

00361



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**INSTITUTO DE BIOLOGÍA**

**REFORESTACIÓN CON DIEZ ESPECIES ARBÓREAS NATIVAS  
BAJO FERTILIZACIÓN EN TABASCO**

**TESIS**

299477

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

**RENÉ DAVID MARTÍNEZ BRAVO**



DIRECTOR DE TESIS: DR. HANS MARTIN RICKER REYMANN

MÉXICO D.F.

COORDINACION  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
NOVIEMBRE, 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

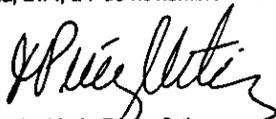
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 30 de abril de 2001, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA AMBIENTAL) del alumno RENE DAVID MARTINEZ BRAVO con número de cuenta 87220966, número de expediente 3991157, con la tesis titulada: "REFORESTACION CON DIEZ ESPECIES ARBOREAS NATIVAS BAJO FERTILIZACION EN TABASCO.", bajo la dirección del DR. HANS MARTIN RICKER REYMANN.

Presidente:	Dra. Christine Desirée Siebe Grabach
Secretario:	Dr. Lauro López Mata
Vocal:	Dr. Hans Martin Ricker Reymann
Suplente:	Dr. Felipe Francisco Garcia Oliva
Suplente:	Dr. Gerardo Segura Wamholtz

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 7 de noviembre de 2001

  
Dra. Tila María Pérez Ortiz  
Coordinadora del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

## Dedicatoria

Este trabajo es un tributo a la iniciativa que nos lego Carlos Vázquez-Yanes sobre la Restauración Ecológica del País.

A mi Abuelo Sirenio Bravo.... con profundo cariño porque su valentía y humildad son razones para vivir. Muchos de la familia gracias a él ahora nos forjamos en la vida. A pesar de su figura cansada, yo veo en él, al hombre fuerte que me paseo en sus hombros y me alimentó cuando pequeño y supo llevar a costas el peso no solo mío, sino de todos mis hermanos cuando nos faltó la figura paterna.

Dedicada también a mi madre Senorina Bravo, por su orgullo y valentía y porque supo luchar sola cuando su esposo murió sabiendo llevar su dolor a un lado porque sabía que necesitábamos más de ella para vivir.

A mi Esposa Yolanda Nava, porque esta tesis es 50% suya, ...gracias por compartirme conmigo.

A mis hermanos porque este trabajo demuestra que la constancia, es la mejor manera de cosechar frutos.

Para todos mi sobrinos, pero especialmente para Cesar, Noé y Rodrigo, porque los modelos a seguir son importantes para la vida, y a mi me toco ser la figura paterna cuando él se fue ....No se rindan.

También es dedicado a todos aquellos seres que se han tenido que ir de este mundo y que su partida no recuerda la importancia de esforzarnos por dejar un mundo mejor para los que vienen, va por paco, Ricardo Bravo y Eduarda Bravo.

Por supuesto para todos los Bravo, Martínez y todas las combinaciones que de estos apellidos se derivan; también y especialmente a los Nava-Cruz por ser tan especiales para mi.

## Agradecimientos

Este trabajo es el esfuerzo conjunto de varias personas, mismas que me ayudaron y acompañaron en las diferentes etapas que duró el proyecto.

En primera instancia, quiero agradecer a los doctores Martin Ricker, Christina Siebe, Lauro López, Gerardo Segura y Felipe García miembros del jurado, sus comentarios para mejorar este documento. Especialmente al Dr. Ricker por su amistad y motivación para continuar con esta investigación que empezaba a desalentarme y, a la Dra. Siebe por adentrarme al “polvoso” mundo de los suelos.

Al Dr. Carlos Vázquez-Yanes que a pesar de haberse ido de este mundo, aun está presente en la memoria de todo científico que se jacte de trabajar con especies nativas, especialmente yo.

Al Instituto de Biología de la UNAM por brindarme la oportunidad de realizar estudios de posgrado, especialmente al Jardín Botánico.

Al Corporativo de PEMEX por brindarme la beca y el financiamiento para el proyecto. Al CPG Nuevo PEMEX y sus trabajadores de vigilancia por las facilidades para desarrollar el experimento. A Carmen González del IMP por brindarme la oportunidad de trabajar en su equipo.

A Todos los compañeros del cubículo 5 del Jardín Botánico, especialmente a Victor Peña por su amistad y ayuda aunque le sako ir a Nuevo Pemex conmigo. A Rocío Pilar por haber tenido mi cheque siempre a tiempo para las salidas de campo.

A José Popochas y Marco Castro amigos de la vida, por su “Incondicional” ayuda en la fase inicial de la plantación, haber cuando nos echamos otra. A Tere Zamora por tenerla cerca para los bomberazos y siempre dispuesta a colaborar. Al negro Robert Monrroy, por cuidar y educar a mi Smarty por largos meses cuando me iba al campo.

A Kumi Shimada, Andrea, Pedro, Carmen y Lucy del laboratorio de Edafología del Inst. de Geología por su apoyo, amistad y cafecito cuando realicé el análisis de suelos en su laboratorio.

A todos las personas que me ayudaron a realizar el trabajo de campo en Villahermosa, especialmente a Pedro, Miguel Sinaca, Román, José Madrazo, Lencho, Carmen,

al neno, Ana y Checo, este último, por el energético pozol que me llevaba diariamente...gracias por los killitos demás.

Al Ing. Hugo Perales, por todas sus enseñanzas para la vida y para realizar de la mejor manera mi trabajo en PEMEX. Al Ing. Jorge Morlet, por su incondicional apoyo logístico en Nuevo PEMEX, pero principalmente por su gran amistad.

A Quicho, mi hermanito querido, que me enseñó a caminar por la selva sin temores y demostrarme que el conocimiento también se adquiere en el monte, además de que estar viejo no quita destreza y si otorga sabiduría. Te recuerdo siempre.

En Tabasco quiero agradecer a Wendy de Parques y Jardines del Estado por ayudarme a conseguir las plantas, al "Tejón" del Parque Museo La Venta por permitirme marcar los árboles del parque y de paso darme tours gratis. Al MVZ Rafael Tinajero y a Joel por las facilidades otorgadas en el parque Yumká.

En la última Fase del Trabajo, agradezco a los compañeros y amigos del solitario Lab. de Bioenergía del DERN, muy especialmente a Marcela, que se fue.... a Canadá, a Alex y Abi por todos los ratos alegres y no tanto, que con ellos compartí y todavía comparto vía electrónica.

Al Dr. Maserá, quién me dejó encargado el changarro mientras se da un tour sabático por Roma, gracias por la confiancita y amistad. Y finalmente a todos los amigos del DERN, integrado por doctores, cuasidoctores y deambulantes pasilleros.

# Contenidos

	Página
Resumen .....	3
1. Introducción .....	4
2. Antecedentes .....	7
3. Objetivo .....	10
4. Descripción de la zona de estudio .....	11
5. Descripción de las especies .....	16
6. Métodos .....	20
7. Resultados .....	32
8. Discusión .....	57
9. Referencias .....	71
Apéndice A: Listado florístico de Nuevo Pemex	

## Resumen

Para evaluar la supervivencia y el crecimiento de diez especies de selva mediana-subperennifolia, se reforestó en un esquema al azar con 2,400 plántulas seis hectáreas de suelos antrópicos. El experimento se realizó en "Nuevo Pemex" sobre tres tipos de vegetación secundaria. Las especies utilizadas fueron: *Brosimum alicastrum* Sw. (Ramón), *Calophyllum brasiliense* Camb. (Bari), *Ceiba pentandra* L. Gaertn. (Ceiba), *Colubrina arborescens* (Miller) Sarg. (Tatuán), *Diphysa americana* (Mill.) M. Sousa (Caracolillo), *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq) Griseb. (Piche), *Pimenta dioica* (L.) Merrill (Pimienta gorda), *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn (Mamey), *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson (Guayacán) y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Macuiliz). Los criterios de selección de especies fueron: *i*) especies nativas y *ii*) especies multipropósito, además de su disponibilidad.

Se aplicaron cuatro dosis de fertilización para buscar un aumento en la supervivencia y optimizar el crecimiento: 0, 150, 375 y 750 gramos de una mezcla de Triple-17 (N-P-K), más micronutrientes (Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu), en una proporción 10:1 de macro y micronutrientes respectivamente. Se realizó el trasplante de las especies en tres tipos de coberturas vegetales a) acahual, b) herbáceas y c) pastizales. El suelo en los tres tipos de cobertura presentó evidencias antrópicas. El pH del suelo varió entre 4.7 y 7.3, el contenido de carbono total se reportó bajo (2.42 a 10.75 g kg<sup>-1</sup>), el nitrógeno fue alto (1898.31 a 8764.0 µg g<sup>-1</sup>), y en algunos suelos se presentaron valores bajos de fósforo disponible (3.46 a 52.65 µg g<sup>-1</sup>).

Los resultados del análisis de varianza de la supervivencia de las plántulas después de 15 meses de experimento, presentaron diferencias significativas entre factores y en las interacciones de los tres factores principales (especie, cobertura y fertilizante).

El análisis de varianza factorial del crecimiento en altura de las plántulas al final del experimento, mostró diferencias muy significativas entre las especies, entre las dosis de fertilización, y entre los tres intervalos de medición. Además, fue significativa la interacción entre los tratamientos "dosis de fertilización" y "especie", así como entre "intervalos de medición" y "especie". En un segundo análisis en el que se agrupó a las especies en especies de rápido y lento crecimiento el ANDEVA mostró diferencias altamente significativas entre los dos tipos de crecimiento.

La especie con mayor supervivencia promedio fue *Ceiba pentandra* (66%), seguida por *Colubrina arborescens* (52%), *Tabebuia chrysantha* (48%) y *Tabebuia rosea* (45%). La especie con el porcentaje más alto de crecimiento relativo de altura fue *Enterolobium cyclocarpum* (29%), seguida por *Tabebuia rosea* (18%), *Calophyllum brasiliense* (16%) y *Ceiba pentandra* (15%).

El análisis de la correlación de Pearson entre supervivencia y crecimiento no presentó correlación estadística ( $r = -0.01570$ ).

En conclusión, para lograr un alto crecimiento de las plántulas arbóreas en este experimento, el factor más importante fue la selección de la especie, y en segundo lugar el hecho de fertilizar. Aunque la fertilización puede tener un efecto positivo sobre el crecimiento, existe el problema de que puede disminuir seriamente la supervivencia, especialmente durante la época de sequía.

## 1. Introducción

La deforestación en México como en varios países del tercer mundo, es un problema ligado a factores sociales y en nuestro país se presenta desde la época de la colonia, sin embargo, en las últimas cuatro décadas las estadísticas demuestran que se ha incrementado dramáticamente (Aguilar *et al.* 2000). Estimaciones realizadas por varios autores concuerdan que la principal causa de deforestación es la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente el establecimiento de pastizales (Toledo 1990, Dirzo y García 1992, Masera *et al.* 1997, Kaimowitz y Algenzen 1998, Cortina *et al.* 1999, Hall 2000).

El proceso de deforestación en el país avanza en todos los tipos de cobertura forestal, pero se aprecia su mayor velocidad en las selvas en comparación con otras zonas ecológicas (SEMARNAP 1996). Masera (1996) calculó la pérdida de la cobertura selvática de México para el año 1996, la cuál alcanzó una tasa de cambio entre 189,000 a 501,000 ha año<sup>-1</sup>, lo que corresponde a una tasa de deforestación entre 0.8% a 2% para ese año. Por otro lado, Palacio-Prieto *et al.* (2000) mencionan en el Inventario Forestal Nacional 2000, que la reducción de la cubierta vegetal de selvas ha sido en un intervalo de entre 15 y 17% anual. Tanto Masera (1996) como Palacio-Prieto *et al.* (2000) concuerdan que el aumento del porcentaje de deforestación se debe principalmente al cambio del uso del suelo.

Un resultado frecuente del cambio del uso del suelo es la deforestación, porque durante el proceso desfavorece la sucesión ecológica por la escasez paulatina de semillas, la reducción de nutrientes en el suelo, la compactación, la herbivoría de las plántulas y aumenta el estrés hídrico en la estación seca (Nepstad *et al.* 1991, Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia 1993, Aide *et al.* 1995, Holl y Kapelle 1999), coincidentemente, estos factores son los que limitan el éxito de un programa de reforestación, porque afectan drásticamente la supervivencia.

En las selvas del sur de México, las actividades para contrarrestar este proceso se han intensificado considerablemente en las últimas décadas (SEMARNAP 1999). Por ejemplo, en el estado de Tabasco, se reforestaron 1,538 hectáreas con casi 21 millones de plántulas que incluían especies nativas y exóticas (principalmente eucaliptos) en el año 1998. La evaluación de la supervivencia de las plántulas fue del 40%.

Una selección apropiada de las especies arbóreas en la que convergen intereses ecológicos y de uso, puede jugar un papel importante en la productividad, la estabilidad del ecosistema y la biodiversidad del sitio (Parrota 1992, Montagnini *et al.* 1995, 1999, Butterfield 1996, Vázquez-Yanes *et al.* 1997, 1999). Los árboles nativos pueden ser más apropiados que los exóticos por tres razones principales: 1) se adaptan mejor a las condiciones ambientales locales, 2) sus semillas y plántulas están disponibles localmente y 3) los campesinos están más familiarizados con ellos y con sus usos (Montagnini *et al.* 1991, Harker *et al.* 1993).

Lugo (1992) menciona que la permanencia de las propiedades del suelo son factores determinantes en la reforestación y la restauración, desafortunadamente, muchos suelos tropicales son frágiles y vulnerables a alteraciones o perturbaciones (Bennema 1977), con procesos de deterioro en muchos casos irreversibles o con un alto costo económico para su recuperación (Parrota 1992, Montagnini *et al.* 1994). Entre los principales factores limitantes asociados al suelo se consideran: *i*) la escasez de nutrientes, *ii*) los altos niveles de compactación del suelo y *iii*) la falta o exceso de humedad en el suelo (Montagnini *et al.* 1997, Parrota 1992, Parrota 1995).

Cuando se realiza una reforestación en suelos alterados, se deben tomar en cuenta varios factores para garantizar la supervivencia, como es la disponibilidad de nutrimentos esenciales para las plántulas-(Dralle y Bo Larsen 1995, Botelho *et al.* 1995).

Para recuperar sitios perturbados y para lograr el mejor crecimiento posible, una opción es aplicar fertilización (Halvin *et al.* 1999). El uso de los fertilizantes para acelerar el crecimiento de la vegetación ha generado beneficios en la agricultura, horticultura desde mediados del siglo pasado (Bengton 1976, Peterson y Hazard 1990, Monness 1991, Dralle y Bo Larsen 1995, Halvin *et al.* 1999) y forestería (McNeil *et al.* 1988, Woollons y Whyte 1988, Miller *et al.* 1991, Dralle y Bo Larsen 1995, Bennet *et al.* 1996, Takele *et al.* 1996, Hynynen *et al.* 1998). La fertilización es recomendable por tres razones: a) cuando la deforestación hubiera afectado negativamente las características químicas y la disponibilidad de los recursos del suelo (Botelho *et al.* 1995), b) cuando en un evento de reforestación se desea obtener el máximo crecimiento posible en el menor tiempo, ya que un fertilizante apropiado tiene un alto potencial para incrementar el rendimiento del trasplante (Gunatilleke *et al.* 1997) y c) con una buena estrategia de fertilización puede mejorar la apariencia de los árboles (Fisher y Mexal 1984, Woollons y Whyte 1998).

Varios autores mencionan que los nutrimentos esenciales para el crecimiento y la reproducción de las plantas son 16 y, se dividen en tres grupos: los elementos H, O, C; los nutrimentos primarios N, P, K; los nutrimentos secundarios S, Mg, Ca; y los micronutrimentos Fe, Mn, B, Cl, Zn, Cu, Mo. De los 16, los elementos esenciales son trece y se encuentran frecuentemente en fertilizantes orgánicos e inorgánicos (Marschner 1995, Ohio State University 1998, Halvin *et al.* 1999)

## 2. Antecedentes

Se estima que en México el número de especies de plantas vasculares es de 22,000 (Rzedowski 1986), muchas de ellas presentan usos potenciales. El relieve que se presenta en el sur del país, agrupa a las zonas con mayor riqueza en flora y fauna por la heterogeneidad ambiental; lamentablemente, también es una de las zonas donde la pérdida de especies por la deforestación es alarmante (Vázquez-Yanes *et al.* 1997, Toledo 1990). El término deforestación tiene una gama de concepciones, que van desde considerar básicamente el proceso como “el cambio físico de la cobertura vegetal” (FAO-UNEP 1981), hasta definiciones que toman en cuenta a los factores ambientales, sociales y económicos que inducen el cambio (Lambin 1997).

El proceso de deforestación en el país ha sido promovido por tres factores principales: 1) un marco institucional y económico contrario al sector forestal y a los dueños de los recursos forestales, 2) Las presiones para la conversión de los bosques en campos para la agricultura y ganadería y 3) una ineficiencia en la industria forestal y sistemas de manejo de bosques naturales (Masera 1996).

La deforestación es un proceso que afecta de manera negativa la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. La reducción de la cubierta vegetal ocasiona problemas graves en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos a todas las escalas de resolución, favoreciendo con ello, el calentamiento global, la disminución en la captura de CO<sub>2</sub>, así como la pérdida de hábitat y fragmentación de ecosistemas, y por ende, la pérdida de diversidad biológica tanto genético poblacional como ecosistémico (Montagnini *et al.* 1999, Aguilar *et al.* 2000).

A partir de las implicaciones que a diferentes niveles ocasiona la deforestación, es imperante reforestar y mantener y manejar adecuadamente la cubierta vegetal, solo que tratar de revertir los daños en ambientes tan diversos como los tropicales no han sido fáciles por la complejidad ambiental.

Varios estudios realizados por Aide *et al.* (1995), Butterfield (1995), Montagnini y Sancho (1990), Montagnini *et al.* (1997), Montagnini *et al.* (1999), Rivera y Aide (1998) han demostrado que el uso de especies nativas para la reforestación de bosques secundarios y acahuales, se yerguen como la alternativa mas viable para reforestar. Los estudios sobre reforestación de la selva en Costa Rica efectuados por Butterfield (1995), Guariguata *et al.* (1995), Parrota (1995), Byard *et al.* (1996), Powers *et al.* (1997) han demostrado que una reforestación inicial con plántulas de especies nativas favorece, a mediano plazo, la dispersión de semillas y, el establecimiento de plántulas de otras especies en el sitio, con lo que la diversidad se incrementa, de manera que el proceso de sucesión ecológica natural es más rápido, lo que, simultáneamente facilita en un plazo más corto la estructura vegetal y del suelo. Además las especies nativas ofrecen características de campo atractivas como son el poderse auto mantener y un mínimo mantenimiento (Butterfield 1996)

Para iniciar una reforestación la parte más importante es el recurso genético (Gómez-Pompa y Vázquez-Yanes 1981), así como la fuente del germoplasma debe provenir de progenitores de la región con buena salud (Vázquez-Yanes y Batis 1996) para garantizar que las especies son las apropiadas para la zona. La experiencia con el manejo de plántulas ha demostrado el éxito del trasplante depende: a) de la edad de la plántula (SEMARNAP 1999), b) las prioridades fisiológicas de la asignación de energía en las diferentes etapas de crecimiento (Martínez-Bravo 1998) y el grado de lignificación del tallo (Peña comunicación personal).

Trabajos con plántulas de especies tropicales, han demostrado que existen factores bióticos y abióticos que determinan su supervivencia y crecimiento en las etapas iniciales de crecimiento. En el trópico seco por ejemplo, el agua es el recurso limitante (Huante *et al.* 1996, Maass y García-Oliva 1990), pero los factores más importante en el trópico húmedo son, la luz y el tamaño del claro en el que crecen (Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla 1986), esta disparidad demuestra que el factor limitante más importante no es el mismo para las plántulas que se desarrollan en el trópico seco y las que se desarrollan en el trópico húmedo, a pesar de que ambos ambientes comparten varias especies. En este sentido, la supervivencia de las plántulas y existencia de un banco de semillas en el suelo son factores importantes en aquellos lugares donde ocurrió una perturbación y actualmente se encuentran en recuperación (Nepstad *et al.* 1996, Karin 1993). Los efectos principales que derivan del cambio de uso del suelo en este tipo de ambientes son que la diversidad de especies de selva madura disminuye y el aumento de la densidad de especies sucesionales como *Cecropia* spp. (Uhl 1981).

