



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Ecología

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE
RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN
VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN
ECOLÓGICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

Alejandra Guzmán Luna

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA

COMITÉ TUTOR: DRA. ALMA DELFINA OROZCO SEGOVIA
DR. HORACIO PAZ HERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE, 2012



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.

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 7 de mayo de 2012, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL) de la alumna GUZMÁN LUNA ALEJANDRA con número de cuenta 301291622 con la tesis titulada "ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA", realizada bajo la dirección de la DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA:

Presidente: DR. MIGUEL MARTÍNEZ RAMOS
Vocal: DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS
Secretario: DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA
Suplente: M. EN C. MA. JULIA CARABIAS LILLO
Suplente: DR. HORACIO ARMANDO PAZ HERNÁNDEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 10 de septiembre de 2012.

M. del Coro Arizmendi
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a)

AGRADECIMIENTOS

Al posgrado en Ciencias Biológicas (Biología ambiental) de la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Fundación Packard por la beca otorgada para la elaboración del trabajo y prácticas de campo desarrolladas a lo largo de la maestría.

Al CONACyT por la beca nacional y mixta de manutención.

Al apoyo del programa PAEP para la realización de una estancia.

Al ICyT por su apoyo para la asistencia a congresos.

A mi comité tutorial, la Dra. Cristina Martínez Garza. Dra. Alma Delfina Orozco y el Dr. Horacio Paz por su apoyo e interés en mi proyecto.

A mis sinodales, Dr. Miguel Martínez Ramos, Dr. Roberto Lindig y M. en C. Julia Carabias Lillo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A Luzma y Georgina del Inst. de Ecología, por su infinita paciencia y apoyo con todos los estudiantes de Restauración Ecológica.

A Lilia Jiménez, Posgrado en Ciencias Biológicas, por toda su solidaridad, comprensión y paciencia en el tortuoso camino de los trámites.

Al personal de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas.

A los compañeros del Departamento de Ecología Evolutiva de la UAEM: Alondra, Luzma, Marines, Flavio, Leslie e Israel.

A la doctora Cristina Martínez por construir de manera conjunta el presente trabajo, por acompañarme, dirigirme y compartirme su pasión por la ecología y la ciencia.

A los que se insolaron conmigo en los Tuxtlas solo por solidaridad: Juan, Gemma y Oscar.

A mis queridos amigos de la maestría: Felipillo, Elizabeth, Horacio, Diego y familias Vega-Talancón, Narvaes-Alanis, Naverrete-Vaca.

A mis amigos-hermanos: Juan, Tania, Larisa, Diana, Esthela, Carlitos Iván, Ricardo “El gringo”, Loopy y Xilema.

A mi familia: Gemma, Rosy, Vale, Oscar, Zara, Santi, Elia y mis papás. Por su apoyo incondicional, por su compañía, por dejarme amarlos.

“La música de las esferas.
Un universo armonioso como un arpa.
El ritmo son tiempos iguales repetidos.
El latir del corazón.
Día/noche.
La ida y el regreso de las aves migratorias.
Los ciclos de las estrellas y el maíz.
Un solo ritmo en los planetas, los átomos, el mar, las manzanas.
El arpa del Universo.
El ritmo. Todo es ritmo.
Animales y plantas, todos
Nosotros del mismo antepasado microscópico.
Somos notas de una misma música.
El cosmos canta. ¿Pero para quién?”

E. Cardenal

DEDICADO A:
Mi familia, luz de mi vida
Mis amigos, que son mi familia
A la vida, que nos hace respetarla y admirarla.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
ANTECEDENTES	
1. Sucesión natural.....	10
2. Restauración ecológica.....	12
2.1 Siembra directa.....	13
2.2 Plantaciones.....	16
3. Caracteres funcionales.....	17
OBJETIVOS.....	20
HIPÓTESIS.....	21
METODOLOGÍA	
1. Área de estudio.....	21
2. Diseño experimental para evaluar la germinación.....	21
3. Diseño experimental para evaluar el crecimiento y la sobrevivencia.....	27
4. Desempeño de las especies por historia de vida y sitio de germinación.....	29
5. Caracteres funcionales.....	28
6. Análisis de datos.....	28
RESULTADOS	
1. Desempeño de especies pioneras y no-pioneras.....	30
2. Desempeño de especies germinadas en vivero e <i>in situ</i>	35
3. Desempeño de las especies por historia de vida y sitio de germinación.....	37
4. Grupos con base en características funcionales.....	38

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

DISCUSIONES.....	49
1. Desempeño de especies pioneras y no-pioneras.....	48
2. Desempeño entre especies germinadas en vivero e <i>in situ</i>	50
3. Desempeño de las especies por historia de vida y sitio de germinación.....	51
4. Grupos con base en características funcionales.....	52
CONCLUSIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57
Apéndice 1	69

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN

Resumen.

