evaluation of pasture legumes on a seasonally flooded heavy clay soil in Southeast Queensland. *Australian Plant Introduction Review* 23: 20-31
- Pearcy, R. W., Ehrelinger, J., Mooney, H. A. y Rundel, P. W. 1989. *Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation*. Chapman & May, Londres
- Perkins, S. R. y Owens, M. K. 2003. Growth and biomass allocation of shrub and grass seedlings in response to predicted changes in precipitation seasonality. *Plant Ecology* 168: 107-120
- Pike, D. A. y Thomson, J. N. 1986. Statistical analysis of survival and removal rate experiments. *Ecology* 67: 240-245
- Piña Covarrubias, E. 2005. Análisis de la estructura y la composición de la Selva Baja Caducifolia con diferentes grados de conservación en la zona de Xochicalco, Morelos, México. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Piña Poujol, P. C. 2003. Propagación de *Echeveria liui* Moran y Meyran (Crassulaceae) con fines de conservación y reintroducción. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. D. F.

- Poschen, R. B. 1986. An evaluation of the *Acacia albida*-based agroforestry practices in the Hararghe highlands of Eastern Ethiopia. *Agroforestry Systems* 4: 129-143
- Rico-Gray, V. y García, J. G. 1992. Vegetation and soil seed bank of sucesional stages in tropical lowland deciduous forest. *Journal of Vegetation Science* 3: 617-624
- Rincón, E. y Huante, P. 1993. Growth responses of tropical deciduous tree seedlings to contrasting light conditions. *Trees, Structure and Function* 7: 202-207
- Rincón, E. y Huante, P. 1994. Influence of mineral nutrient availability on growth of tree seedlings from the tropical deciduous forest. *Trees* 9: 93-97
- Rincón, E. y Huante, P. 1995. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in México. *Functional Ecology* 9: 849-858
- Rodríguez de la Vega, H. 2003. Estructura poblacional y distribución espacial de *Senecio praecox* en el Ajusco Medio, D. F. Implicaciones para su reintroducción en sitios perturbados. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Ronaldo, P. de A. y J. E. Ferguson. 1992. La calidad de las semillas en el establecimiento de las pasturas. En: Lascano, C. y España, J. (Eds.) Establecimiento y renovación de pasturas. Sexta Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México D. F.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. Atlas Nacional de México, Sección Naturaleza. Hoja IV. 8.2, Vol. II. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.

- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana* 14: 3-21
- Sampaio, E. V. S. B. 1995. Overview of the Brazilian caatinga. En: Bullock, S. H., Mooney, H. A. y Medina, E. (Eds.) *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, Cambridge
- Saravia-Toledo, C. J. y del Castillo, E. M. 1988. Micro y macro tecnologías. Su impacto en el bosque chaqueño en los últimos cuarto siglos. En: *Actas del VI Congreso Forestal Argentino III*: 853-5. Talleres Gráficos el Liberal, Santiago del Estro
- Schupp, E. W. 1995. Seed-seedling conflicts, habitat choice and patterns of plant recruitment. *American Journal of Botany* 82: 399-402
- Skerman, P. J., Cameron, D. G. y Riveros, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma
- Skoglund, J. 1992. The role of seed banks in vegetation dynamics and restoration of tropical ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 3: 357-360
- Smith, M. T., Wang, B. S. P. y Msanga, H. P. 2002. Dormancy and germination. En: Bozo, J. A. (Ed.) *Tropical tree seed manual*. United States Department of Agriculture and Forest Service, Washington D. C.
- SER (Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group). 2002. The SER primer on Ecological Restoration. Formato online: www.ser.org
- Solís, E. 1993. Características fisicoquímicas de un suelo en un ecosistema tropical estacional. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.

- Tapia Uribe, M. (Coord.) 1991. Primeras jornadas de investigación en el estado de Morelos. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation – What you can tell by looking. En: Durvea, M. L. (Ed.) Evaluation seedling quality: principles, procedure, and predictive abilitis of major tests. Workshop. Forest Laboratory. Oregon State University, Corvallis
- Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. Ciencia y Desarrollo 8: 7-19
- Trejo, I. 1989. Distribución y diversidad de selvas bajas de México: relaciones con el clima y el suelo. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Trejo, I. 1996. Características del medio físico de la selva baja caducifolia en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. Número Especial 4: 95-110
- Trejo, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía 39: 40-52
- Trejo, I. y Dirzo, R. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. Biological Conservation 94: 133-142
- Uhl, C., Buschbacher, R. B. y Serrão, E. A. S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant sucesion. Journal of Ecology 79: 663-681
- Vázquez-Yanes, C., Orozco Segovia., A., Rojas, M., Sánchez, M. A. y Cervantes, V. 1997. La producción de las plantas: semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica, México D. F.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

- Vázquez-Yanez, C., Batis Muñoz, A. I., Alcocer Silva, M. I., Gual Díaz, M. y Sánchez Dirzo, C. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Proyecto J-084-CONABIO. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Walters, M. B., Kruger, E. L. y Reich, P. B. 1993. Relative growth rate in relation to physiological and morfological traits for nothern harwood tree seedlings: species, light environment and ontogenic considerations. *Oecologia* 96: 219-231

Reflexión

“Cada uno de nosotros sólo se halla aquí para cumplir una breve visita. No sabemos con qué fin, aunque a veces creemos sentirlo. Desde el punto vista de la vida cotidiana, y sin reflexionar con más profundidad, sabemos lo siguiente: estamos en la Tierra para los demás, y en primer lugar, para aquellos de cuya sonrisa y bienestar depende plenamente nuestra propia dicha. También existimos para los innumerables desconocidos con cuyo destino nos ligan y encadenan lazos de simpatía” (Albert Einstein).

Siento que esta tesis es parte del cumplimiento de mi breve visita. Es para los demás y los innumerables desconocidos.

También es para mí; es una enseñanza de la realidad cotidiana y científica, del trabajo académico, de la redacción y la divulgación científica. Además, es mi primer trabajo como bióloga para contribuir al bienestar del hombre y de la naturaleza.

Aprendí que la ciencia es un trabajo de ensayo y error, que es un trabajo en equipo y que uno siempre aprende de los demás.

El trabajo resolvió incógnitas y preguntas, que dan curiosidad por perseguir y alcanzar nuevas metas.

Finalmente, agradezco plenamente todas las sonrisas me motivan a seguir adelante.

Gracias.