Un punto medular que debe considerarse cuando se realiza una reforestación para restaurar ecológicamente un sitio, es saber que una recuperación total del sistema no es posible (Harker *et al.* 1993), sin embargo, se debe enfatizar en recuperar la estructura de la comunidad y la composición de especies para reactivar las funciones del ecosistema como el ciclaje de nutrientes, el control de erosión o la producción de biomasa (Howell 1986).

Actualmente, el uso de fertilizantes en el sector forestal a tenido su campo de acción en plantaciones de coníferas y de celulosa (Bengtson 1976, Peterson y Hazard 1990, Monness 1991), para promover el crecimiento, los elementos usados con mayor frecuencia son nitrógeno y fósforo. Las concentraciones de ambos elementos con los que se ha visto la respuesta de crecimiento en las

plantaciones fluctúan desde 120 kg ha<sup>-1</sup> hasta 500 kg ha<sup>-1</sup> (Dralle y Bo Larsen 1995, Bennet *et al.* 1996, Ndufa *et al.* 1999). Sin embargo, trabajos de fertilización de especies tropicales son difíciles de conseguir y poco conocidos.

Además el uso desmedido de fertilizantes en el sector agrícola a dejado ver sus efectos negativos para el ambiente, la salinización de campos de cultivo y la contaminación del agua del subsuelo con nitratos y fosfatos son el resultado del manejo irracional de fertilizantes (Halvin *et al.* 1999, Marchner 1995).

Por lo tanto, en el presente estudio trata de evaluar cual es el efecto de los fertilizantes en la supervivencia y el crecimiento de especies que se desarrollan en suelos afectados por actividades humanas así como, generar herramientas que permitan cuales son las dosis más apropiadas de fertilizante para cada tipo de especie en cada uno de los suelos estudiados.

### 3. Objetivos

#### General

El presente estudio evalúa la supervivencia y el crecimiento de plántulas de diez especies nativas de árboles, trasplantadas a sitios perturbados en una selva mediana subperennifolia.

#### Objetivos específicos:

- Analizar las características de los suelos del sitio de estudio
- Determinar el crecimiento de plántulas de 10 especies arbóreas nativas en función de la fertilización.
- Evaluar si la fertilización afecta la tasa de supervivencia de las plántulas.
- Determinar si hay una relación entre crecimiento y mortalidad de las plántulas

plantaciones fluctúan desde 120 kg ha<sup>-1</sup> hasta 500 kg ha<sup>-1</sup> (Dralle y Bo Larsen 1995, Bennet *et al.* 1996, Ndufa *et al.* 1999). Sin embargo, trabajos de fertilización de especies tropicales son difíciles de conseguir y poco conocidos.

Además el uso desmedido de fertilizantes en el sector agrícola a dejado ver sus efectos negativos para el ambiente, la salinización de campos de cultivo y la contaminación del agua del subsuelo con nitratos y fosfatos son el resultado del manejo irracional de fertilizantes (Halvin *et al.* 1999, Marchner 1995).

Por lo tanto, en el presente estudio trata de evaluar cual es el efecto de los fertilizantes en la supervivencia y el crecimiento de especies que se desarrollan en suelos afectados por actividades humanas así como, generar herramientas que permitan cuales son las dosis más apropiadas de fertilizante para cada tipo de especie en cada uno de los suelos estudiados.

### 3. Objetivos

#### General

El presente estudio evalúa la supervivencia y el crecimiento de plántulas de diez especies nativas de árboles, trasplantadas a sitios perturbados en una selva mediana subperennifolia.

#### Objetivos específicos:

- Analizar las características de los suelos del sitio de estudio
- Determinar el crecimiento de plántulas de 10 especies arbóreas nativas en función de la fertilización.
- Evaluar si la fertilización afecta la tasa de supervivencia de las plántulas.
- Determinar si hay una relación entre crecimiento y mortalidad de las plántulas

#### 4. Descripción del sitio de estudio

El sitio de estudio se localiza en el estado de Tabasco, a 45 km de la ciudad de Villahermosa dirección a Pichucalco, Chis. y a 5 km al norte de la ciudad de Reforma, Chiapas [Pemex 1989, 1998] (Figura 1). El estudio se llevó a cabo en el Centro Procesador de Gas "Nuevo Pemex", que cuenta con una superficie de 464 hectáreas, a una altitud de 22 msnm y a los 17° 48' 10" latitud norte y 93° 07' 40" longitud oeste (INEGI 1986).



Figura 1. Localización de la zona de estudio en "Nuevo Pemex" Tabasco. El círculo ubica la mejor aproximación de Nuevo PEMEX.

#### 4.1. Descripción de la vegetación del Estado

En el estado de Tabasco se encuentran parches de selva alta perennifolia y selva mediana subperennifolia (*sensu* Miranda y Hernández X. 1963), así como manglares en la parte norte del estado, popal, tular y pastizales (Figura 2), mezclándose hoy en día con potreros para la ganadería en grandes extensiones (West *et al.* 1985). En la actualidad, existen grandes extensiones de pastizales de los que se desconoce

su origen. Este tipo de vegetación ha sido objeto de controversia, porque su presencia data de la época colonial como se demuestra en la carta de relación de Melchor de Alfaro dirigida a España en la que hacia la siguiente mención: "Éstas son grandes sabanas, llamadas de los Cimatanes, y tienen más de 20 leguas de ancho y de largo, están desiertas y deshabitadas..." (West *et al.* 1985). El comunicado permite suponer que los pastizales son el tipo de vegetación natural del estado y que las selvas han tenido una distribución en forma de archipiélago continental.

Derivado de los cambios para favorecer la ganadería y el auge petrolero, los tipos de vegetación que predominan actualmente en Tabasco son pastizales, vegetación acuática emergente (popal y tular) y fragmentos de acahuales de selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia que albergan todavía una gran diversidad de especies de la flora y fauna tropical (INEGI 1986, López-Hernández 1994, Zavala 1997).

## 4.2. Zona de estudio

### 4.2.1. Vegetación

La Figura 2 muestra la superficie de seis hectáreas en "Nuevo Pemex", donde se realizó el experimento. Se localizan en la parte sur del Centro procesador de gas, en un área plana con pequeños montículos. En la cuál se desarrollan los tres tipos principales de vegetación secundaria: 1) herbáceas pioneras, 2) pastizales y 3) acahuales. Estos tipos de vegetación han sustituido a la selva mediana subperennifolia la que actualmente se encuentra en algún estado de recuperación (López-Hernández 1994).

En las seis hectáreas los tipos de vegetación fueron clasificados con base en criterios edáficos relacionados al tipo de cobertura vegetal.

a) herbáceas de comportamiento agresivo se desarrollaban en suelos con colores en tonos claros y desprovistos de una cubierta arbórea permanente y sobre pequeños montículos. La altura de la vegetación inferior a 70 cm. Predominaban en este sitio herbáceas rastreras, enredaderas y bejucos. Este tipo de asociación suelo-vegetación se clasificó con las claves HEB1, HEB3 y HEB2.

En general las comunidades de herbáceas de la región están constituidas por especies de la familias Cyperaceae, Compositae, Euphorbiaceae y Leguminoseae principalmente con una fuerte presencia de rastreras, bejucos y enredaderas de las familias Cucurbitaceae, Leguminoseae, Malpighiaceae, Vitaceae e *Ipomea*. La altura promedio de las especies es de 0.7 m, se desarrollan sobre suelos arcillosos de color café claro, de lento drenaje, baja pedregosidad y parcialmente inundables en la época de mayor precipitación pluvial. Los bejucos de esta comunidad vegetal presentan un comportamiento agresivo con el resto de la vegetación, formando carpetas de tamaños que superan los 6m<sup>2</sup> en algunas partes, por lo que el desarrollo de otro tipo de especies se ve restringido. En estas comunidades el desarrollo de especies arbóreas es poco frecuente con alturas de 4 m, los más frecuentes son *Inga acrocephala* (Leguminoseae), *Trema micranta*, *Eugenia capuli* (Myrtaceae), *Lippia leucocephala* (Verbenaceae) y *Leucaena leucocephala* (Leguminoseae)

b) Los pastizales presentaron dos tipos de suelo distintos, abarcando una gran extensión. Este tipo de vegetación se caracterizó por la presencia de macollos que superaban 1.20 m de altura y muy cercanos entre sí, originando una red que impedía que la luz alcanzaría el suelo. Este tipo de vegetación se encontró asociado a suelos que presentaron variaciones de color, desde el color crema

hasta el rojo y microrelieves con pocos grados de pendiente. Como resultado de esta relación se clasificaron dos unidades con las claves PAZ1 y PAZ2.

Las especies presentes en los pastizales son gramíneas naturales y cultivadas, este tipo de vegetación se desarrolla en suelos arcillosos; en las partes un poco más altas y con ligeras pendientes, el color del suelo va de tonos cremosos a colores rojizos. Los macollos de este tipo de vegetación están dispuestos de tal forma y cercanía que sus hojas se entrelazan con las de los macollos aledaños, esta cercanía dificulta poder caminar entre ellos. La altura del pastizal supera los 1.50 m por lo que no es común poder encontrar otro tipo de especies en el sitio, sin embargo, las especies arbóreas encontradas fueron *Leucaena leucucephala*, *Acacia* spp., y *Phytocellobium* spp. (Leguminosae).

c) La vegetación de acahual fue considerada en los sitios donde se apreciaron árboles cuyas alturas promediaban los 6 metros en el estrato superior y arbustos de 1.2 m en el estrato medio. En estos sitios se pudo apreciar en el suelo un horizonte orgánico derivado de la descomposición de la biomasa, así como condiciones microclimáticas más favorables para la supervivencia. En este tipo de unidades se apreció el desarrollo de diferentes especies de plántulas y una mayor diversidad en la composición de árboles en estado juvenil y adulto. De esta clasificación de unidades resultaron las claves ACA1, ACA2 y ACA3. En el caso de ACA3 la vegetación forma un bosque monoespecífico, y el suelo está caracterizado por un color café cremoso.

La comunidad que integra el acahual son especies leñosas arbustivas y arbóreas de rápido crecimiento las cuales presentan un patrón de estratos superior y medio. El estrato superior alcanza

hasta los 6 m de altura y predominan las especies *Bursera simaruba*, *Carica papaya*, *Muntingia calabura*, *Cecropia*, *Dendropanax*, *Salix* y *Guazuma*; con menor frecuencia se encontró *Cedrela odorata* y *Ceiba*. El estrato medio tiene una altura de 3 m de altura con especies como *Nectandra*, *Piper lapatifolia*, *Hampea* y *Guazuma*. En sitios con montículos en las partes más altas del lugar, se encontraron manchones de *Muntingia calabura* formando bosques monoespecíficos con poca frecuencia de otras especies. El suelo en este tipo de comunidades vegetales aunque es arcilloso, presenta un drenaje más rápido ocasionado tal vez por la materia orgánica depositada en el suelo, la pedregosidad es ligeramente mayor que en los otros dos tipos vegetales, se puede apreciar un horizonte orgánico en la parte superior del suelo y el color dominante es café claro.

#### 4.2.2. Suelos

Los suelos reportados para la zona de "Nuevo Pemex" según INEGI (1986) y Zavala (1997) son: Alisoles húmicos y plínticos en las lomas y motículos, Gleysoles en los valles, y en menor proporción pueden encontrarse Fluvisoles. Estos tipos de suelo tienen en común una baja fertilidad y un drenaje interno lento por la presencia de arcillas.

En varias áreas de toda la zona de estudio se encontraron residuos de construcción o aporte de tierra de origen exógeno, por lo que en el sitio de estudio esta clasificación de suelos no puede ser tomada como referencia por la presencia de material exógeno en toda la zona de estudio. El origen del material, es en gran parte, derivado de materiales de construcción y material proveniente de otros lugares, por lo que tratar de clasificarlo fue complicado por la carencia de elementos que permitieran categorizarlos como los reportados anteriormente.

### 4.2.3. Clima

De acuerdo al sistema de clasificación climatológica de Köppen, modificado por García (1981), el Centro Procesador de Gas "Nuevo Pemex" presenta un clima del tipo Am (f), que corresponde a un clima cálido húmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual se aproxima a los 26°C, el porcentaje de lluvia invernal es mayor de 10.2. El promedio de temperatura mínima es 17.8°C, en el mes de enero. La oscilación anual de las temperaturas medias anuales es menor de 5°C, siendo mayo el mes más cálido del año. La época más calurosa se presenta en los meses de abril a julio, con temperaturas promedio de poco más de 28°C (INEGI 1986, Pemex 1987, CNA 1996).

Las lluvias son frecuentes en todo el año, con un promedio anual de precipitación total de 1500 mm, aunque INEGI (1986) y Guadarrama (1987) reportan que en ocasiones se alcanzan los 3000 mm. La Estación Meteorológica 27-064 de la Comisión Nacional del Agua en Tabasco (CNA 1996) señala que los períodos más lluviosos se presentan anualmente en los meses de julio a octubre, en donde se alcanzan promedios mensuales por encima de los 217 mm. Con base en los datos registrados en esta estación en 1996, en los meses de diciembre a mayo, fue cuando se registraron las precipitaciones más escasas que denotan la época estival de la región.

## 5. Descripción de las especies

Las características climáticas y de suelo reportadas para el sitio de estudio, lo ubican para albergar como vegetación primaria a elementos de la selva mediana subperennifolia, caracterizada por una vegetación arbórea que alcanza de 15 a 25 m de altura. Los árboles dominantes caducifolios representan entre el 25 y el 50% de la vegetación (López 1980, SARH 1985). Este tipo de selva es reconocido como sitios intermedios, compuestos por especies tolerantes a la sequía de las selvas altas por un lado, y especies de las zonas más húmedas de las selvas bajas (Gómez-Pompa 1977).

El Cuadro 1 agrupa las diez especies incluidas en este estudio, con una breve descripción taxonómica, su distribución geográfica en México y los usos documentados hasta el momento. La información fue recopilada de CONAFRUT (1974), Reyes Castillo (1981), Peters y Pardo-Tejeda (1982), Sosa y Flores (1993), Ibarra-Manriquez *et al.* (1997) y Pennington y Sarukhán (1998). El criterio para la selección de las especies fue: a) que las especies fueran nativas, b) su representatividad en la región, c) varios usos (valor utilitario para la gente) (López 1980, Leakely y Newton 1994, López-Hernández 1994, Vázquez-Yanes *et al.* 2000), y solo en segundo término pragmático es decir, que estuviera accesible y disponible la fuente de propágulos, cercanía de los viveros que reproducían las especies, entre otros.

Cuadro 1. Descripción de las especies utilizadas en este estudio.

Especie	Características generales	Distribución	Usos
<p><i>Brosimum alicastrum</i> Sw. "Ramón"</p> <p>Moraceae</p>	<p>Altura: Árbol de hasta 40 m, fuste derecho con contrafuertes grandes y bien formados.</p> <p>Frutos: son bayas globosas de 2 a 2.5 cm de diámetro que maduran de marzo a mayo.</p> <p>Hojas: simples, alternas, son perennifolios, pero caducifolios en las partes más secas de su distribución</p>	<p>Es una especie dominante de las selvas altas perennifolias y su <i>Aca3aducifolias</i> de México con amplia distribución en el país. En la vertiente del Golfo se presenta desde el sur de Tamaulipas hasta Quintana Roo y se distribuye a todo lo largo de la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Chiapas hasta una altitud de 600 m</p>	<p>Las hojas y frutos se usan como forraje para el ganado. La madera es fácil de trabajar. Los frutos maduros son comestibles con sabor agradable y las semillas para mezclarse con maíz cuando éste escasea o para hacer una bebida sustituto del café.</p>
<p><i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.</p> <p>"Bari"</p> <p>Guttiferae</p>	<p>Árbol de hasta 40 m de altura, tronco derecho</p> <p>Frutos: son drupas, maduran de octubre a diciembre</p> <p>Hojas: decusadas, simples; láminas.</p>	<p>Especie distribuida en la vertiente del golfo y en la Vertiente del Pacífico. Se encuentra principalmente como componente de selvas altas perennifolias o medianas subperennifolias y su <i>Aca3aducifolias</i> en suelos con buen drenaje.</p>	<p>Su madera, de muy buena calidad, se usa para aserrio en la fabricación de chapa para vistas de madera terciada, durmientes y construcción de muebles finos.</p>
<p><i>Ceiba pentandra</i> L. Gaertn. "Ceiba"</p> <p>Bombaceae</p>	<p>Árbol de hasta 40 m, fuste recto con pocas ramas muy gruesas.</p> <p>Frutos: son cápsulas ovoides compuestos por 5 valvas, miden hasta 14 cm.</p> <p>Hojas: digitado compuestas de 7 a 8 foliolos</p>	<p>Especie de amplia distribución geográfica y ecológica; se encuentra en la vertiente del Golfo, en la del Pacífico hasta el sur de Chiapas. Forma parte de selvas altas perennifolias a medianas su <i>Aca3aducifolias</i>, se desarrolla en gran variedad de condiciones edáficas.</p>	<p>Es una especie que prospera como árbol de sombra. Su madera se usa en el centro de Veracruz para la fabricación de artículos torneados y como chapa para centros de madera terciada. En la industria se utiliza para producir papel</p>
<p><i>Colubrina arborescens</i> (Miller) Sarg.</p> <p>"Tatuán"</p> <p>Rhamnaceae</p>	<p>Árbol de hasta 30 m, fuste recto y ramificado</p>	<p>CentroAmérica y el Caribe</p>	<p>Es usado contra mordeduras de serpientes. Su madera es de buena calidad y se usa para la fabricación de muebles.</p>
<p><i>Diphysa americana</i> (Mill.) M. Sousa</p> <p>"Caracofillo"</p> <p>Papilionaceae</p>	<p>Árbol de hasta 15 metros, fuste recto.</p>	<p>Sur de Tabasco y Norte de Chiapas</p>	<p>La madera es utilizada en la construcción rural.</p>

Especie	Características generales	Distribución	Usos
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. "Piche". Leguminosae	Altura: Árbol de hasta 30 m, fuste erecto y con pequeños contrafuertes en la base. Frutos: están son vainas de 7 a 12 cm de diámetro. Hojas: están dispuestas en espiral y bipinadas, pierden las hojas durante su fructificación en los meses de febrero a abril.	Es una especie ampliamente distribuida en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas hasta la península de Yucatán, y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas. Se encuentra en zonas de vegetación secundaria en selvas altas perennifolias, medianas subperennifolias y caducifolias.	Se usa como árbol de sombra en áreas ganaderas o agrícolas, donde se encuentra en abundancia. Su madera se usa para obtener Cuadros y vigas para construcciones rurales y para hacer utensilios de cocina
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merril. "Pimienta gorda" Myrtaceae	Árbol de hasta 20 m de altura, tronco derecho y ligeramente acanalado. Fruto: son bayas de 10 X 5 mm maduran de julio a octubre Hojas: decusadas simples, despiden un fuerte olor fragante que perdura aun después de que se secan.	Especie restringida a la vertiente del golfo desde el norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la península de Yucatán, en Campeche y Quintana Roo, formando parte del estrato medio e inferior de selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias.	Su madera se emplea localmente para construcciones rurales y como leña, su principal uso es el fruto.
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn. "Mamey" Sapotaceae	Árbol de hasta 40 m de altura, tronco derecho en ocasiones con pequeños contrafuertes. Frutos: son bacciformes, maduran de diciembre a marzo. Hojas: simples, laminadas. Flores: son solitarias aglomeradas en las axilas de hojas caídas. Florece de agosto a octubre.	Probablemente las zonas originales de distribución hayan sido el sur de Veracruz, Tabasco y el norte de Chiapas. Se la ha observado formando parte de selvas altas perennifolias en Chiapas.	El principal uso que se le ha dado a esta especie y por lo que se le ha cultivado extensamente es el consumo de su fruto. Sin embargo, a menor escala la madera es utilizada para la construcción de casas y utensilios para el hogar.
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson "Guayacán" Bignoniaceae	Árbol de hasta 20 m de altura, tronco recto con pocas ramas Frutos: son cápsulas de 35 a 45 cm de largo. Hojas: decusadas, digitado-compuestas de 5 folíolos, caducas al principio de la época seca Flores: están en panículas, florecer en marzo y mayo.	Especie distribuida en la vertiente del golfo y en la vertiente del Pacífico. Es abundante en las selvas medianas suAca3aducifolias y también se presenta en vegetación secundaria,	Su madera es apreciada para fines de ebanistería.
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC. "Macuiliz" Bignoniaceae	Árbol de hasta 25 m de altura, tronco recto algunas veces acalado. El fruto es una cápsula dehiscente de forma cilíndrico linearde hasta 35 cm. Hojas: son digitado -- compuestas, con 5 folíolos caducifolias.	Se distribuye en la vertiente del Golfo y en la vertiente del Pacífico. Encuentra sus mejores condiciones de desarrollo en comunidades secundarias o bien formando parte de selvas altas y medianas subperennifolias y subcaducifolias, con climas de húmedos a muy húmedos.	La madera es utilizada en la carpintería para la elaboración de muebles.