La siembra directa puede ser una alternativa viable para la restauración ecológica. Es más económica que las tradicionales plantaciones de individuos propagados en vivero. Características de arquitectura y otras que reflejen aspectos fisiológicos, son parámetros que se utilizan para predecir qué especies son candidatas para la siembra directa y cuáles para el trasplante. El objetivo principal del presente trabajo fue para un grupo de especies con historia de vida pionera o no-pionera, determinar qué características funcionales están vinculadas con su desempeño diferencial cuando germinan en vivero o *in situ*. Para alcanzarlo se siguieron dos metodologías distintas. La primera tenía como objetivo la comparación de porcentajes de germinación entre historias de vida y sitios de germinación (vivero/ *in situ*). Esta metodología consistió en la realización de pruebas de germinación de siete especies de árboles pioneros y no pioneros. Las pruebas se realizaron paralelamente en un vivero rústico aledaño a la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, Veracruz, México y en un pastizal recientemente activo. El número de germinaciones no fueron suficientes para establecer comparaciones. Se realizó un análisis de las posibles causas de la baja germinación.

La segunda metodología empleada tenía como objetivo comparar el desempeño de las especies en un pastizal entre individuos pioneros y no-pioneros, germinados en un vivero o *in situ*. En el año 2006 se establecieron plantaciones con 8 pioneras y 16 no-pioneras en un pastizal activo aledaño a la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, Veracruz. Estas especies se sembraron en 16 de 24 parcelas experimentales, de 30 x 30 m: 8 fueron dejadas sin plantación como control. Se realizaron 16 censos de crecimiento y sobrevivencia de los individuos plantados cada 6 meses y censos de todos los reclutas cada 4 meses en las 24 parcelas. Para el presente análisis se trabaja únicamente con 17 especies, del total de las plantadas y reclutadas: 10 no-pioneras y 7 pioneras. Adicionalmente de la sobrevivencia y crecimiento, en cada censo se evaluaron las siguientes caracteres funcionales: tamaño y peso del fruto, peso de la semilla, tamaño de la flor, altura a la primera rama, altura máxima, peso foliar específico, área y masa seca de la hoja, área y profundidad de la copa y altura a la primera rama. Con estas evaluaciones se realizó un Análisis de Componentes Principales para establecer si había una relación con el desempeño de las especies. Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se agruparon a las especies en metodologías comunes de introducción en proyectos de restauración.

Con base en los resultados obtenidos, se encontró que para las comparaciones de desempeño hechas, la única diferencia que se encontró fue que las especies pioneras tienen un crecimiento en altura y diámetro a la base mayor que las no-pioneras considerando la tasa absoluta de crecimiento, otra diferencia fue que las germinadas *in situ* tuvieron una sobrevivencia significativamente mayor que las germinadas en el vivero. En las interacciones entre historia de vida y sitio de germinación (vivero o *in situ*) no se encontraron diferencias significativas. De los 12 caracteres utilizados en el ACP, los que mayor peso tuvieron fueron el área y profundidad de la copa, y la altura a la primera rama. El área y masa foliar se correlacionaron significativa y positivamente con la sobrevivencia. El área y masa foliar, el área de la copa, la profundidad de la copa, la altura a la primera rama y el peso de la semilla se correlacionaron significativamente con la tasa de crecimiento relativa en altura. Con la tasa relativa de crecimiento en el diámetro a la base se correlacionó el área y la profundidad de la copa. En las correlaciones de los ejes del ACP con los parámetros de desempeño, se encontró que el Eje 1 se correlacionó significativa y negativamente con la sobrevivencia, y con las dos tasas relativas de crecimiento. Se dividieron las especies en cuatro grupos con base en la mejor estrategia de introducción en proyectos de restauración. Los grupos que se encontraron fueron las especies no sensibles al sitio de

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

germinación, las candidatas a siembra directa, las candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión temprana y las candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión tardía.

En conclusión la siembra directa es una alternativa útil para la restauración ecológica. Sin embargo presenta diversos inconvenientes que pueden ser superados con las técnicas correctas, y con las especies adecuadas. En general la introducción de árboles desde plántulas, propagados en vivero, así como la adición de semillas en el sitio puede ser la estrategia más exitosa en la restauración.

**NATURALLY RECRUITED AND TRANSPLANTED TREES FROM NURSERY SUCCESS ON
RESTORATION SETTINGS.**

Abstract.

Direct seeding can be a viable alternative for ecological restoration. It is cheaper than the traditional plantation nursery propagated individuals. Architecture and other features that reflect physiological are parameters that are used to predict which species are candidates for direct seeding and which for transplantation from nursery. The main goal of this work was: for a group of species with life history o no-pioneer, determine what features are linked to functional differential performance when germinated in the nursery or in situ. To achieve the objective two different methodologies were followed. The first one was to compare germination between life stories and germination sites (nursery / in situ). This methodology included testing germination of seven pioneer tree species and pioneers. The tests were performed in parallel in a rustic nursery adjacent to Tropical Biological Station Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico and a recently active pasture. The numbers of germination were not enough to make comparisons. An analysis of the possible causes of poor germination was performed. The second methodology aimed to compare the performance of the species in a pasture between individuals pioneers and non-pioneers, germinated in a nursery or in situ. In 2006 plantations were established with 8 and 16 non-pioneer pioneers active in a pasture adjacent to Tropical Biological Station Los Tuxtlas. Twelve species were planted in 16 of 24 plots of 30 x 30 m: 8 were left as control planting. 16 surveys were conducted growth and survival of individuals planted every 6 months and recruits every 4 months in the 24 plots. This analysis works with 17 species, the total planted and recruited, from these species 10 were non-pioneer and 7 were pioneers. In addition to the survival and growth, 12 continuous functional traits were evaluated in each census, three foliar traits: leaf area, leaf mass per unit area, leaf dry matter content. Four Architectural traits: crown area, crown height, height to the First Branch, Maximal tree height. Six Reproductive traits: Flower Size, Fruit size, Seed Number per Fruit, Fruit Weight, Seed Weight. These evaluations performed a Principal Component Analysis (PCA) to establish a relationship with the performance of the species. Finally, based on the results obtained, the species were grouped into common methodologies introduction in restoration projects.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

We found that the only significant difference was that pioneer species had a growth in height and diameter at base greater than non-pioneers considering the absolute growth rate, another difference was that germinated in situ had a significantly higher survival than that germinated in the nursery. In interactions between life history and germination site (nursery or in situ) no significant differences were found. Of the 12 characters used in the PCA, the most important were the area and crown depth, and height to the first branch. The area and leaf mass were significantly and positively correlated with survival. The mass and leaf area, the area of the crown, the crown depth, height to the first branch and seed weight were significantly correlated with the relative growth rate in height. With the relative growth rate in diameter was correlated to the base area and the depth of the crown. According to the correlations of the axes of the PCA with the performance parameters, we found that Axis 1 was significantly negative correlated with survival, and with both growth rates. Species were divided into four groups based on the best strategy for introduction in restoration projects. The groups found were: non sensitive species germination site, candidates to direct seeding, candidates for transplant nursery early successional conditions and nursery transplant candidates in late successional conditions.

In conclusion, the direct seeding is a useful alternative for ecological restoration. However, it has several drawbacks that can be overcome with the right techniques and appropriate species. In general the introduction of trees from seedlings, nursery propagated and seed addition on the site may be the most successful strategy in restoration.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de los recursos naturales ha rebasado la capacidad de carga y regeneración natural de los ecosistemas. Este exceso ha ocasionado una alarmante degradación ambiental, por lo que revertirlo es ahora un punto prioritario en las agendas nacionales e internacionales (Carabias *et al.* 1999). Las selvas altas ofrecen una gran cantidad y diversidad de recursos naturales para nuestro beneficio actual o potencial (Toledo, 1988). La pérdida de este ecosistema podría traer inestimables consecuencias negativas en el ámbito económico y social (Chazdon, 2003). La conservación de las selvas altas perennifolias es un punto crucial que no puede quedar excluido del plan de desarrollo socioeconómico que se genere a cualquier escala.