## 6. Métodos

En el estudio se transplantaron un total de 2400 plántulas en una superficie total de 6 hectáreas en la forma siguiente:

Para efectos del trasplante se ubicaron tres tipos de cobertura vegetal. El primer tipo de cobertura es clasificado como acahual, el segundo son herbáceas con comportamiento malezoide y, el tercer tipo corresponde a pastizales; los tres tipos de cobertura son caracterizados como vegetación secundaria. En cada uno de los tipos de cobertura se transplantaron individuos de las diez especies seleccionadas. Para fines prácticos, se utilizaron 40 plántulas por especie por hectárea. El método de plantación consistió en una distribución al azar de las diez especies en cada hectárea. El diseño de plantación se realizó en diez hileras por hectárea, cada hilera fue conformada por la mezcla de especies, producto de la distribución al azar de las especies. Posteriormente (Figura 3), se aplicaron cuatro dosis de fertilización por especie.

Debido a cuestiones que rebasaban nuestras posibilidades de tiempo y capacidad de producción, las plántulas con las que se estableció el experimento tuvieron que ser compradas en viveros comerciales de la región. Las plántulas fueron adquiridas en los viveros forestales "Las Liliás" y "Árboles de Tabasco", cercanos al sitio del estudio. La edad de los lotes de las especies variaron entre 4 y 6 meses y las alturas fueron distintas dependiendo de la especie.

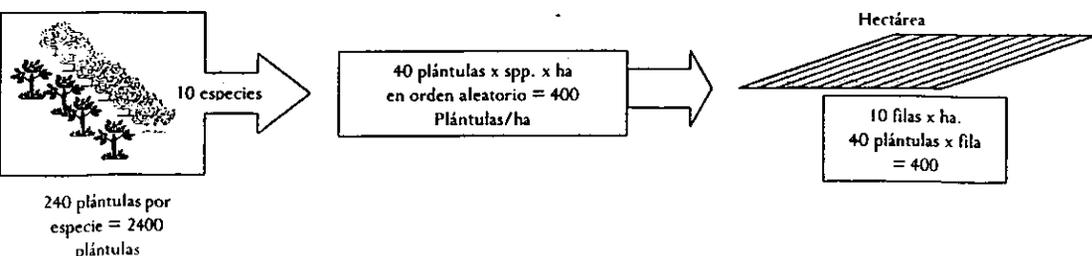
En los siguientes capítulos se explica primero el método de trasplante, después los métodos de colecta y análisis de suelo y la aplicación de fertilización, la forma de captura de medidas de crecimiento y supervivencia, y finalmente los métodos estadísticos aplicados.

### 6.1. Siembra de plántulas

Debido a que el objetivo principal del proyecto era realizar una reforestación, el tamaño del sitio de estudio fue extenso y por lo tanto, fue necesario tratar de encontrar los tipos de cobertura apropiados.

El trasplante se realizó en dos tiempos, el primero en diciembre de 1998 y el final se realizó en febrero de 1999. La preparación del sitio para el trasplante consistió en realizar 10 filas de siembra en cada una de las hectáreas. Las filas se prepararon mediante aclareos con el uso de machetes (chapeo), con una distancia de 10 metros entre ellas. Dentro de cada fila la distancia de siembra fue de 2.5 m entre cada una de las plántulas. Los hoyos para el trasplante fueron realizados con palas y cavahoyos de acuerdo al tamaño de la bolsa más grande del lote de plántulas. En total se trasplantaron 40 plántulas por fila X 10 filas, dando por resultando 400 por hectárea (Figura 3).

Figura 3. Descripción del método de experimental en cada parcela



Para el trasplante se retiró la bolsa negra donde venía sembrada cada plántula, con ambas manos se tomó el cepellón teniendo cuidado de no descubrir las raíces. Una vez colocada en la cepa, el trasplante fue terminado usando la misma tierra que se había sacado para hacer la cepa, procurando que el tallo de la plántula quedara completamente erecto.

Para evitar posible competencia entre las plántulas trasplantadas y la vegetación circundante, se realizaron chapeos cada tres meses posteriores al trasplante, en un área de 2.5 m<sup>2</sup> alrededor de cada una de las plantas. Inicialmente se pretendió regar cada semana las parcelas durante la época de "secas" (marzo a agosto). Sin embargo, el costo económico de la actividad fue demasiado alto para poder seguir hasta el final de la época seca por lo que se suspendió el riego después de la tercera ocasión.

## 6.2. Selección de unidades de paisaje

Posterior al trasplante, las seis parcelas fueron subdivididas en ocho "unidades de paisaje", este cambio se debió a los diferentes mosaicos de vegetación que se encontraron en el interior de cada parcela. La selección de las unidades de paisaje se basó en tres criterios: (1) el tipo de vegetación que presente en el sitio, y (2) el color, la pedregosidad y la textura del suelo y (3) el microrelieve. Para este estudio se consideraron tres categorías de vegetación los cuales presentaron relación con el tipo de suelo: (a) herbáceas pioneras, (b) pastizales y (c) acahual con árboles de hasta 6 m de altura y bosque monoespecífico de *Muntingia calabura*. Cada una de las unidades de paisaje presentó categorías de vegetación repetidas, pero el fundamento de unidad de paisaje fue básicamente por la diferencia de las

características del suelo y el microrelieve, por lo que al final fueron ocho unidades de paisaje con tres tipos de vegetación distintas.

### 6.3. Colecta de suelos

El diseño de colecta de muestras de suelo consistió en realizar una muestra compuesta para cada una de las seis coberturas vegetales. Con una barrena, se tomaron 16 muestras independientes de suelo en cada unidad a una profundidad de 0 a 30 cm y se mezclaron para formar la muestra compuesta. Las muestras en cada unidad de paisaje fueron tomadas de manera aleatoria cada diez metros a distancias equivalentes es decir, se tomó un número del 1 al 60, el intervalo de números correspondía a la división en grados de un círculo. Con una brújula ubicando el norte se buscaba el número seleccionado y se medían 10 m en esa dirección para tomar la muestra. Este proceso se repitió 16 veces. En las muestras en las que se pudo apreciar una diferenciación, el material colectado se separó en dos horizontes (A y B).

El suelo colectado en el campo fue sujeto a las siguientes interpretaciones y mediciones con base en Siebe *et al.* (1996): (a) textura, (b) color, (c) pH en agua destilada y (d) tamaño de cada uno de los dos horizontes. El resultado de esta interpretación y la asociación de la vegetación, fue fundamental y, se presenta en la Cuadro 2.

Cuadro 2. Características de cada una de los tipos de coberturas vegetales determinados en "Nuevo Pemex".

Clave	Unidad de paisaje	Color	Textura*	Descripción	Tipo de vegetación
ACA1		10 YR 5/6	CRL	Suelo con acahual	Acahual
ACA2		10 YR 5/6	CR	Suelo con acahual	Acahual
ACA3		7.5 YR 6/6	RA	Suelo beige bosque de monoespecífico de <i>Muntingia calabura</i>	Bosque monoespecífico
HEB1		7.5 YR 5/6	CRA	Suelo con herbáceas	Herbáceas (bejucos)
HEB2		2.5 Y 5/6	CRA	Suelo con herbáceas	Herbáceas (estacionales de rápido crecimiento).
HEB3		5YR 5/8	CR	Suelo presente en las parcelas 3 y 4	Herbáceas (bejucos)
PAZ1		2.5 YR 5/6	CRL	Suelo rojo con pastos	Pastos
PAZ2		7.5YR 5/6	CRA	Suelo con pastos	Pastos

\*CRA: Franco arcillo arenosa

CRL: Franco arcillo limosa

CR: Franco arcillosa

RA: Arcillo arenosa

#### 6.4. Análisis de suelo en laboratorio

Para conocer el estado de los nutrimentos del suelo, se realizó el análisis químico de las muestras en el laboratorio de Edafología del Instituto de Geología (UNAM), en la Ciudad de México. Primeramente las muestras de suelo se secaron al aire libre. Posteriormente, el suelo se molió con un mortero de madera y en algunos casos en un molino de ágata, para obtener un tamaño de partícula homogéneo  $\leq 1$  mm. Para corroborar el tamaño de partícula, el suelo fue tamizado en una apertura de luz de malla de 1 mm. En estas muestras se realizaron los siguientes análisis químicos:

- a) pH en agua destilada y en KCl 1M (Van Reeuwijk 1992);
- b) carbono orgánico total por oxidación húmeda con  $K_2Cr_2O_7$  según Lichterfelder (Schlichting y Blume 1966);
- c) nitrógeno total por el método Kjeldahl (Kjeldahl 1965);
- d) cationes intercambiables en acetato de amonio pH 7 1M (Van Reeuwijk 1992);
- e) acidez intercambiable (Al + H) en KCl 1M (Van Reeuwijk 1992);
- f) fósforo disponible por el método Bray/Kurtz (Black 1965).

Aunque un análisis químico del suelo por si solo es insatisfactorio para predecir los efectos de la aplicación de fertilizantes, este análisis puede indicar la capacidad de un suelo para suministrar nutrientes a las plantas, y provee información acerca de su estructura.

#### 6.5. Fertilización

El fertilizante se aplicó en febrero de 1999. Se utilizaron cuatro dosis de la mezcla compuesta de fertilizante de Triple 17 de nitrógeno, fósforo y potasio  $[(NH_4)_2 SO_4 + (NH_4)_2 HPO_4 + NO_3$

+ KCl]. Las dosis consistieron en 0, 150, 375 y 750 g. Las concentraciones por elemento están especificadas en la Cuadro 3. Además se aplicaron, 0.75 % de sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ), azufre por medio de los sulfatos, 1.140 % de sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), 0.238 % de sulfato de manganeso ( $MnSO_4$ ), 0.380 % de sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ), y 0.75 % de sulfato de cobre ( $CuSO_4$ ). Finalmente se aplicó Cal dolomítica

Cuadro 3. Concentración de cada elemento para cada una de las dosis de fertilizante.

Cantidad Aplicada de cada Elemento			
kg ha <sup>-1</sup>			
Dosis kg	0.150	0.325	0.750
N	0.298	0.745	10.638
P	0.160	0.399	3.635
K	0.357	0.892	3.924
Mg	0.503	1.257	2.515
S	1.435	3.145	9.088
H	0.010	0.026	6.815
Cl	0.323	0.808	3.875
Fe	0.551	1.379	2.757
Mn	0.175	0.437	0.873
Zn	0.308	0.790	1.539
Cu	0.597	1.493	2.986

Las dosis fueron establecidas con base en estudios de fertilización en plantaciones forestales de coníferas, porque no logramos encontrar reportes para especies forestales tropicales. La cal dolomítica (= cal agrícola) se aplicó porque disminuye los niveles de acidez, neutraliza el aluminio intercambiable, aumenta la disponibilidad de nutrientes, y mantiene el equilibrio de bases intercambiables.

La aplicación del fertilizante consistió en suministrar las cuatro dosis de fertilizante a cada especie en cada hectárea en un esquema aleatorio, es decir, de cada especie fueron fertilizadas 10 plántulas por dosis (10 plántulas por 4 dosis = 40) tratando que las dosis quedaran representadas en toda la hectárea.

El método de aplicación consistió en formar un cinturón alrededor de cada uno de los tallos de las plántulas con la cantidad de fertilizante, a una distancia de 10 a 15 cm del tallo, y posteriormente se mezcló con la tierra sin enterrarlo demasiado para su pronta incorporación a la plántula.

#### ***6.6. Medición de crecimiento y supervivencia***

Después de la aplicación del fertilizante, se tomo la medida inicial del crecimiento del vástago (parte aérea de la plántula) con una cinta métrica en altura. Posteriormente la altura se midió a) tres meses después de la fertilización, b) nueve meses después de la fertilización y c) trece meses después de la fertilización. Se llevo una bitácora de las plántulas que se secaron o que ya no se encontraron en los subsecuentes censos.

#### ***6.7. Análisis estadístico***

Los datos del crecimiento y de la supervivencia de las plántulas fueron analizados utilizando el programa Systat 7. Se llevaron a cabo dos análisis factoriales de varianza (ANDEVA): uno con los datos de crecimiento relativo de la altura, y otro con los datos de supervivencia. El ANDEVA de los datos de crecimiento consistió en cuatro factores: (10 especies) x (4 dosis de

fertilización) x (7 unidades de paisaje) x (3 fechas de medición). Debido a los cambios de diseño de parcela a unidad de paisaje, la unidad "HEB3" no se incluyó en el análisis porque algunas especies no estuvieron presentes en esta unidad. Incluir esta unidad hubiera hecho imposible analizar la interacción entre unidad de paisaje y especies, lo que - sin embargo - era de interés. Para evitar problemas estadísticos que pudieran sobre o subestimar los resultados, los valores "negativos" del crecimiento fueron excluidos del análisis.

El valor negativo del crecimiento fue producto de la reducción del tamaño de la plántula en el tiempo, por factores como la muerte del meristemo apical o la herbivoría de las partes más suaves de las plántulas entre otros, que provocó necrosis en el tallo. El análisis de varianza de los datos de supervivencia consistió en tres factores: (10 especies) x (4 dosis de fertilización) x (8 unidades de paisaje). Solamente se analizaron interacciones entre dos factores, porque es muy difícil explicar con argumentos biológicos interacciones entre tres o cuatro factores.

Las alturas de las plántulas se midieron en tres fechas febrero de 1999, mayo de 1999 y marzo de 2000 después del trasplante. Para cada plántula que sobrevivió se calculó su crecimiento relativo en lapsos de tres, seis y tres meses, tomando el incremento de la altura como la proporción del crecimiento al final del lapso. Por ejemplo, si una plántula tenía 51 cm seis meses después del trasplante, y 59 cm después de nueve meses, se calculó un crecimiento relativo de 0.136 conforme a la Fórmula 1:

$$Crc\ Relativo = \left( \frac{Crec2 - Crec1}{Crec2} \right) \quad (1)$$

Donde:

$Crec2$  = Crecimiento en el tiempo 2

$Crec1$  = Crecimiento en el tiempo 1

La ventaja de analizar el crecimiento de esta manera consiste en la posibilidad de comparar las especies de mayor crecimiento con las especies de menor crecimiento, sin entrar en problemas de heterogeneidad de varianzas (un árbol de 3 m de altura presenta una varianza mayor a un árbolito de 0.5 m). Cuando se expresa el incremento de la altura como una proporción de la altura final se asegura que los valores se ubican siempre entre el rango de 0 y 1.

Para realizar análisis de varianza con datos que representan proporciones entre 0 y 1, Sokal y Rohlf (1995) recomiendan la transformación del arcoseno. En su versión más simple, como la que se aplicó a los datos de crecimiento, se toma la raíz cuadrada de la proporción y posteriormente el arcoseno. En el ejemplo anterior resulta 21.6 [ arcoseno (0.136<sup>0.5</sup>) ]. Para reportar promedios con errores estándares, los valores con arcoseno se tuvieron que transformar a proporciones, al tomar el seno y posteriormente elevarlo al cuadrado.

Los datos de supervivencia resultaron al calcular la proporción de supervivencia a lo largo de 12 meses individualmente para cada una de las 302 combinaciones de especie, dosis y unidad de paisaje. El número de plántulas al inicio del experimento en estas

combinaciones varía entre 1 y 17. Otra vez se transformaron las proporciones con el arcoseno, aunque ahora con una versión más sofisticada que toma en cuenta la variación inicial del número de plántulas (Sokal y Rohlf 1995): Se divide el número de supervivientes más 3/8, entre el número inicial de plántulas más 3/4, para después tomar la raíz cuadrada y el arcoseno. Por ejemplo, si de 17 plántulas iniciales sobrevivieron 5, resulta 33.4 según la fórmula 2:

$$\arcseno \sqrt{\frac{Y + \frac{3}{8}}{n + \frac{3}{4}}} \quad (2)$$

Donde:

Y= es el numero de plantas que sobrevivieron

n= es numero de plantas total

La re-transformación para reportar promedios resulta más tediosa ahora: Se tiene que saber el número de plántulas iniciales en cada grupo que se promedia. Por ejemplo, si el promedio con los datos transformados resulta ser 21 y el número de plántulas iniciales fue de 60 en este grupo estadístico, entonces resulta el número promedio de sobrevivientes de 7.43  $\{ [\text{seno}(21)]^2 (60 + 3/4) - 3/8 \}$ . Posteriormente se puede calcular la proporción promedio de 0.124 (7.43 /60).

La computación del ANDEVA se llevó a cabo con el programa estadístico SYSTAT 7. Este programa calcula promedios ponderados en diseños no balanceados (SYSTAT Manual

1996). Posterior al ANDEVA y para poder graficarlos, los valores con arcoseno se tuvieron que transformar a proporciones, al tomar el seno y posteriormente elevarlo al cuadrado.

Esto es importante porque, por ejemplo, el promedio del crecimiento de una especie puede deberse a unos cuantos datos en un suelo bueno y muchos datos en un suelo pobre. Comparando este promedio con el promedio de una especie que resultó de unos cuantos datos en un suelo pobre y muchos datos en un buen suelo obviamente invalidaría esta comparación.

Debido a que el diseño de Unidades de Paisaje fue derivado de un cambio en el diseño de parcelas de 1 hectárea previamente establecido y, que este diseño fue no balanceado, decidimos elaborar una segundo análisis para evaluar los resultados de la supervivencia y del crecimiento de las diez especies con las cuatro dosis de fertilizante y con los tres tipos de cobertura. En lo que se refiere a la supervivencia agrupamos por especie en los tres tipos de cobertura y, fueron analizadas las diez especies mediante tablas de contingencia, utilizando el promedio de supervivencia de cada especie que en cada dosis de fertilizante y en cada tipo de cobertura.

El crecimiento de las especies se analizo utilizando la misma matriz de datos de supervivencia, pero en este caso, utilizamos un ANDEVA de mediadas repetidas. El ANDEVA se elaboró utilizando el promedio de crecimiento de cada especie que en cada dosis de fertilizante y en cada tipo de cobertura. Para realizar este análisis, utilizamos la tasa relativa

de crecimiento entre las diferentes fechas y posteriormente la transformamos a arcoseno como lo describe Sokal y Rohlf (1995).

Se realizó una correlación entre la supervivencia y el crecimiento, para analizar una posible relación entre las dos variables. En este análisis se utilizaron los promedios de las proporciones de los datos de supervivencia y crecimiento en la última fecha de colecta de datos sin la transformación de arcoseno. Los datos fueron arreglados en una matriz de correlación y computados por el método de correlación de Pearson, en el programa para computadora SYSTAT 7.

## 7. Resultados

El capítulo de los resultados se divide en cuatro apartados: *i*) el análisis del suelo las unidades de paisaje, *ii*) el análisis estadístico de la supervivencia de las plántulas, *iii*) el análisis estadístico del crecimiento de las plántulas, y *iv*) el resultado de la correlación de supervivencia y crecimiento de las plántulas.

### 7.1. Análisis químico del suelo

Todos los datos químicos provenientes del laboratorio están resumidos en la Cuadro 4. Para cada una de las ocho unidades de paisajes se presentan los siguientes datos: profundidad del perfil, color en estado húmedo, textura, pH, capacidad de intercambio catiónico, carbono total, hidrógeno y aluminio intercambiables, fósforo y nitrógeno total.

Según el mapa de suelos elaborado por Zavala el tipo de suelo que debería presentar la región debe ser gleysol (FAO 1989), sin embargo, actualmente el suelo del sitio de estudio

de crecimiento entre las diferentes fechas y posteriormente la transformamos a arcoseno como lo describe Sokal y Rohlf (1995).

Se realizó una correlación entre la supervivencia y el crecimiento, para analizar una posible relación entre las dos variables. En este análisis se utilizaron los promedios de las proporciones de los datos de supervivencia y crecimiento en la última fecha de colecta de datos sin la transformación de arcoseno. Los datos fueron arreglados en una matriz de correlación y computados por el método de correlación de Pearson, en el programa para computadora SYSTAT 7.

## 7. Resultados

El capítulo de los resultados se divide en cuatro apartados: *i*) el análisis del suelo las unidades de paisaje, *ii*) el análisis estadístico de la supervivencia de las plántulas, *iii*) el análisis estadístico del crecimiento de las plántulas, y *iv*) el resultado de la correlación de supervivencia y crecimiento de las plántulas.

### 7.1. Análisis químico del suelo

Todos los datos químicos provenientes del laboratorio están resumidos en la Cuadro 4. Para cada una de las ocho unidades de paisajes se presentan los siguientes datos: profundidad del perfil, color en estado húmedo, textura, pH, capacidad de intercambio catiónico, carbono total, hidrógeno y aluminio intercambiables, fósforo y nitrógeno total.

Según el mapa de suelos elaborado por Zavala el tipo de suelo que debería presentar la región debe ser gleysol (FAO 1989), sin embargo, actualmente el suelo del sitio de estudio

presenta un fuerte impacto antropogénico (con aporte de materiales de otros sitios). El pH del suelo de las ocho unidades de paisaje mostró variaciones entre 4.7 y 7.3; la relación carbono-nitrógeno presentó alteraciones en todas las muestras colectadas. El fósforo en todas las unidades de paisaje presentó valores normales, excepto las unidades "ACA1" y "PAZ2" que presentaron deficiencias. El calcio y el magnesio mostraron valores altos en todas las unidades de paisaje en comparación con las concentraciones reportadas en otros estudios.

En lo que respecta al resto de los cationes intercambiables y el pH, éstos se consideran dentro de los valores promedio reportados para suelos tropicales (Sollins *et al.* 1996).

## **7.2. Análisis de la supervivencia**

El Cuadro 5 muestra el ANDEVA de la supervivencia de las diez especies en las ocho unidades de paisaje y con las cuatro dosis de fertilización. La interacción entre fertilizante y especie demostró que existe una fuerte relación entre estos factores ( $P= 0.0001$ ), lo cuál se ve reflejado en la supervivencia de cada especie en relación con la dosis de fertilizante. Este análisis demuestra que la supervivencia de cada especie aunque dependió del factor especie en primera instancia, estuvo fuertemente asociado a la dosis de fertilizante que se le adicionó, por lo que en la supervivencia de la especie debe de tomarse en consideración la interacción con la dosis de fertilizante y no solamente al factor especie como el factor principal.

Cuadro 4. Resultados del análisis de los suelos colectados en cada una de las ocho unidades de paisaje.

Clasificación	Profundidad (cm)	Color húmedo	pH	H <sub>2</sub> O destilada	C/g suelo	Carbono orgánico	Al y H intercambiables			Cationes Intercambiables			P (mg Kg <sup>-1</sup> )	Nt (ug g <sup>-1</sup> )	
							M. O. (g Kg <sup>-1</sup> )	H (cmol kg <sup>-1</sup> )	Al (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol Kg <sup>-1</sup> )	Ca (cmol Kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol Kg <sup>-1</sup> )			K (cmol Kg <sup>-1</sup> )
ACA1	0-22	CRL 10 YR 5/6	5.54	6.13	10.75	10.75	18.54	0.11	0.04	2.54	38.00	0.24	0.84	5.04	4578.28
ACA2	3-29	CR 10 YR 5/6	6.10	6.51	9.75	9.75	16.81	0.11	0.75	3.04	41.16	0.80	0.48	32.82	1898.10
ACA3	2-	RA 7.5 YR 6/6	7.24	7.82	3.82	3.82	6.59	0.04	0.00	13.59	37.87	0.53	0.46	15.29	4491.34
HEB1	0-9	CRA 7.5 YR 5/6	7.30	7.76	2.47	2.47	4.26	0.11	0.00	6.57	191.24	1.62	2.82	52.65	2856.82
HEB2	0-6	CRA 2.5Y 5/6	6.77	7.17	6.40	6.40	11.04	0.11	0.00	3.02	54.59	0.54	0.42	9.06	3685.36
HEB3	0-9	CR 5YR 5/8	6.48	6.77	10.25	10.25	17.66	0.11	0.00	2.52	47.24	0.71	0.49	9.87	8764.02
PAZ1	0-31	CRL 2.5Y 5/6	4.66	6.08	5.41	5.41	9.33	0.11	0.56	2.25	58.01	0.36	0.40	9.95	2442.57
PAZ2	0-13	CRA 7.5 YR 5/6	7.15	7.47	5.43	5.43	9.36	0.11	0.00	4.74	31.41	0.71	0.41	3.46	3568.94

\*CRA: Franco arcillo arenosa

CRL: Franco arcillo limosa

CR: Franco arcillosa

RA: Arcillo arenosa

En la interacción de "dosis de fertilizante y unidad de paisaje", el análisis demostró que no existen diferencias significativas entre ellos ( $P= 0.626$ ), por lo que, la respuesta de cada uno de los factores principales en la supervivencia es independiente de la interacción. La interacción entre "especie y unidad de paisaje" demostró que existen diferencias altamente significativas en la supervivencia ( $P= 0.0001$ ), entre las diferentes especies y entre las diferentes unidades de paisaje. Esta interacción demuestra que la supervivencia de las especies depende en primera instancia del factor especie y, está fuertemente influenciada por la unidad de paisaje, por lo que no se puede asegurar que el factor especie *per se* es el más importante sin tomar en consideración cada una de las unidades de paisaje.

Existen diferencias significativas entre los promedios de los factores principales: "Especies", "Unidades de paisaje" y "Dosis de fertilizante" ( $P < 0.001$ ). Para facilitar la interpretación en gráficas, los promedios de la supervivencia ( $\pm 1$  e.e.) fueron retransformados de arcoseno a proporciones.

Cuadro 5. Resumen del ANDEVA aplicado a la supervivencia de las diez especies y las diferentes interacciones entre las demás variables del experimento.

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F <sup>2</sup>	P
Especies	30667.0	9	3407.45	32.53	0.0001
Unidad de Paisaje (UP)	18789.2	7	2684.17	25.62	0.0001
Fertilizante	4140.14	3	1380.05	13.17	0.0001
Interacciones					
Fertilizante-especie	6958.34	27	257.71	2.46	0.0001
Fertilizante-UP	1919.96	21	91.43	0.873	0.626* n.s.
Especies-UP	14325.2	63	227.38	2.17	0.0001
Error Estándar	17911.8	171	104.75		

n.s. = no significativo

Debido a que el diseño de Unidades de Paisaje fue un arreglo posterior del diseño inicial de parcelas y, que este cambio pudiera incidir en los resultados de supervivencia y crecimiento de las especies derivado de la transición de un diseño balanceado a un diseño no balanceado en las Unidades de Paisaje, realizamos un segundo análisis de supervivencia de las especies mediante tablas de contingencia para cada una de las especies (Sokal & Rohlf 1995). Todos los individuos de cada especie fueron agrupados según la dosis de fertilizante y por tipo de cobertura (acahuatl, herbáceas y pastizales). Los datos del análisis se presentan en el Cuadro 6. En este análisis destaca las especies *B. alicastrum*, *Ceiba pentandra*, *Tabebuia chrysantha* y *T. Rosea* porque no presentan diferencias significativas en la mortalidad.

Cuadro 6. Tabla de supervivencia por especie

Especie	Mortalidad (P)
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.16957* n.s.
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.00003
<i>Ceiba pentandra</i>	0.21160* n.s.
<i>Colubrina arborescens</i>	0.00140
<i>Diphysa americana</i>	0.00025
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.01921
<i>Pimenta dioica</i>	0.00001
<i>Pouteria sapota</i>	0.00003
<i>Tabebuia chrysantha</i>	0.13894* n.s.
<i>Tabebuia rosea</i>	0.40982* n.s.

n.s. no significativo

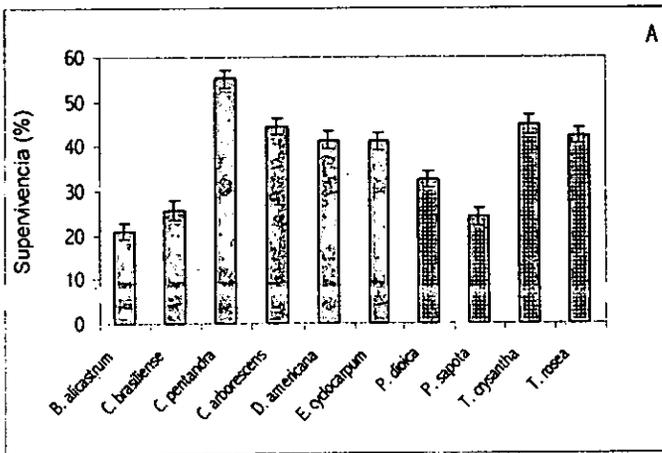
En la Figura 6 se presentan los factores "Especie", "Unidad de paisaje" y "Dosis de fertilizante". En cada uno de los análisis de los factores, los promedios presentaron diferencias altamente significativas en los promedios de la supervivencia. Este resultado debe tomarse siempre con la reserva de considerar que cada factor estuvo influenciado por sus interacciones, por lo que se aprecia una alta variación de supervivencia. En la Figura 6a destaca *Ceiba pentandra* como la especie con mayor supervivencia en todas las unidades de paisaje, mientras que *Brosimum alicastrum* fue la especie con menor supervivencia en todas las unidades de paisaje. De las ocho unidades de paisaje destacan las unidades que presentaron vegetación de acahual ("ACA1" y "ACA3"), ya que las plántulas presentaban el valor promedio más alto de supervivencia. La unidad de paisaje con malezas ("HEB2") fue la unidad que presentó el promedio de porcentaje más bajo (Figura 6b). De manera general es claro que la mayor supervivencia de plántulas se presentó en las unidades donde la vegetación circundante favoreció la supervivencia como es el caso de los acahuales. En la Figura 6c, se presenta el efecto de la dosis de fertilizante, donde se aprecia que la menor supervivencia se detectó en la dosis más alta "Q". En contraparte, la mayor supervivencia se presentó en la dosis testigo sin fertilización "T", lo que sugiere que la interacción "Especie" x "Dosis de fertilizante" fue determinante para la supervivencia de las especies.

La Figura 7 presenta la interacción altamente significativa de los factores "Especie" y "Dosis de fertilizante" en la supervivencia de las especies. A partir de la interpretación del efecto de las cuatro dosis sobre las especies, se aprecia que éstas se agruparon en dos

conjuntos. El primer grupo aglutina a especies con un decremento de la supervivencia a medida que se aumenta la concentración de fertilizante hasta llegar a la dosis más alta "Q", como es el caso de *Calophyllum brasiliense*, como producto adverso de la interacción. El otro grupo se integra por especies como *Tabebuia chrysantha* y *T. rosea*, donde las diferentes dosis de fertilizante no mostraron una tendencia en la supervivencia. En este caso, parece ser que la interacción a dosis altas no tiene efectos positivos. Vale la pena destacar el caso de *Ceiba pentandra*, en la cual hubo una mayor supervivencia al aplicar una dosis más alta de fertilizante.

La Figura 8 presenta la interacción altamente significativa entre los factores "Especie" x "Unidad de paisaje". De manera general, es claro que la supervivencia máxima se presentó en las unidades de paisaje con acahual y la mínima en las unidades de herbáceas. Se observó una heterogeneidad de respuestas en cada una de las especies con respecto a las unidades de paisaje. Por ejemplo, *B. alicastrum* presentó el promedio de supervivencia máxima en la unidad "ACA2" (acahual), en comparación con la unidad de herbáceas "HEB1". En el caso de *C. brasiliense* el promedio más alto se observó en la unidad "ACA3" (acahual de *Muntingia calabura*), mientras que el menor se encontró en la unidad "HEB3" (pastizal). La supervivencia de *C. pentandra* fue inversa a las dos anteriores porque, alcanza los promedios más altos de supervivencia en las unidades con pastizales, como es el caso de la unidad "PAZ1" y el menor en "HEB2" (herbáceas) y "ACA3" (acahual de *M. calabura*). *Colubrina arborescens*, *P. dioca* y *D. americana*, alcanzaron la mayor supervivencia en las unidades de

acahual (ACA3, ACA1 y ACA2) y la menor en las unidades de herbáceas "HEB1", "HEB3" y "HEB2". *Tabebuia rosea* y *T. chrysantha* obtuvieron la mayor supervivencia unidades contrastantes es decir, en unidades con dosel y sin dosel. Por ejemplo, *T. rosea* presentó valores altos en "ACA3" (acahual de *M. calabura*) y en "HEB3", (herbáceas); mientras que *T. chrysantha* presentó los mayores porcentajes en "PAZ1" (herbáceas) y en "ACA2" (acahual). En lo que corresponde a la supervivencia las especies del género *Tabebuia*, estás presentaron la menor supervivencia en "HEB2" (herbáceas). En general, estas repuestas sugieren las diferentes adaptaciones de las especies al hábitat y al microambiente local. Es evidente que la unidad "HEB2" de herbáceas afectó considerablemente la supervivencia promedio de las especies.



Continua...

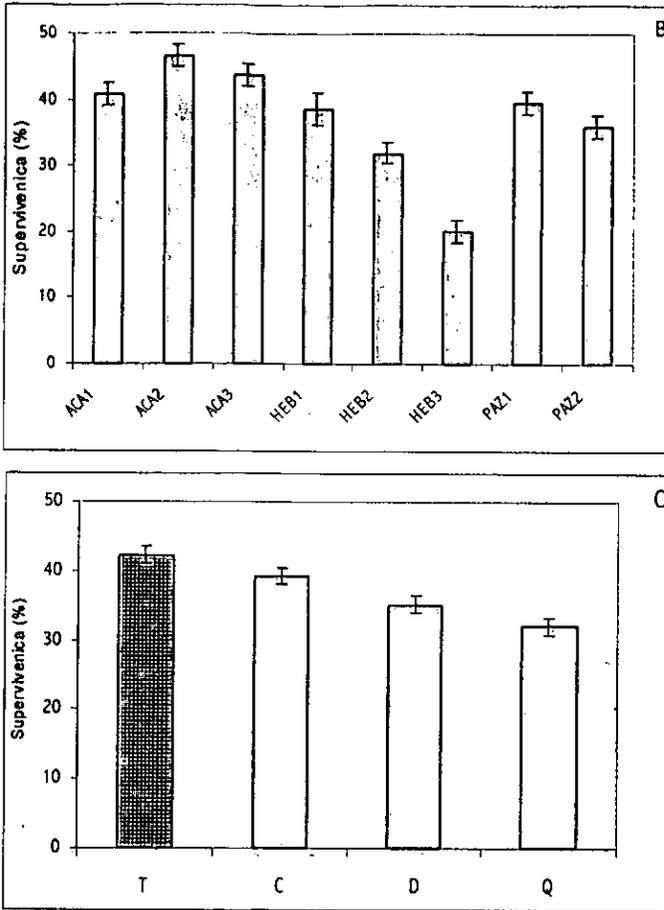


Figura 6. Proporción expresada en porcentaje de la supervivencia de las especies por factor: A) supervivencia de especie, B) supervivencia por unidades de paisaje y C) Efecto de la fertilización en la supervivencia. Observa que las escalas son distintas en cada gráfica.

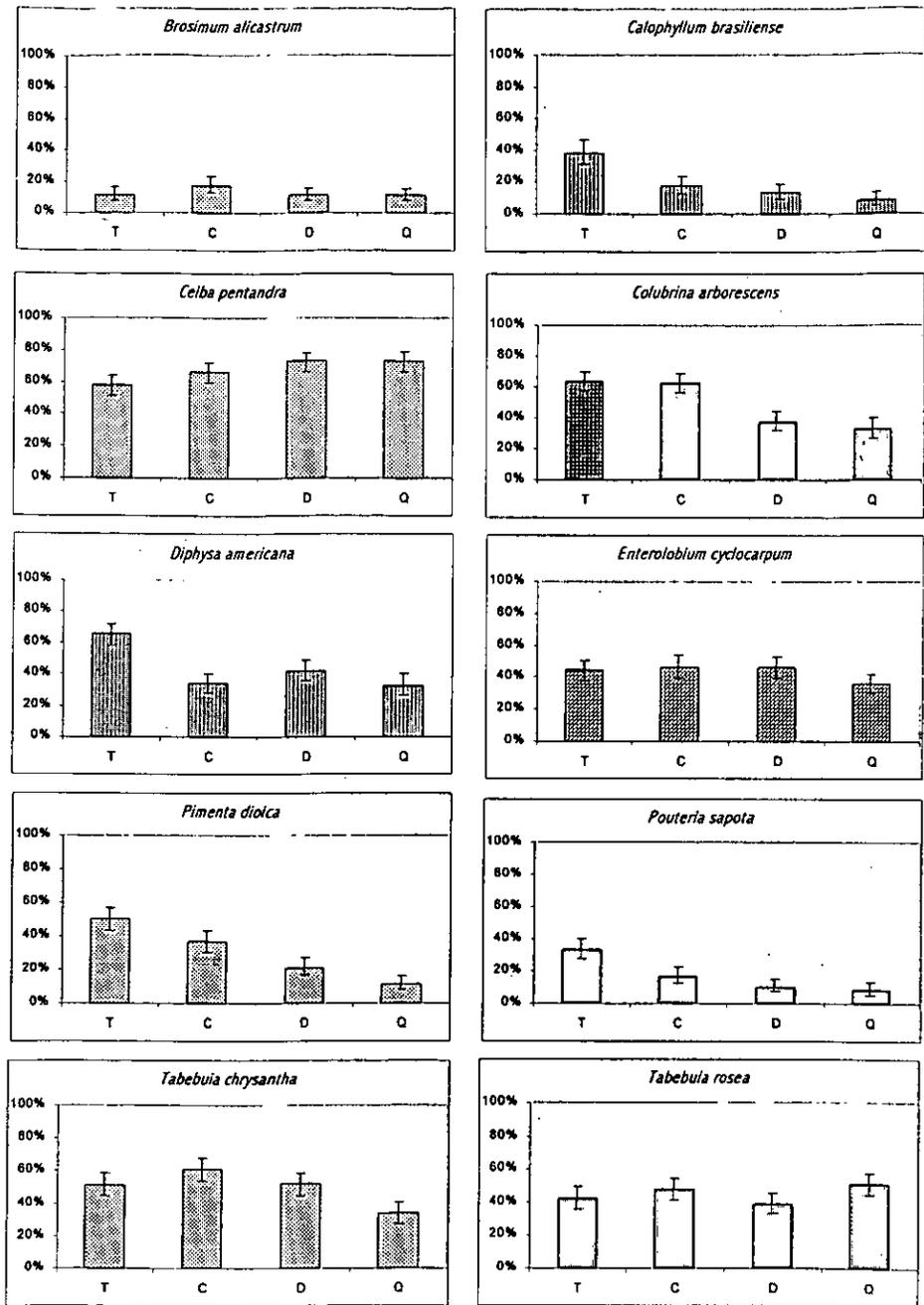
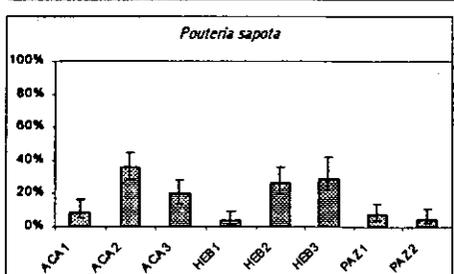
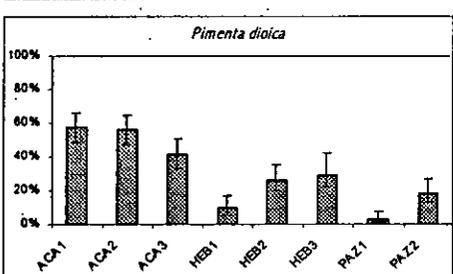
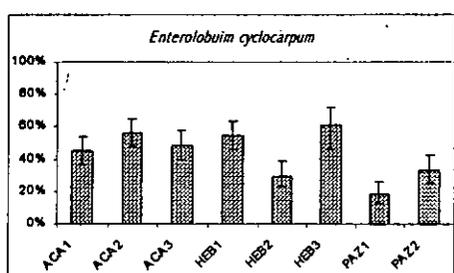
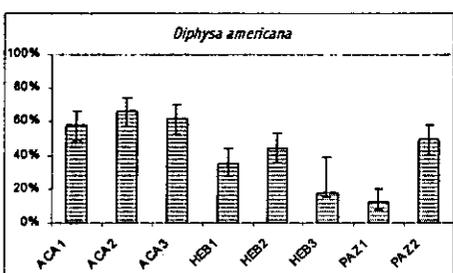
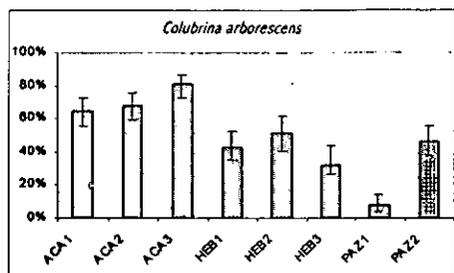
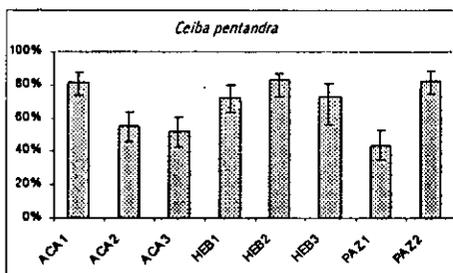
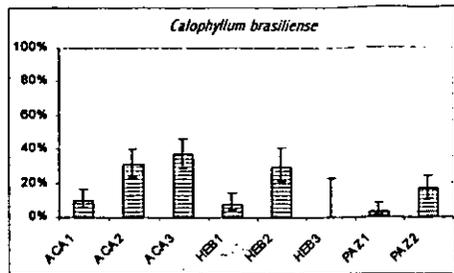
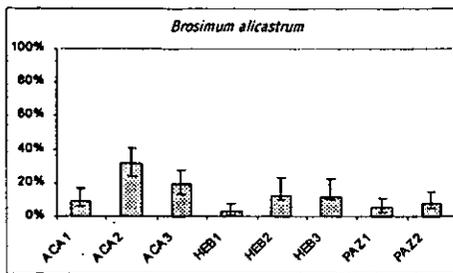


Figura 7. Proporción expresada en porcentaje de la supervivencia de las especies bajo cuatro dosis de fertilización. T= testigo, C= 150 g, D= 375 g, y Q= 750g.



continua...

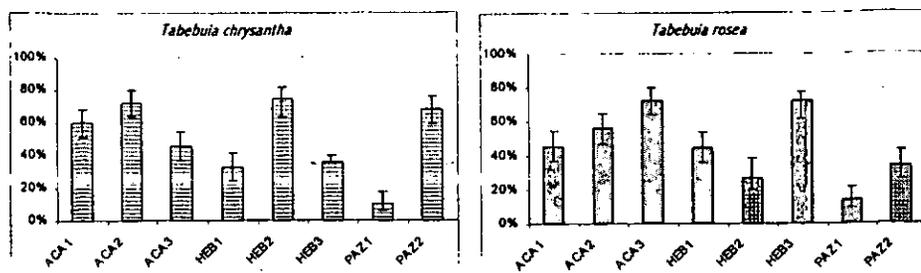


Figura 8. Proporción expresada en porcentaje de la supervivencia de las diez especies en las ocho unidades de paisaje. ACA3= bosque de *Muntingia calabura*, HEB1= herbáceas en parcela 1, HEB3= pastizales de en parcela 1 y 2, ACA1= acahual de la parcela 4, ACA2= acahual de la parcela 5, HEB2= malezas parcela 6 y PAZ2= pastizal en suelo rojo.

### 7.3. Análisis del crecimiento

En el Cuadro 7 se presentan los resultados del ANDEVA del crecimiento de las diez especies con cuatro dosis de fertilizante y con respecto a su ubicación en las siete unidades de paisaje. Una unidad de paisaje (HEB3) no se incluyó por las razones que ya se explicaron en la sección de métodos.

El Cuadro 7 muestra que el resultado del análisis de la interacción entre "unidad de paisaje y especie" demostró que no existen diferencias significativas ( $P= 0.1742$ ), por lo que el crecimiento de cada especie en cada una de las unidades de paisaje depende de los factores principales y no de la interacción entre ellos. El análisis de la interacción entre "dosis de fertilizante y especie" demostró que existe una fuerte relación entre el efecto de la dosis de fertilizante y el tipo de especie al que se le aplicó ( $P= .007$ ). El resultado de la interacción permite, con reserva de tomar en consideración, señalar que el crecimiento de cada especie depende la dosis de fertilizante y, que esta interacción condiciona a cada factor a señalar que

a señalar que bajo este proceso los resultados son los mostrados por los factores principales. El resultado del análisis de crecimiento de la interacción entre "especie y fecha", demostró que existe una fuerte relación entre ambos factores ( $P= 0.0001$ ), por lo que el crecimiento de las diferentes especies en los tres intervalos de tiempo, dependen en primera instancia del tipo de especie, pero también de las diferentes dosis de fertilización, por lo que no se puede atribuir el crecimiento únicamente al tipo de especie. El análisis de la interacción entre "dosis de fertilizante y unidad de paisaje" ( $P= 0.0586$ ) reflejó que la interacción entre los dos factores no presentó diferencias significativas, por lo que cada uno de los factores actuó independientemente. La interacción entre los factores "fecha y unidad de paisaje" demostró que existe una relación altamente significativa entre estos dos factores ( $P= 0.0001$ ), por lo que el crecimiento entre los tres diferentes intervalos de tiempo debe tomarse con reserva cuando se mencione ya que está influenciado por el factor unidad de paisaje y depende de esta interacción su respuesta. El resultado de la interacción entre los diferentes "intervalos de tiempo y las diferentes dosis de fertilizante" demostró que el crecimiento entre las diferentes fechas depende del factor dosis de fertilizante y no solamente de los intervalos de medición o viceversa ( $P= 0.0001$ ).

Por otro lado, el ANDEVA de los tres factores ("Especie", "Dosis de fertilizante", y "Fecha") son altamente significativos ( $P < 0.001$ ), mientras que el factor "Unidad de paisaje", resultó no significativo ( $P= 0.0565$ ).

Hay que tomar en cuenta que este análisis de varianza se trata de un diseño no balanceado. El diseño no balanceado tiene como consecuencia que la suma de cuadrados asociado con un factor depende de la suma de cuadrados de otro o su interacción ("efectos no ortogonales"; SYSTAT1996). Por tanto, era de interés analizar la sensibilidad de algunos factores poco o no significativos a un cambio en el modelo de ANDEVA empleado.

Al cambiar el diseño a un diseño más - aunque no perfectamente - balanceado, usando "Parcelas de una hectárea" (véase métodos en diseño inicial del experimento) en lugar de "Unidades de paisaje", resultaron las mismas conclusiones excepto que la interacción entre parcela y especie se volvió ahora altamente significativa. Al variar entre diferentes modelos (es decir, combinaciones de factores e interacciones), fue obvio que hubo una correlación entre el factor "Unidad de paisaje" por un lado y la interacción "Unidad de paisaje y "Especie" por el otro. Al excluir la interacción, la "Unidad de paisaje" cambió de "casi" significativa ( $P = 0.057$ ) a altamente significativa ( $P = 0.000093$ ); se incluyó en este análisis la unidad de paisaje HEB3, que fue posible por no usar la interacción). Por tanto, las diferencias abióticas entre las unidades de paisaje fueron suficientemente distintas para detectar diferencias en el crecimiento. Sin embargo, no se pudo distinguir bien si además la respuesta a la unidad del paisaje dependía de la especie. Biológicamente se esperaría que exista tal interacción para las especies especialistas, pero no para especies generalistas.

Para la mejor visualización de los análisis, se presentan gráficas de todos los factores y las interacciones significativas. Para construir las gráficas se re-transformaron los valores

en porcentajes; recuerde que los datos de entrada fueron para cada plántula el incremento de la altura en proporción de la altura final, y transformando por la raíz cuadrada y el arcoseno.

Cuadro 7. Análisis de varianza del crecimiento de las diez especies utilizadas y sus interacciones.

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Especie	36190.4	9	4021.15	42.17	0.00001
Unidad de paisaje (UP)	1170.2	6	195.04	2.045	0.0565
Dosis de fertilizante	2188.16	3	729.38	7.649	0.00001
Fecha	66884.4	2	3344.22	350.71	0.00001
<b>Interacciones</b>					
UP x Especie	6078.01	54	112.55	1.180	0.1742
Fertilizante x Especie	4629.37	27	171.45	1.798	0.0070
Fecha xEspecie	29088.7	18	1616.04	16.94	0.00001
Fertilizante x UP	2697.8	18	149.87	1.57	0.0586
Fecha x UP	4699.59	12	391.63	4.107	0.00001
Fecha x Fertilizante	5427.06	6	904.50	9.485	0.00001
Error Estándar	2489.73	2611	95.35		

Como se explicó para el análisis de supervivencia, se realizó un análisis de crecimiento adicional debido al cambio de diseño de muestreo y para corroborar que el argumento estadístico puede ser valido en ambos arreglos, los datos se agruparon por tipo de cobertura (acahual, herbáceas y pastizal), posteriormente se analizaron mediante un ANDEVA de medidas repetidas (Sokal & Rohlf 1995). Este análisis se incluyó porque retoma el diseño inicial y toma en cuenta la no-independencia de los datos entre las fechas, lo cuál se ajusta al tipo de datos que registramos para el experimento (Cuadro 8). De este análisis destaca la

interacción "Fecha" x "Categoría de suelo", la cuál no presentó diferencias significativas ( $P=0.400$ ).

Cuadro 8. Análisis de crecimiento de las especies por el método de medidas repetidas

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Especie	0.373	9	0.414	32.485	$P < 0.05$
Fertilizante	0.017	3	0.005	4.482	0.005
Categoría de suelo	0.008	2	0.001	3.422	0.036
Error	0.134	105	0.001		
Interacciones					
Fecha	0.163	2	0.082	115.0	$P < 0.05$
Fecha x especie	0.225	18	0.012	17.539	$P < 0.05$
Fecha x fertilizante	0.015	6	0.002	3.582	0.002
Fecha x categoría de suelo	0.002	4	0.0007	1.015	0.400* n.s.
Error	0.150	210	0.0007		

n.s. no significativo.

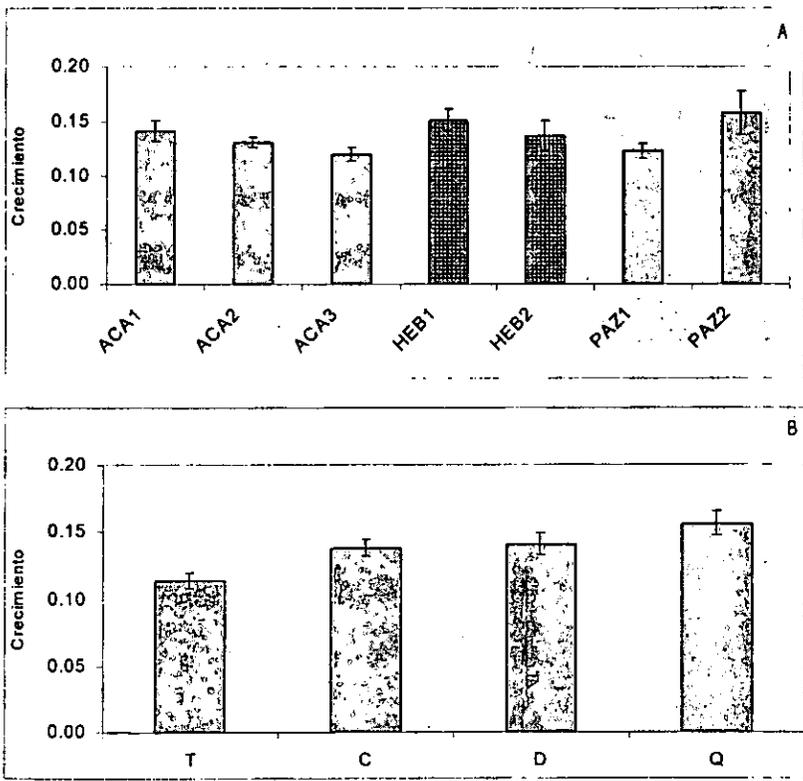
La Figura 9 presenta el crecimiento porcentual de la altura en función de los factores "Unidad de paisaje", "Dosis de fertilizante", "Especie", y "Fecha". En la Figura (9b) se observa que el promedio de las dosis de fertilizante fueron altamente significativas ( $P < 0.001$ ) sobre el crecimiento de las especies, observándose un patrón de mayor crecimiento con la dosis mayor "Q", como era esperado. El ANDEVA del crecimiento de todas las especies (Figura 9c) muestra diferencias en los promedios altamente significativos entre ellas ( $P=0.00001$ ), destaca el promedio de mayor crecimiento de *E. cyclocarpum*, mientras el menor lo presentó *P. sapota*. El factor de los intervalos de tiempo "Fechas" resultaron altamente significativos ( $P=0.00001$ ), como se aprecia en la Figura (9d) destaca el mayor crecimiento en el intervalo más largo de marzo 99 a noviembre 99. Este intervalo incluye

también la época con la mejor combinación de mucha lluvia y calor entre junio y septiembre. Es necesario recordar que estos niveles de significancia en el crecimiento son influenciados por las interacciones de los otros factores con quienes interactúan, por lo que la significancia estadística de los factores depende sus interacciones.

La Figura 10 presenta la interacción significativa ( $P=0.007$ ) entre "Especie" y "Dosis de fertilizante", en las figura se aprecia que cada especie sigue un patrón de crecimiento determinado por la interacción. Se ven tres patrones distintos: a) el primer grupo se presenta el patrón esperado en *C. pentandra*, *P. dioica* y *T. chrysantha*, en las cuales una mayor dosis de fertilizante indujo un mayor crecimiento promedio. b) el segundo patrón se encuentra en *C. arborescens* y *P. sapota*, donde una pequeña dosis de fertilización aumenta el promedio de crecimiento, pero una dosis alta afecta negativamente a los individuos. c) El tercer patrón representa una respuesta difícilmente explicable; por ejemplo, en *B. alicastrum*, la dosis "D" mostró menor crecimiento que la dosis más baja y las dosis más alta.

La Figura 11 muestra la interacción altamente significativa de los factores "Especie" y los tres diferentes intervalos de medición "Fecha" ( $P < 0.05$ ) sobre el crecimiento de las plántulas. Destaca el periodo de mayo a noviembre de 1999 como el periodo en el cual la interacción fue más alta para todas las especies. El ejemplo de *B. alicastrum* y *P. sapota* demuestra que en promedio, el crecimiento en el primer intervalo de tiempo fue mayor que en el último. En *C. brasiliense*, y *T. rosea* este patrón se presentó al revés; el crecimiento fue mayor en el último intervalo de tiempo y menor en el primero.

El patrón de crecimiento de las plántulas en la interacción "Unidad de paisaje" X "Fecha" observado en la Figura 12 presentó diferencias altamente significativas ( $P=0.00001$ ) y es similar en el crecimiento del intervalo de mayo a noviembre, como se observa para las especies en la Figura 11. Finalmente en la Figura 13 se muestra el efecto de la dosis de fertilizante durante el intervalo de medición sobre el crecimiento. El efecto principal ocurrió en el segundo intervalo (Mar99-Nov99), cuando una mayor dosis indujo un mayor crecimiento, mientras que en los otros dos intervalos (Dic98-Mar99 y Nov99-May00) los efectos de diferentes dosis no son significativas.



continua...

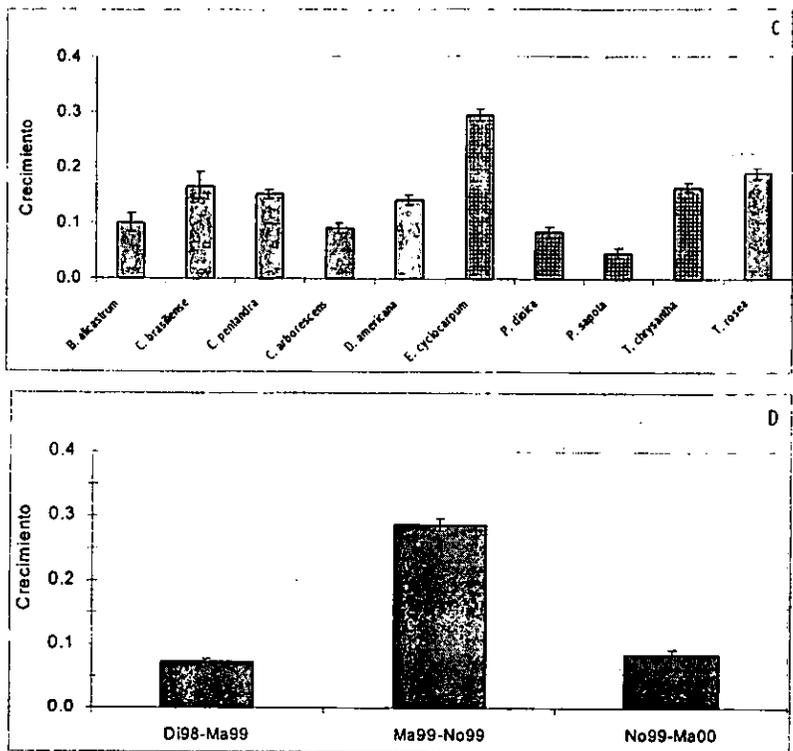
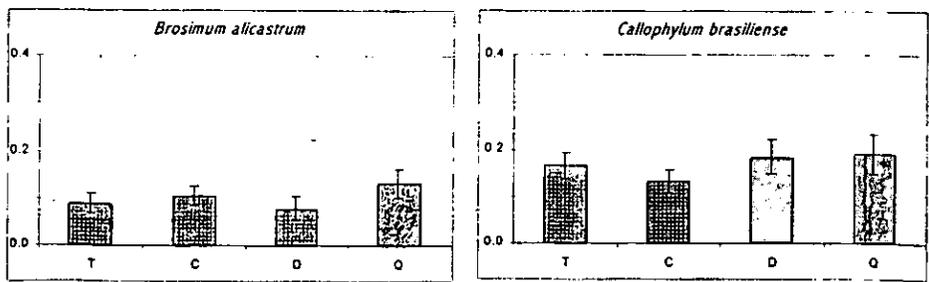


Figura 9. Proporción del crecimiento de las especies por factor: A) por unidad de paisaje, B) por dosis de fertilizante, C) por especie y D) por intervalo de crecimiento de tiempo. Observe las diferentes escalas. ACA3= bosque de *Muntingia calabura*, HEB1= herbáceas en parcela 1, HEB3= pastizales de en parcela 1 y 2, ACA1= acahual de la parcela 4, ACA2= acahual de la parcela 5, HEB2= malezas parcela 6 y PAZ2= pastizal en suelo rojo.



continua...

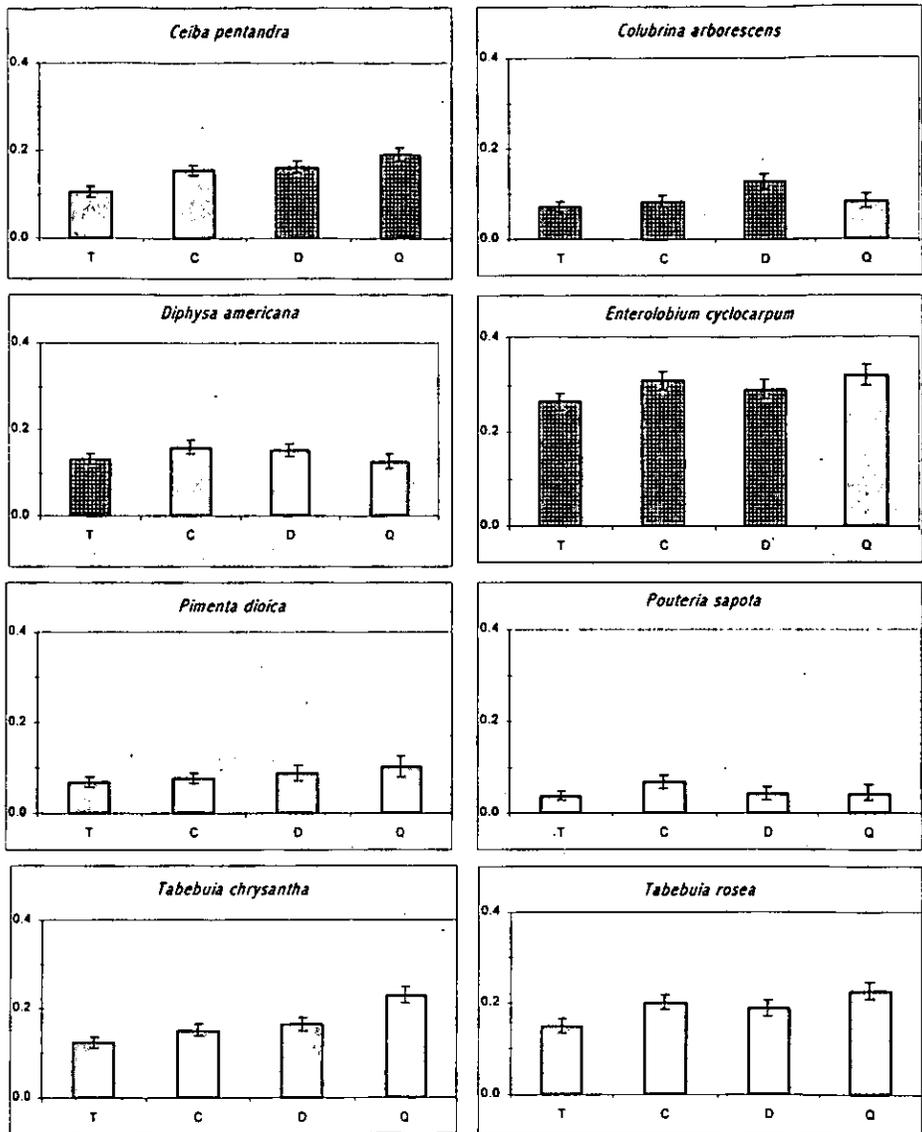


Figura 10. Proporción del crecimiento de las especies bajo las dosis de fertilización. T= testigo, C=150g, D= 325g y Q= 750g.

Crecimiento

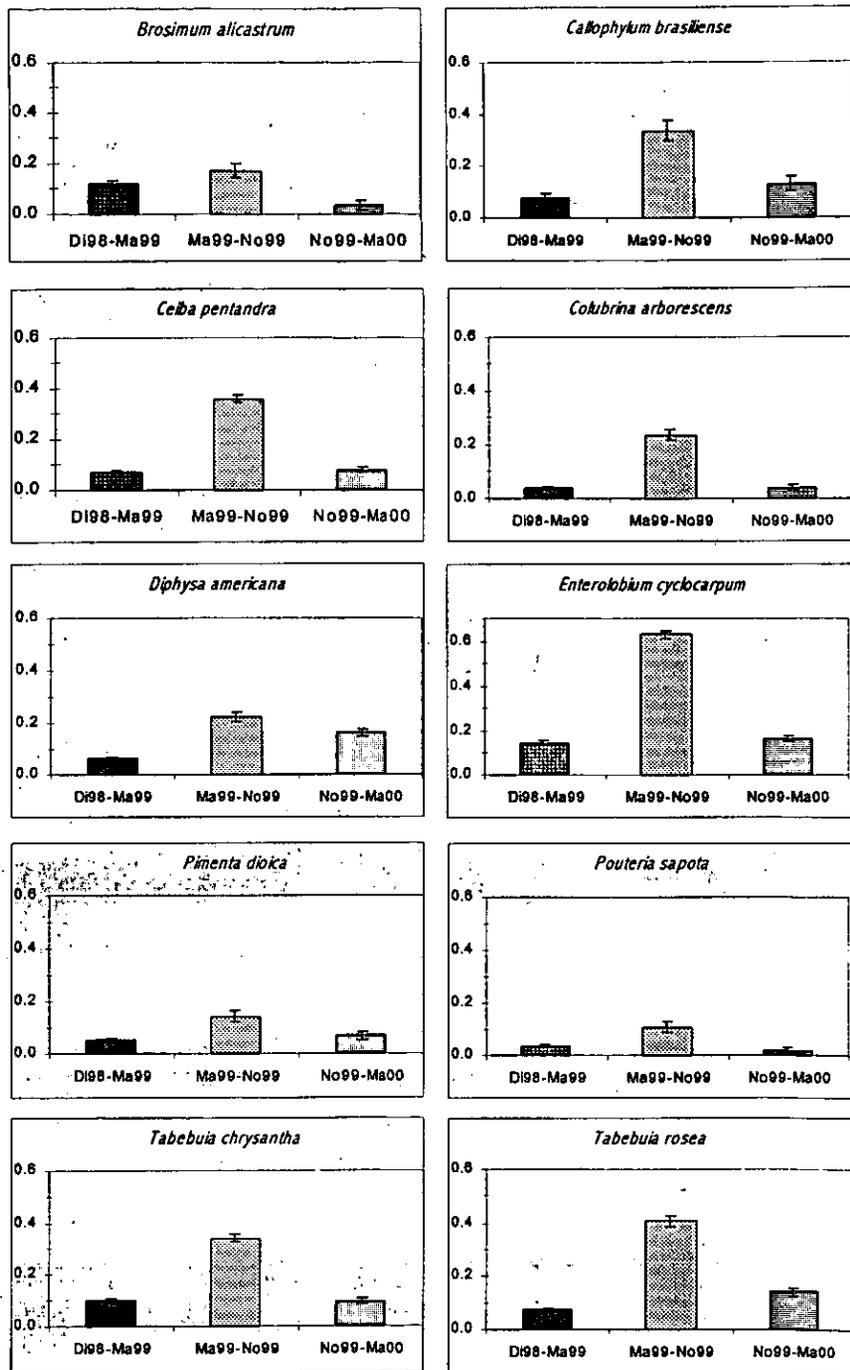


Figura 11. Proporción del crecimiento de las especies en los diferentes intervalos de tiempo

Crecimiento

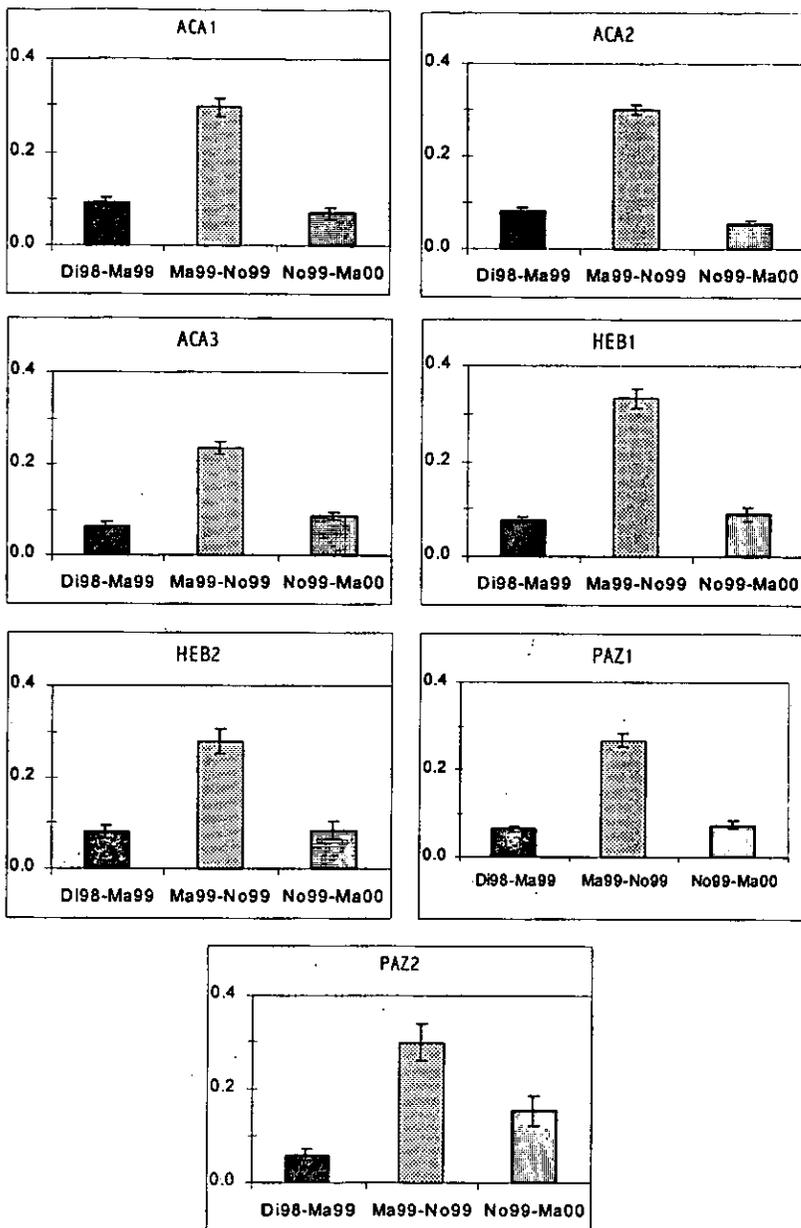


Figura 12. Proporción de crecimiento en cada unidad de paisaje en los tres intervalos de tiempo evaluados. ACA3= bosque de capulín, HEB1= herbáceas en parcela 1, HEB3= pastizales de en parcela 1 y 2, ACA1= acahual de la parcela 4, ACA2= acahual de la parcela 5, HEB2= malezas parcela 6 y PAZ2= pastizal en suelo rojo.

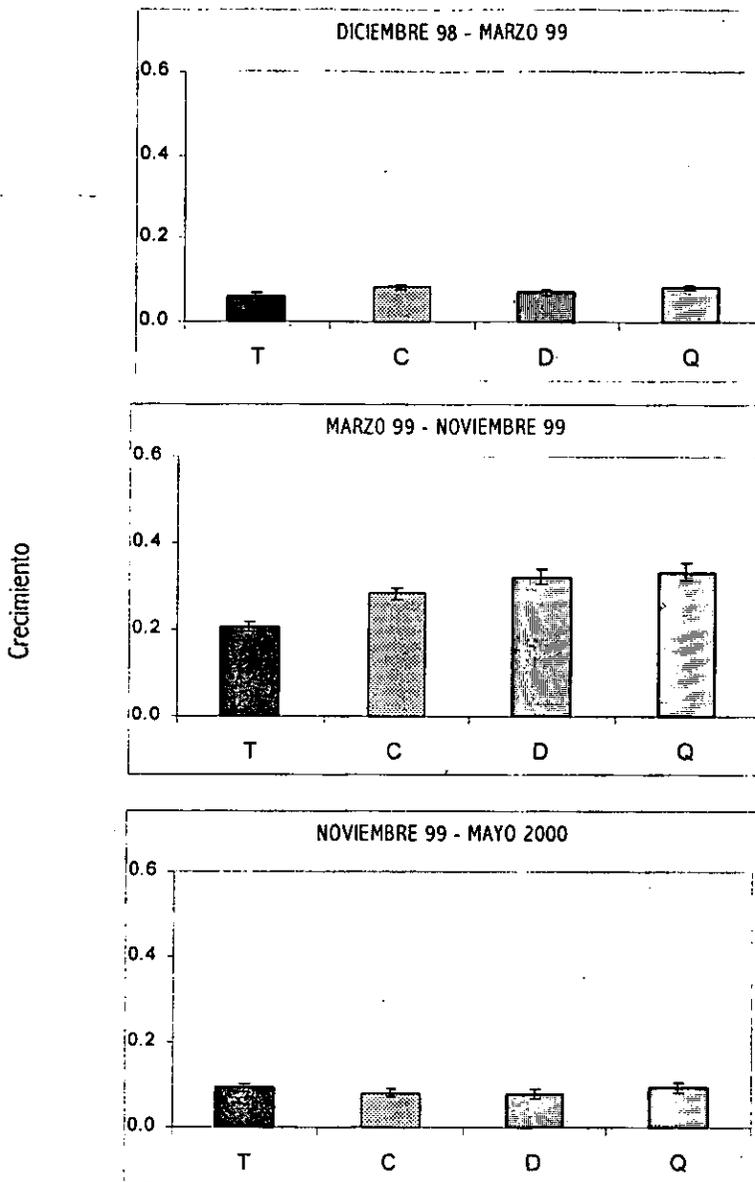


Figura 13. Proporción del efecto del fertilizante sobre el crecimiento en los tres intervalos de evaluación. Observe que cada gráfico tiene diferentes escalas. T= testigo, C=150g, D= 375g y Q= 750g.

### *7.3.a. Análisis de crecimiento agrupando a las especies de rápido y lento crecimiento.*

Para evitar que el crecimiento de las especies que crecen rápido permitiera sobre o subestimar el crecimiento de las especies de lento crecimiento se decidió hacer un análisis en el que estuvieran las especies agrupadas según su tipo de crecimiento. El Cuadro 9 muestra el ANDEVA del promedio de crecimiento de las especies asociadas como grupos de rápido y lento crecimiento. El factor "Unidad de paisaje" tuvo efectos significativos sobre el promedio del crecimiento de los dos grupos de especies ( $P = 0.0014$ ), El factor "Tipo de crecimiento" de los dos grupos de especies fue también significativo ( $P < 0.005$ ); el promedio del factor "Dosis de fertilización" fue altamente significativo ( $P < 0.005$ ) y el "Intervalo de medición" también fue altamente significativo ( $P < 0.005$ ). Las interacciones entre "Intervalos de medición" x "Unidad de paisaje" presentaron niveles de significancia altos ( $P < 0.001$ ), "Dosis de fertilizante" x "Tipo de crecimiento" también fue significativa ( $P = 0.005$ ), la interacción "Intervalo de medición" x "Tipo de crecimiento" fue altamente significativo ( $P < 0.001$ ) y, la interacción "Intervalo de medición" x "Dosis de fertilizante" también fue significativa ( $P < 0.001$ ).

Por otra parte, las interacciones "Tipo de crecimiento" x "Unidades de paisaje" y "Dosis de fertilización" x "Unidades de paisaje" no presentaron diferencias significativas ( $P > 1.0$ ).

Cuadro 9. ANDEVA de la asociación de especies en dos grupos de acuerdo al tipo de crecimiento

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F2	P
Unidad de paisaje (UP)	3039.65	6	5.0660.8	4.5296	0.0001
Tipo de crecimiento	15911.3	1	15911.3	142.65	0.00001
Dosis de fertilizante	2956.58	3	985.26	8.811	0.00008
Fecha	96266.8	2	48133.4	430.36	0.00001
Interacciones					
Tipo de crec. * UP	931.58	6	155.26	1.388	0.21539
Dosis de Fert* UP	2293.12	18	127.39.5	1.139	0.30612
Fecha * UP	6149.07	12	512.42	4.582	0.00001
Dosis de Fert * Tipo de crec	1418.54	3	472.846	4.2278	0.0054
Fecha * Tipo de crec	12904.4	2	6452.21	57.690	0.00001
Fecha-Fertilizante	5759.23	6	959.871.	8.5823	0.00001
Error Estándar	302758.0	2707	111.842		

#### 7.4. Relación entre supervivencia y crecimiento

El análisis de correlación de Pearson mostró que no existe correlación entre la supervivencia y el crecimiento de las especies ( $r = -0.016$ ).

## 8. Discusión

En este estudio se analizó la posibilidad de acelerar la recuperación de la selva con especies nativas por medio de la reforestación y la fertilización en las instalaciones de "Nuevo Pemex" en Tabasco.

Actualmente, es poco lo que se sabe sobre los resultados de la aplicación de fertilizantes sobre especies forestales de los trópicos; el número de publicaciones en este respecto es bajo y también las experiencias son escasas (Vitousek 1994; Singh *et al.* 1997). Las especies de este estudio tienen en común que no existe información en la literatura científica sobre su desempeño en plantaciones bajo fertilización. En este aspecto, toda la información científica generada aquí es nueva. Autores como Bengtson (1976), Dralle y Bo Larsen (1995) han demostrado que la aplicación de diferentes dosis de fertilizante a plantaciones forestales de coníferas permite pronosticar cuál es la dosis apropiada para inducir un mejor crecimiento. Este tipo de manejo permite conocer los requerimientos de cada especie para su óptimo crecimiento. Black (1965), Chapin III (1988) encontraron que la disponibilidad de los nutrimentos depende del tipo de suelo y de su estado de conservación. Esta característica se adiciona a los requerimientos nutricionales de cada especie.

Según el mapa de clasificación de suelos de la zona, la selva de Nuevo Pemex debería tener suelos del tipo gleysól (FAO 1989), pero actualmente los suelos tienen impacto antropogénico (con aporte de materiales de otros sitios en algunas partes). El pH presentó variaciones entre 4.7 y 7.3, la relación de carbono y nitrógeno se desvió de la relación ideal

de 10 a 1, y en algunas parcelas se presentaron deficiencias de fósforo. Las concentraciones de calcio y magnesio fueron muy altas en relación con las concentraciones reportadas para este tipo de suelo en otros estudios. Esto probablemente se debe a los aportes con yeso y cal en el material de relleno. En lo que respecta al resto de los cationes intercambiables y el pH, estos se consideran dentro de los valores promedio reportados para suelos tropicales (Siebe *et al.* 1994, Ricker *et al.* 2000, Sollins *et al.* 1996, Montagnini y Porras 1998, Tiessen *et al.* 1994, Montagnini y Sancho 1990, Parrota 1992).

En los análisis estadísticos destacaron las siguientes observaciones:

- 1) Hubo diferencias significativas en la supervivencia después de 15 meses, entre las diez especies ( $P=0.00001$ ), que demuestra que cada especie respondió de forma distinta a las condiciones en las que sobrevivieron y que esta repuesta estuvo influenciada por la interacción con otros factores analizados. En este contexto Aide *et al.* (1995) encontraron que la supervivencia de las especies leñosas en sitios de recuperación está íntimamente ligado al tipo de vegetación aledaño, por lo que las especies dependen en cierta forma de las ventajas que tengan en el sitio. En este estudio nosotros encontramos que la interacción de la supervivencia de las especies en las unidades de paisaje resultó significativa, lo cuál concuerda con lo antes mencionado ( $P=0.0001$ ). Asimismo, las diferencias estadísticas en las cuatro dosis de fertilización ( $P=0.00001$ ), se fundamentan con lo reportado por Bengtson (1976), Dralle y Bo Larsen (1995) en donde establecen que existen dosis de fertilizante particulares, dependiendo de los

requerimientos nutricionales y de la capacidad fisiológica de cada especie. En nuestro estudio quedo demostrado que existen diferencias entre las dosis de fertilizante pero, estas dependen de las interacción con las especies, ya que la interacción entre las cuatro dosis de fertilizante y las diez especies depende de cada una de las interacciones y no solamente de la cantidad de fertilizante aplicado o del gremio al que pertenecen las especies.

- 2) Bajo el contexto de supervivencia por factores, las especies con mayor supervivencia fueron *Ceiba pentandra*, *Colubrina arborescens*, *Tabebuia chrysantha* y *Tabebuia rosea*. Esta diferencia se explica en parte porque son especies que de manera natural se distribuyen en sitios perturbados con etapas tempranas de sucesión ecológica ,además de que pertenecen al gremio de especies de rápido crecimiento, por lo que están facultadas para responder a radiación alta o baja (Strauss-Debenedetti y Bazzaz 1991). Por otro lado, la mayor supervivencia de la población de plántulas de rápido crecimiento está asociada a la característica heliofila que las faculta no solo para crecer rápidamente en sitios abiertos sino, también para sobrevivir en competencia con la comunidad (Martínez-Ramos y Alvarez-Buyllia 1986).
- 3) Otro factor al que puede ser atribuible y vinculado directamente con la supervivencia de las especies es la interacción con el tipo de cobertura en que se realizó el trasplante. Cuando analizamos la supervivencia de las especies en la interacción de fertilizante con unidad de paisaje ( $P= 0.626$ ), encontramos que la respuesta no es significativa y por

lo que deducimos que la supervivencia es independiente de la unidad de paisaje cuando se adiciona fertilizante, aunque trabajos de reforestación con especies de selva primaria realizados por Zahawi y Augspurger (1999) en pastizales cultivados demostraron que la baja supervivencia de las especies arbóreas se debe a que interactúan con pastos mismos que, compiten muy agresivamente por los recursos, desplazando a las especies arbóreas de lento crecimiento. En este mismo contexto Nepstad *et al.* (1996) compararon la permanencia de plántulas trasplantadas en sitios de pastizales abandonados verbigracia sitios de dosel, en este experimento, encontraron que la permanencia de las plántula se da hasta de 20 veces más baja en pastizales abandonados con respecto a los sitios de dosel, debido a que en los pastizales, las plántulas se enfrentan a condiciones ambientales severas como una mayor temperatura del aire, un déficit por la presión de vapor del aire y condiciones de estrés por la mezcla del suelo, lo que probablemente también ocurrió en nuestro experimento, solo que la adición de fertilizante parece que fue más importante y de alguna manera no permitió observar este patrón conductual .

- 4) Otra respuesta a la interacción del análisis de supervivencia de la comunidad de plántulas con respecto a la dosis de fertilizante (Cuadro 8) deja claro que la supervivencia puede ser afectada por la dosis de fertilizante y por el tipo de cobertura, pero que esto depende de la combinación del tipo de especie y de la dosis aplicada, por lo que es necesario analizar a las especies por el gremio al que pertenecen. Las

especies del género *Tabebuia* y *C. pentandra* mostraron que existen diferencias significativas en su supervivencia y que esto aunque era de esperarse, depende de la interacción con los otros factores aunque, ambas especies demostraron tener diferencias significativas en el análisis por especie.

- 5) Las diferencias en la supervivencia entre las cuatro dosis de fertilizante ( $P=0.00001$ ), pueden ser derivadas del efecto nocivo que en forma de sales provocó el fertilizante por falta de humedad en el suelo en cada unidad de paisaje durante su aplicación. Cuando el fertilizante no tiene la suficiente humedad en el suelo funciona como sales al contacto con las raíces, ocasionando desecación por el cambio osmótico en la zona de contacto (Bennema 1977). En nuestro estudio este efecto se pudo haber presentado cuando fertilizamos y la época de lluvias se retardo, lo que provocó que el fertilizante en su forma nociva entrara en contacto con las raíces de las plantas induciendo daños irreversibles. Este efecto se pudo apreciar con mayor precisión en *C. brasiliensis*, *D. americana*, *P. dioica* y *P. sapota* donde, la supervivencia fue significativamente menor con mayor dosis de fertilización. Dependiendo de la capacidad de la especie, la planta no puede absorber suficiente agua en contra de la fuerza osmótica de las sales, lo que tiene por consecuencia que la planta se muere por falta de agua, aún cuando hay cierta humedad en el suelo, por lo que los nutrimentos necesitan cambiar su conformación a formas asimilables para las plantas. En este contexto hay que mencionar la prolongada

época seca de 1999, que puso en situaciones estresantes de humedad a toda la comunidad vegetal.

- 6) Las diferencias que se presentaron entre las diez especies ( $P=0.00001$ ), dan fundamento para respaldar la aseveración de especies de amplia distribución y de selva primaria propuesta por Pennington y Sarhukhán (1988). En esta clasificación destaca la supervivencia que presentaron *Ceiba pentandra*, y las especies del género *Tabebuia*, las cuales obtuvieron los mejores resultados de supervivencia en todas las unidades de paisaje y con todos los factores con los que interactuaron. Una posible causa del crecimiento es que este tipo de especies pueden desarrollarse en ambientes abiertos y cerrados, húmedos, semihúmedos y con una gama de interacciones como se aprecia en su distribución a lo largo y ancho del país (Pennington y Sarukhán 1988, Vázquez-Yanes *et al.* 2000). Por su parte, *Brosimum alicastrum*, *Pouteria sapota* y *Pimenta dioica*, pueden deber su diferencia de supervivencia a una serie de características como las de formar parte del sotobosque de la selva y tolerantes a la sombra, permanecer en latencia por tiempo indefinido para esperar una apertura del dosel y solo entonces crecer (McConnaughay y Bazzaz 1987). Esta característica de permanecer en el sotobosque y no estar expuestas a sitios abiertos en las etapas tempranas de desarrollo de las plántulas se vio reflejado en este experimento al ser claramente diezmadas las poblaciones de estas especies.

7) De las ocho unidades de paisaje destacan las unidades que presentaron vegetación de acahual arbóreo ("ACA1" y "ACA3") como las unidades que obtuvieron el más alto porcentaje de supervivencia, mientras la unidad paisaje con malezas ("P6P") fue la unidad que presentó el porcentaje más bajo (Figura 6). Estudios de Myers *et al.* (2000) sugieren que el tipo y tamaño de cobertura vegetal tienen un papel importante en la supervivencia de las plántulas, porque la densidad de plántulas puede verse afectada por la radiación que penetra en la apertura del dosel. Este resultado concuerda con lo reportado por Nepstad *et al.* (1996) donde mencionan que las plántulas que se desarrollan en sitios abiertos y con mayor radiación están más sometidas a estrés hídrico que las plántulas que se desarrollan bajo un dosel, lo que repercute finalmente en su supervivencia. Mientras que en algunas unidades de paisaje hubo un fuerte estrés hídrico en la época seca (por ejemplo el pastizal "P6P"), otras presentaron inundaciones en la época de lluvias ("HEB1" cerca de un cuerpo de agua). Algunas especies también sufrieron herbivoría aunque no se cuantificó este fenómeno, se observó que *Calophyllum brasiliense*, *Pimenta dioica* y *Pouteria sapota* fueron especies que presentaron altas tasas de herbivoría en los pastizales y paralelamente obtuvieron baja supervivencia. Los estudios efectuados por Holl y Quiros-Nietzen (1999), sugieren que la herbivoría puede ser el factor más importante en la reforestación de los trópicos porque afectan directamente la supervivencia del trasplante, como quedó demostrado en nuestro trabajo.

8) Las especies con mejor crecimiento relativo en la altura fueron en primer lugar *Enterolobium cyclocarpum*, seguido por *Tabebuia rosea*, *Calophyllum brasiliense*, *Ceiba pentandra* y *T. chrysantha*, aunque debe considerarse este resultado con reservas debido a que el resultado estuvo influenciado por la interacción con los otros factores analizados. Este tipo de especies a excepción de *C. brasiliense* se reconocen como especies generalistas y de rápido crecimiento, características que les permiten responder a la luz rápidamente y tener rápido crecimiento (Martínez-Ramos y Alvarez-Buyllia 1986) Resulta interesante que las cuatro especies con mayor crecimiento son también las especies con más amplia distribución (Pennington y Sarukhán 1988). Estas especies tienen mayor abundancia en áreas de vegetación secundaria, y también son frecuentes en la selva madura. Por otro lado las especies que presentaron menor crecimiento (*B. alicastrum*, *C. brasiliense*, *P.* y *P. sapota*) son especies de distribución restringida (Pennington y Sarukhán 1988) y son reconocidas como especies de selva madura debido a que son árboles cuyas plántulas y estadios juveniles forman el sotobosque de la selva conformando un banco de plántulas o de juveniles (Centeno-Erguera 2000, McConnaughay y Bazzaz 1987, Ricker *et al.* 2000). Este resultado permite proponer que en programas de reforestación y restauración ecológica, es conveniente utilizar en su primera fase especies de rápido crecimiento que permitan mejorar las condiciones de sitio, para enriquecer posteriormente la cubierta vegetal con especies de lento crecimiento, que brindan estructura y diversidad al ambiente.

- 9) No hubo correlación estadística entre la supervivencia y el crecimiento. Por ejemplo, *Diphysa americana* sobrevivió bien, aunque su crecimiento fue reducido; por el otro lado, *Calophyllum brasiliense* creció bien, aunque con su supervivencia fue baja. Este tipo de comparaciones responden a que la interacción de cada especie con los otros factores fue un elemento importante en su crecimiento, por lo que se podría hipotetizar que algunas especies invierten sus recursos más en sobrevivir que en crecer, mientras otras especies tienen una estrategia inversa. Esta conclusión puede ser fundamentada en la cantidad de nutrientes que cada tipo de semilla almacena para ser usados por las plántulas en la etapa inicial (Miller 1999). Al considerar la proporción de supervivencia multiplicada por la proporción de crecimiento, destacó *E. cyclocarpum* seguido por *C. pentandra*, *D. americana* y *T. chrysantha*.
- 10) Algunas especies presentaron mayor crecimiento con mayor dosis de fertilización (p. ej. *Ceiba pentandra*, ó *Tabebuia chrysantha*). El resultado de la interacción permite, con reserva de tomar en consideración, señalar que el crecimiento de cada especie depende la dosis de fertilizante y, que esta interacción condiciona a cada factor a señalar que bajo este proceso los resultados son los mostrados por los factores principales. Esto se debe probablemente al uso inmediato de los nutrientes que las plantas realizaron en el momento en que estuvieron disponibles. Dentro de la dosis de fertilizante, quizá el elemento que indujo el mayor crecimiento fue la aplicación de fósforo, porque estudios sobre el papel de este elemento en el desarrollo de las plantas

han reflejado que tiene un efecto en el crecimiento de raíces y del tallo (Chapin III 1988, Tiessen *et al.* 1994). En los suelos de selvas tropicales el fósforo es un elemento limitante, por lo que su adición se refleja en un mayor crecimiento de las plantas (Vitousek *et al.* 1989, Huante y Chapin III 1995). Otro elemento que pudo fomentar el crecimiento, es el nitrógeno, porque en este tipo de ecosistemas también se encuentra escasamente disponible (Vitousek *et al.* 1989). El efecto del nitrógeno sobre el crecimiento ha sido utilizado intensamente en especies cultivadas para acortar los tiempos de desarrollo y cosecha de los cultivos (Gan *et al.* 1997, Chao y Chao 1997).

- 11) Por otro lado, El resultado del análisis de la interacción entre "unidad de paisaje y especie" demostró que no existen diferencias significativas ( $P= 0.1742$ ), por lo que el crecimiento de cada especie en cada una de las unidades de paisaje depende de los factores principales y no de la interacción entre ellos. En este sentido existió un mayor crecimiento del gremio de especies de rápido crecimiento en las unidades de paisaje de herbáceas ("HEB1") y pastos ("P6P") [Figura 9]. Esto se puede atribuir probablemente a la exposición a la radiación directa de las plántulas y a la plasticidad fisiológica como un factor que facilita su aclimatación en la sucesión de nuevos sitios (Strauss-Debenedetti y Bazzaz 1991). Se ha reportado que la respuesta de las plantas a la luz es siempre positiva, una vez que adquieren una estrategia de fotorecepción (Smith 1982) y que una vez adquirida, el crecimiento se ve beneficiado en los sitios abiertos (Karin 1993). En este sentido, las selvas tropicales mantienen esta dinámica

de crecimiento en los individuos sucesionales como una respuesta a la apertura de claros (Martínez-Ramos 1986, McConnaughay y Bazzaz 1987) en los que la respuesta de crecimiento es diferencial dependiendo de la fisiología de cada especie y su status en la sucesión (Huante y Rincón 1998).

- 12) Un factor no contemplado en este trabajo, pero que puede responder a la baja tasa de crecimiento del gremio de las especies de lento crecimiento es la diferencia de crecimiento que se observa entre la parte aérea y subterránea de las especies arbóreas cuando compiten con pastos, esta condición limita el crecimiento de la parte aérea cuando este tipo de especies se desarrollan en pastizales tropicales (Nepstad, *et al.* 1991, Sun *et al.* 1995, Guariguata *et al.* 1995, González Montagut, 1996, Sun y Dickinson, 1996, Holl, 1998).
- 13) La diferencia entre los tres intervalos de medición ( $P=0.00001$ ), demostró que el crecimiento está ligado a la época de mayor disponibilidad de recursos y que estos recursos son disponibles cuando existen mayores precipitaciones pluviales. La interacción "dosis de fertilización" x "especie" ( $P=0.0070$ ), mostró que el crecimiento fue promovido por la combinación de estos dos factores, los cuales interactuaron de diferente forma dependiendo de la especie y de la dosis de fertilizante aplicado. Por otro lado, la interacción "fecha" x "especie" ( $P=0.00001$ ) respalda el crecimiento influenciado por la fecha de mayor disponibilidad de recursos. , "fecha" x "unidad de paisaje" ( $P=0.00001$ ) y "fecha" x "dosis de fertilización" ( $P=0.00001$ ). Las

interacciones que no mostraron diferencias significativas fueron: "unidad de paisaje" x "especie" ( $P=0.1742$ ), "dosis de fertilización" x "unidad de paisaje" ( $P=0.0586$ ).

- 14) El hecho de que el factor, "Unidad de paisaje", no presenta diferencias significativas en el crecimiento de las plántulas ( $P= 0.056$ ) se explica en términos de las características biológicas de cada una de las especies y que las especies fueron fertilizadas. Cada especie responde en primera instancia a su tasa de crecimiento que le determina el medio pero, esta combinación de factores puede superarse cuando la planta a pesar de estar en condiciones ambientales desfavorables puede hacerse de recursos como los que le brindó la fertilización y desarrollarse a costa de vivir en desventaja ambiental. Este argumento, respalda el resultado de *C. pentandra* especie que creció bien en todas las unidades de paisaje (a pesar de las diferencias químicas del suelo) porque tiene la capacidad fisiológica de desarrollarse en cada microhábitat e incorporar rápidamente los nutrimentos del suelo. Especies más restringidas y tolerantes a las sombras como *Brosimum alicastrum* demostraron que el patrón de lento crecimiento no se ve incentivado por el tipo de cobertura o la aplicación de fertilizante, por que sus características fisiológicas son distintas y así lo reflejó en este estudio al crecer poco en todos las unidades de paisaje. Existen estudios de especies pioneras como es el género *Alnus*, que demuestran que el crecimiento de las plantas no depende de manera directa del tipo de suelo ni del microambiente sino a la capacidad fisiológica de la especie (Haeussier *et al.* 1995, Giardina *et al.* 1995). En las unidades de paisaje en las

que un dosel arbóreo quitó gran parte de la luz solar, las plántulas presentaron un crecimiento reducido ("ACA3" y "ACA2"), debido quizá a la baja calidad de luz que se filtró, la cual no generó respuesta de crecimiento en los fotorreceptores de las láminas foliares (Smith 1982).

- 15) Otro factor que tal vez se presente en el suelo de estudio es que tal vez las diferencias químicas y el color no son argumentos suficientes para hacer la diferenciación de las unidades de paisaje y que el mosaico de vegetación, es promovido por otros factores que no son los analizados, porque la probabilidad de la interacción entre especies y unidades de paisaje tampoco fue significativa ( $P= 0.1742$ ).
- 16) La separación de las especies en rápido y lento crecimiento permite distinguir en un análisis más detallado que las diferencias significativas del crecimiento entre un gremio y otro están asociadas al tipo de especies. Montagnini *et al.* (1991) encontraron que las especies nativas de rápido crecimiento, además de tener una dinámica de nutrimentos más rápida que las de lento crecimiento, pueden crecer en sitios con condiciones climáticas alteradas, caso que las especies de lento crecimiento no pueden realizar.
- 17) La inexistencia de una relación entre supervivencia y crecimiento dejó ver que las plántulas no obedecen a un patrón en el cual una mejor supervivencia trae como consecuencia un mejor crecimiento. Esta es una característica fisiológica C4 que se presenta en algunas plantas como los pastos, pero no es una conducta general en

todas las especies. Este resultado puede deberse a: *i*) que las condiciones de sitio en cada una de las unidades no son lo suficientemente favorables para que todas las especies tengan la misma posibilidad de supervivencia (Etchevers 1999) y *ii*) que la capacidad fisiológica de las especies depende de las estrategias de crecimiento y supervivencia de taxa en particular (Huante y Chapin III 1995).

En conclusión, para lograr un alto crecimiento de las plántulas arbóreas en este experimento, el factor más importante fue la selección de las especies, y después el hecho de fertilizar. Aunque la fertilización puede tener un efecto positivo sobre el crecimiento, existe el problema que puede disminuir seriamente la supervivencia, especialmente durante le época de sequía. Para disminuir este efecto, es recomendable que la plantación se realice dos a tres semanas antes de la época de lluvias, a fin de que la etapa de establecimiento cuente con un ambiente húmedo. La fertilización debe realizarse durante la época húmeda para garantizar que las plantas puedan incorporar los nutrientes, en lugar de representar sales que restringen el acceso al agua para las plantas.

## 9. Referencias

- Aguilar, C., E. Martínez, y L. Arriaga. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿que tan grave es el problema en México?. *Biodiversitas*, 5, (30): 7-11.
- Aide, T.M., J.K. Zimmerman, L. Herrera, M. Rosario y M. Serrano. 1995. Forest Recovery in Abandoned Tropical Pastures in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 77, 77-86.
- Bengtson, G. W. 1976. Comparative response of four southern pine species to fertilization: effects of P, NP, and NPKMgS applied at planting. *Forest Science* 22, (4): 487-95.
- Bennema, J. 1977. Soils. En: Alvim, P. y T.T. Kozlowski, "Ecophysiology of tropical crops". Academic Press, New York. Pp. 29-55
- Bennett, L. T., C. J. Weston, T. S. Judd, P. M. Attiwill, y P. H. Whiteman. 1996. The Effects of Fertilizers on Early Growth and Foliar Nutrient Concentrations on Three Plantation Eucalypts on High Quality Sites in Gippsland, Southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 89, 213-226.
- Black, C. A. 1965. "Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological properties". Agronomy American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Botelho, S. A., A.C Davide y N.S. Prado. 1995: "Implantação de mata ciliar". Belo Horizonte, CEMIG. Brazil. Pp 28.
- Butterfield, R. P. 1996. Early species selection for tropical reforestation: A consideration of stability. *Forest Ecology Management*, 81, 161-68.
- Butterfield, R.P. 1995. Promoting biodiversity: advances in evaluating native species for reforestation. *Forest Ecology and Management*, 75, 111-21.
- Byard, R., K. C. Lewis y F. Montagnini. 1996. Leaf litter decomposition and mulch performance from mixed and monoespecific plantations of native tree species . *Agriculture Ecosystems & Environment* 58, 145-55.
- Centeno-Erguera, L.R. 2000. "Enriquecimiento de acahuales con especies forestales tropicales". *Primer Congreso Nacional de Reforestación*. SEMARNAP-COLPOS, Chapingo México, 8-10 de noviembre.
- Cortina, S.P., P. Macario Mendoza y Y. Ogneva-Himmelberger. 1999. Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones Geográficas Boletín*, 38, 41-56.
- Chao, W.L. y C.C. Chao. 1997. Nitrogen transformation in tropical soils: influence of fertilization and crop species. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 64, (1): 11.
- Chapin III, F.S. 1988. Ecological aspects of plant mineral nutrition. *Acta of Mineral Nutrition*, 3, 161-191.
- CONAFRUT. 1974. "El cultivo del Mamey". Comisión Nacional de Fruticultura SAG. Folleto No. 14. México. Pp 19.
- CNA. 1996. Estación Meteorológica 27-064 Villahermosa. CNA.
- Dirzo, R. y García, C. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in southeast Mexico.

- Dralle, K. y J. Bo Larsen. 1995. Growth response to different types of NPK-fertilizer in Norway spruce plantations in Western Denmark. *Plant and Soil*. 168-169, 501-504.
- ECODAT, S.A de C.V. 1996. El Macuilis: Plantación y Manejo. *Revista Agrotiempo*. 37, 6-9.
- Etchevers, J. D. 1999. 'Indicadores de la calidad del suelo'. En: Siebe, C., H. Rodarte, G. Toledo, J. Etchevers y K. Oleshko. "Conservación y restauración de suelos". UNAM-PUMA, México. Pp 239-262.
- FAO. 1989. "Soil map of the world. Revised legend". Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. Pp 175.
- FAO-UNEP. 1981. "Tropical Forest Resources Assessment Project". Vol 1. FAO. Roma. 343 pp.
- Fisher, J.T. y J.C. Mexal. 1984. 'Nutrition management: A physiological basis for yield improvement'. En: Duryea, M. L. and Brown G. N. (Editors) 1984. *Seedling physiology and reforestation success*. Martinus nijhoff/Dr. Junk publishers. Boston. pp 326.
- Gan, Y., M. Peoples, Rerkansen y Benjavan. 1997. The effect of N fertilizer strategy on N<sub>2</sub> fixation, growth and yield of vegetable soybean. *Field Crops Research*, 51, (3): 221-229.
- García, E. 1981. "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen". Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. pp 328.
- Giardina, C., S. Huffman, D. Binkley y B. Caldwell. 1995. Alders increase soil phosphorus availability in a Douglas-fir plantation. *Canadian Journal of Forest Research*. 25, 517-519.
- Guadarrama, O. Ma. A. 1987. "Muestras de la flora de Tabasco". Gobierno del Estado de Tabasco. Tabasco, México. Pp 75.
- Gómez-Pompa, A. y C. Vázquez-Yanes, 1981. Successional studies of a rain forest in México. In: Forest Succession concepts and applications. Edited by West, D.C., H.H. Shujart y D.B. Botkin. Spring-Verlag 246-266.
- Gómez-Pompa, A. 1977. "Ecología de la vegetación del estado de Veracruz". CECSA. México. Pp 324.
- Guariguata, M. R., R. Rheingans, y F. Montagnini. 1995. Early woody invasion under tree plantation in Costa Rica: Implications for Forest Restoration. *Restoration Ecology*. 3, (4): 252-60.
- Gunatilleke, C., I. Gunatilleke, G. Perera, P. Burslem, y Asthon, P. 1997. Responses to nutrient addition among seedlings of eight closely related species of *Shorea* in Sri Lanka. *Journal of Ecology*. 85, 301-311.
- Haeussler, S., J. Tappeiner II y B. Greber. 1995. Germination, survival, and early growth of red alder seedlings in the central Coast Range of Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*. 25, 1639-1651.
- Halvin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale y W. L. Nelson. 1999. "Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management". New York: Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, EUA. Pp 499.
- Hall, M. 2000. 'A land-use model to predict the without-project baseline for Guaraquecaba climate action project in Guaraquecaba environmental protection area'. En: S. Brown, M. Calmon. y M.

Delaney. "Development of a deforestation and forest degradation trend model for the Guaraquecaba climate action project". Pp 14.

- Harker, D., S. Evans, M. Evans y K. Harker. 1993. "Landscape restoration handbook". Lewis Publishers. E.U.A. pp 625.
- Holl, K. D. 1998. Effects of above- and below-ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* (Camb) seedlings growth in abandoned tropical pastures. *Forest Ecology and Management*. 109, 187-95.
- Holl, K. D. y M. Kappelle. 1999. Tropical forest recovery and restoration. *Trends in Ecology and Evolution*. 14, (10): 378-379.
- Holl, K.D. y E. Quiros-Nietzen. 1999. The effect of the rabbit herbivory on reforestation of abandoned pasture in southern Costa Rica. *Biological Conservation*. 87, 391-395.
- Howell, E.A. 1986. Woodland restoration: an overview. *Restoration and Management Notes*. 4, (1): 13-17.
- Huante, P. y F.S. Chapin III. 1995. Responses to phosphorus of contrasting successional tree-seedling species from the tropical deciduous forest of Mexico. *Functional Ecology*. 9, 760-766.
- Huante, P., E. Rincón y I. Acosta. 1995 a. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Functional Ecology*. 9, 849-858.
- Huante, P. y E. Rincón. 1998. Response to light changes in tropical deciduous woody seedlings with contrasting growth rates. *Oecologia*. 113, 53-66.
- Uhl, C., K. Clark, H. Clark y P. Murphy. 1981. Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro region of the Amazon Basin. *Journal of Ecology*. 69, 631-649.
- Hynynen, J., H. E. Burkhart y H. Lee Allen. 1998. Modeling tree growth in fertilized midrotation loblolly pine plantations. *Forest Ecology and Management*. 107, 213-29.
- Ibarra-Manríquez, G., M. Ricker, G. Angeles, S. Sinaca Colín y M.A. Sinaca Colín. 1997. Useful plants of the Los Tuxtlas Rain Forest (Veracruz, Mexico): Considerations of their market potential. *Economic Botany*. 51, (4): 362-376.
- INEGI. 1986. "Síntesis geográfica nomeclátor y anexo cartográfico del Estado de Tabasco". INEGI. México. Pp 425.
- Kaimowitz, D. y A. Algensen. 1998. *Economic models of tropical deforestation: a review*. Center for International Forestry Research. Indonesia. Pp 139.
- Karin, G. 1993. Tree seedling development in tropical dry abandoned pasture and secondary forest in Costa Rica. *Journal of Vegetation Science*. 4, 95-102.
- Lambin, E.F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*. 21, (3): 375-393.
- Leakely, R. y Newton, A. 1994. "Domestication of tropical trees for timber and non-timber products". UNESCO. Francia. Pp 94.
- López, M. 1980. "Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas". Universidad Autónoma de Chapingo. México. Pp 122.

- López-Hernández, E. 1994. "La vegetación y la flora de Tabasco (Municipios de Tacotalpa y Teapa) México". Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. Pp 88.
- Lugo, A. E. 1992. Tree plantations for rehabilitating damaged forest lands in the tropics. *Ecosystem rehabilitation*. 2, 247-55.
- Maas, M. y F. García-Oliva. 1990. La conservación de suelos en zonas tropicales: El caso de México. *Ciencia y Desarrollo*. 15, (90): 21-36.
- McConnaughay, K.D.M. y F.A. Bazzaz. 1987. The relationship between gap size and performance of several colonizing annuals. *Ecology*. 68 (2): 411-416.
- McNeil, R., R. Lea, R. Ballard y H. Lee Allen. 1988. Predicting fertilizer response of loblolly pine using foliar and needle-fall nutrients sampled in different seasons. *Forest Science*. 34, (3): 698-707.
- Martínez-Bravo, R. 1998. 'Biología de la germinación de semillas y asignación de energía en plántulas de Aile (*Alnus jorullensis* ssp. *Jorullensis* HBK), del Valle de México'. Tesis Profesional de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. Pp 45.
- Martínez-Ramos, M. y E. Alvarez-Buylla. 1986. 'Seed dispersal, gap dynamics and tree recruitment: the case of *Cecropia obtusifolia* at Los Tuxtlas, Mexico'. En: Estrada, A y T.H. Flemming (Eds). *Frugivores and seed dispersal*. Dr. Junk Publishers,
- Marschner, H. 1995. "Mineral Nutrition of Higher Plants". Academic Press. Great Britain. Pp 889.
- Masera, O.R., M.J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change*. 35, 265-295.
- Masera, O. 1996. "Desforestación y degradación forestal en México". Documento de trabajo No. 19. GIRA, A.C. Pátzcuaro, Michoacán. Pp 75.
- Miller, R. E., J. W. Hazard y D. C. Young. 1991. Effects of foliar spray and prill applications of nitrogen fertilizer on four mixed-conifer stands. *Forest Science*. 37, (3): 741-54.
- Miller, P.M. 1999. Effect of deforestation on seed banks in a tropical deciduous forest of western Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. 15, 179-188.
- Miranda, F. y J. Hernández X. 1963. En: Rzedowski, J. 1986. "Vegetación de México". Limusa. México. Pp 432.
- Monness, E. 1991. Estimating annual increment response to forest fertilization. A comparison of methods by uniformity trials. *Forest Science*. 37, (1): 123-136.
- Montagnini, F., B. Eibl, L. Grance, D. Maiocco y D. Nozzi . 1997. Enrichment planting in overexploited subtropical forest of the Paranaense region of Misiones, Argentina. *Forest Ecology and Management*. 99, 237-46.
- Montagnini, F., y C. Porras. 1998. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. *Environmental Management*. 22, (3): 459-70.
- Montagnini, F., E. González, C. Porras, y R. Rheingans. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commonwealth Forestry. Review*. 74, (4): 306-314.
- Montagnini, F. y F. Sancho. 1994. Aboveground biomass and nutrients in young plantations of indigenous

trees on infertile soils in Costa Rica: implications for site nutrient conservation. *Journal of Sustainable Forestry*. 1, (4): 115-139.

- Montagnini, F. y F. Sancho. 1990. Impacts of native trees on tropical soils: A study in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Ambio*. 19, (8): 386-390.
- Montagnini, F., F. Sancho, K. Ramstad y E. Stijfhoorn. 1991. 'Multipurpose trees for soil restoration in the humid lowlands of Costa Rica'. En: Taylor, D. A. y K.G. McDicken. "Research on multipurpose trees in Asia". Bangkok: Winrock International Institute for Agricultural Development. Pp 41-58.
- Montagnini, F., M. Guariguata, A. Mariscal, N. Ribeiro y D. Shepherd. 1999. "Reforestación con especies nativas para la recuperación de áreas degradadas: experiencias en tres regiones de Latinoamérica". El Cajon, Siguatepeque, Honduras. Pp 48.
- Myers, G.P., A.C. Newton, O. Melgarejo. 2000. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. *Forest Ecology and Management*. 127. 119-128.
- Nepstad, D.C., C. Uhl y E.A. Serrao. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*. 20, (6): 248-255.
- Nepstad, D.C., C. Uhl, C.A. Pereira y J.M. Cardoso. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos*. 76, 25-39.
- Ndufa, J.K., K.D. Shepherd, R.J. Buresh y B. Jama. 1999. Nutrient uptake and growth of young trees in a P-deficient soil: Tree species and phosphorus effects, *Forest Ecology and Management*. 122, 231-241.
- Ohio State University. 1998. "Ohio Agronomy Guide. Soil Fertility." Web page. [accessed <http://www.ohioline.eg.ohio-state.edu>]. Available at SURF-40.
- Palacio-Prieto, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J-F. Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo, F. González. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín de Geografía*. 43, 183-203.
- Parrota, J. A. 1992. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 41, 115-33.
- Parrota, J. A. 1995. Influence of overstory composition on understory colonization by native species in plantations on degraded tropical site. *Journal of Vegetation Science*. 6, 627-636.
- Peters, C. M. y E. Pardo-Tejeda. 1982. *Brosimum alicastrum* (Moraceae): Uses and potential in Mexico. *Economic Botany*. 36, (2): 166-75.
- Peterson, C.E. y J.W. Hazard. 1990. Regional variation in growth response of coastal Douglas-Fir to nitrogen fertilizer in the Pacific Northwest. *Forest Science*. 36, (3): 625-640.
- PEMEX. 1989. "Complejo Petroquímico Nuevo Pemex". Subdirección de Capacitación y Desarrollo. IMP. México. Pp 27.
- PEMEX. 1998. "Complejo procesador de gas NUEVO PEMEX-Tabasco". PGPB. México. Pp 32.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhan. 1988. "Manual para la Identificación de Campo de los Principales Árboles

- Tropicales de México". INIF. FAO. México. Pp 413.
- Powers, J. S., J. P. Haggan y R. F. Fisher. 1997. The effect of overstory composition on understory woody regeneration and species richness in 7-year-old plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 99, 43-54.
- Reyes Castillo, P. 1981. *La Fauna Silvestre en el Plan Balancan-Tenosique*. Instituto de Investigaciones de Recursos Bióticos. Instituto de Ecología. A. C. Jalapa. Pp 221.
- Ricker, M., C. Siebe, S. Sánchez, K. Shimada, B. C. Larson, M. Martínez-Ramos y F. Montagnini. 2000. Optimising seedlings management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in a Mexican rainforest. *Forest Ecology and Management*. 50,: 1-15.
- Rzedowski, J. 1986. "Vegetación de México". Limusa. México. Pp 424.
- SARH. 1985. "Inventario Forestal del Estado de Tabasco". SARH. México. Pp 87.
- SEMARNAP. 1996. "Planeación territorial". SEMARNAP. México. Pp 42.
- SEMARNAP. 1999. "Resultados y metas de la Reforestación". PRONARE. México. Pp 68.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. "Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo". Publicación Especial No 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, México. Pp 57.
- Sollins, P., F. Sancho, R. Mata y R. L. Sanförd. 1996. 'Soils'. En: McDade, L., K. Bawa, H.A. Hespeneide and G.S. Hartshorn. 1996. "La Selva, Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest". The University of Chicago Press. USA. pp 219-281.
- Sokal, R. S. y F.J. Rohlf. 1995. "Biometry. The principles and practice of statistics in biological research". W. H. Freeman and company. New York. Pp 887.
- Sosa, V. y Flores, S. 1993. "La Flora Ornamental de Mérida". Edición del Ayuntamiento de Mérida. México. Pp 265.
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annual Review of Plant Physiology*. 33, 481-518.
- Strauss-Debenedetti, S., y F. A. Bazzaz. 1991. Plasticity and acclimation to light in tropical Moraceae of different successional positions. *Oecologia*. 87. 377-87.
- SYSTAT. 1996. SYSTAT 6.0 for Windows: Statistics. SYSTAT. United States of America. Pp 154. 201-206.
- Sun, D. y Dickinson, G.R. 1996. The competition effect of *Brachiaria decumbes* on early growth of direct-seeded trees of *Alphitonia petriei* in tropical north Australia. *Biotropica*. 28, (2): 272-276.
- Takele, E., J. L. Meyer, M. L. Arpaia, D. E. Stottlemeyer, y G. W. Witney. 1996. Economic analysis of irrigation and fertilization management of avocados. *Hortscience*. 31, (1): 156-59.
- Tiessen, H., P. Chacon y E.Cuevas. 1994. Phosphorus and nitrogen status in soils and vegetation along a toposequence of dystrophic rainforest on the upper Río Negro. *Oecologia*. 99, 145-50.
- Toledo, V.M. 1990. 'El proceso de ganaderización y la destrucción biológica y ecológica de México'. En: E. Leff (Coord.) "Medio ambiente y Desarrollo en México". Vol I Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en humanidades. UNAM. Porrua, México. Pp 149-189.

- Van Reenwijik, L. P. 1992. "Procedures for Soil Analysis". ISRIC. Wageningen. Pp 11-13.
- Vázquez-Yanes, C. y A. Orozco-Segovia. 1993. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rain forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 24, 69-87.
- Vázquez-Yanes, C. y A.I. Batis. 1996. Adopción de árboles valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58, 75-84
- Vázquez-Yanes, C., A. Orozco, M. Rojas, M.A. Sánchez, y V. Cervantes. 1997." La reproducción de las plantas: Semillas y Meristemos". La ciencia para todos/157. FCE. México. Pp 167.
- Vázquez-Yanes, C., A.I. Batis, M.I. Alcocer, S.M. Gual y C. Sánchez. 2000. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Reporte técnico J-084 CONABIO- Instituto de Ecología, México. Pp 247.
- Vitousek, P.M., P.A. Matson, C. Volkman, J.M. Maass y G. García. 1989. Nitrous oxide flux from dry tropical forests. *Global Biogeochem Cycles*. 3, 375-382.
- West, R. C., N.P. Psuty y B.G. Thom. 1985. "Las tierras bajas de Tabasco, en el sureste mexicano". Villahermosa, Tabasco: Gobierno del estado de Tabasco. pp. 409.
- Woollons, R. C. y A. G. Whyte. 1998. Analysis of forest fertilizer experiments: obtaining better precision and extracting more information. *Forest Science*. 34, (3): 769-80.
- Zahawi, R.A. y C.K. Augspurger. 1999. Early plant succession in abandoned pastures in Ecuador. *Biotropica*. 31 (4): 540-552.
- Zavala, C. 1997. "Cartografía de suelos, uso actual del suelo y microcuencas de las zonas Piloto Samaria-IRIDE, Cactus-Nuevo Pemex, Giraldas y Cinco Presidentes". Proyecto 244-24E. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Tabasco. Pp 122.

## Apéndice A

### Listado florístico de Nuevo Pemex

Especie	Familia	Especie	Familia
<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd.	Leguminosae	<i>Indigofera jamaicensis</i> Spreng.	Leguminosae
<i>Adelia barbinervis</i> Schlecht. et Cham.	Euphorbiaceae	<i>Indigofera suffruticosa</i> Miller	Leguminosae
<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.	Leguminosae	<i>Inga punctata</i> Willd.	Leguminosae
<i>Andira inermis</i> (Wright) DC.	Leguminosae	<i>Lasiacis divaricata</i> (L.) Á. Hrtche.	Gramineae
<i>Caliandra houstoniana</i>	Leguminosae	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosae
<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Leguminosae	<i>Ludwigia leptocarpa</i> (Nutt.) Hara	Onagraceae
<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban	Leguminosae
<i>Casearia syvestris</i> Sw.	Flacourtiaceae	<i>Maytenus belicensis</i>	Celastraceae
<i>Casimiroa tetrameria</i> Millsp.	Rutaceae	<i>Miconia argentea</i> (Sw.) DC.	Melastomaceae
<i>Cecropia peltata</i> L.	Cecropiaceae	<i>Mimosa pigra</i> L.	Leguminosae
<i>Cissus microcarpa</i> Vahl.	Vitaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	Elaeocarpaceae
<i>Cissus sicyoides</i> L.	Vitaceae	<i>Nectandra ambigens</i> (Blake) C.K.	Lauraceae
<i>Clematis dioica</i> L.	Ranunculaceae	Allen	Gramineae
<i>Clidemia petiolaris</i> (Schlecht. et Cham) Schlecht.	Melastomaceae	<i>Oryza alta</i> Swallen	Gramineae
<i>Cnestidium rufescens</i> Planchon	Connaraceae	<i>Panicum hirsutum</i> Sw.	Gramineae
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Wild.) Spreng.	Cochlospermoceae	<i>Passiflora Foetida</i> L.	Passifloraceae
<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don	Melastomaceae	<i>Penisetum purpureum</i> Schum.	Gramineae
<i>Crotalaria incana</i>	Leguminosae	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	Euphorbiaceae
<i>Crotalaria retusa</i> L.	Leguminosae	<i>Piper hispidum</i> Sw.	Piperaceae
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	Leguminosae	<i>Pithecellobium hymeneaeifolium</i>	Leguminosae
<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moebch. var. <i>jaliscensis</i> (Green) Irwin et Barneby	Leguminosae	<i>Pleuranthodendron lindenii</i> (Turcz.) Sleumer	Flacourtiaceae
<i>Desmodium incanum</i> DC.	Leguminosae	<i>Psidium Guajava</i> L.	Myrtaceae
<i>Desmodium scorpiurus</i> (sw.) Desv.	Leguminosae	<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd.) C.E. Hubb.	Gramineae
<i>Desmodium tortuosum</i> (sw) DC	Leguminosae	<i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC.	Leguminosae
<i>Desmodium triflorus</i>	Leguminosae	<i>Senna hagesiana</i> (Britt. et Rose) Irwin et Barneby	Leguminosae
<i>Eugenia capuli</i> (Schlecht. et Cham) Berg.	Myrtaceae	<i>Senna multijuga</i> (L.C. Rich) Irwin et Barneby subsp. <i>Doylei</i> (Britt et Rose) Irwin et Barneby	Leguminosae
<i>Euphorbia hypericifolia</i> (L.) Millsp.	Euphorbiaceae	<i>Sesbania emerus</i>	Leguminosae
<i>Guazuma ulmifolia</i> L.	Sterculiaceae	<i>Sesbania pigra</i> L.	Leguminosae
<i>Hampea nutrica</i> Fryx.	Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae
<i>Havenia bractescens</i> Lindl.	Orchidaceae	<i>Syngonium pophyllum</i> Schott	Araceae
<i>Heliconia latispatha</i>	Heliconiaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Ulmaceae
<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	Tiliaceae	<i>Vitis lilifolia</i> HBK	Vitaceae