En México, la deforestación de selvas altas perennifolias se realiza con fines agropecuarios, principalmente para la creación de pastizales ganaderos. En el 56% de la superficie del país se práctica la ganadería. La superficie dedicada a esta actividad creció al menos 4 millones de ha de 1993 al 2004 (SAGARPA, 2004), con un porcentaje de crecimiento anual de 1.9% (Escalante y Catalán 2007). El mercado ganadero exige mejoras continuas en tecnología, las cuales no están a disposición de los pequeños productores (Escalante & Catalán, 2007). Las exigencias del mercado por tanto, se traducen en presiones adicionales al ecosistema, las que se confirman con el hecho de que en 24 estados de la república se supera el número de cabezas de ganado por área que los ecosistemas pueden mantener (SAGARPA, 2004). En estas áreas de explotación extensiva, cuando el aprovechamiento se interrumpe, surge la necesidad de la intervención humana para recuperar la función de los ecosistemas. Esta intervención es llamada restauración ecológica. La restauración ecológica se define como “el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido” (SER, 2004). La restauración ecológica es el conjunto de actividades que se realizan con la finalidad de acelerar los procesos ecológicos en un ecosistema perturbado.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

El presente estudio se inserta dentro un proyecto a largo plazo (20-30 años) de restauración ecológica experimental llamado: “Analizando plantaciones de enriquecimiento en paisajes tropicales fragmentados en Los Tuxtlas, Veracruz”. Este estudio busca modificar el movimiento de plantas y animales en el paisaje mediante la instalación de especies pioneras y no-pioneras con diferente síndrome de dispersión (bióticos –aves o murciélagos- y abióticos –viento y gravedad-). En las plantaciones se ha observado que individuos reclutados naturalmente han desarrollado estructuras reproductivas y muestran un mejor desempeño (crecimiento y sobrevivencia) que aquellos trasplantados. La diferencia en el desempeño entre los individuos trasplantados del vivero y los reclutados naturalmente sugiere que el sitio de germinación es una variable que puede afectar el éxito de los árboles en proyectos de restauración ecológica, por lo que merece un estudio detallado.

Las características fisiológicas y morfológicas de las plantas podrían predecir su desempeño en sitios perturbados dependiendo de su origen. Las selvas altas perennifolias albergan más de la mitad de la biodiversidad total a nivel mundial, que incluye a más de 300 especies arbóreas (Martínez-Ramos, *et al.*, 2007). Determinar cuáles son las características fisiológicas y morfológicas relacionadas a un buen desempeño en sitios degradados, permitirá manipular su manejo para economizar costos en la restauración ecológica. Algunas características fisiológicas que se sabe que están relacionadas al desempeño de las plantas son la variabilidad en el masa seca por área (Martínez-Garza, *et al.* 2005) o la arquitectura de los individuos (Poorter, *et al.*, 2006). La alta diversidad de plantas en los trópicos implicaría un alto costo en tiempo y dinero para evaluar el desempeño de cada especie en sitios perturbados. Por otra parte, las características fisiológicas y morfológicas, se pueden determinar fácilmente o ya están determinadas (www.try.db.org) para un gran número de especies. La identificación de las características funcionales útiles para seleccionar la mejor alternativa del sitio de germinación (trasplante de vivero o siembra directa) implicará un

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

ahorro de tiempo y recursos económicos en la selección de especies idóneas para proyectos de restauración ecológica.

ANTECEDENTES

1. Sucesión natural

Luego de un disturbio se inician procesos de sucesión. La sucesión ecológica se define como el desarrollo espontáneo de la vegetación luego que los disturbios se han detenido (Laska, 2001). La sucesión consiste en el desarrollo espontáneo de la vegetación, una vez que los disturbios en un ecosistema han cesado (Connell & Slatyer, 1977; Finegan, 1996; Laska, 2001). Dependiendo de su origen, los disturbios pueden ser naturales y pequeños como la caída de un árbol (Brokaw, 1985), o antropogénico y de grandes magnitudes como la deforestación total de una selva (Martínez-Ramos, 2007). El proceso de la sucesión incluye una serie de colonizaciones consecutivas que ocasionan cambios temporales en la estructura, composición y funciones del ecosistema (Whitmore, 1978). Las primeras especies en arribar, son las llamadas pioneras, las cuales se caracterizan por tener ciclos de vida cortos, alto porcentaje de germinación, y una alta resistencia a condiciones de intensa luz y altas temperaturas (Whitmore, 1989). Las especies pioneras tienen la capacidad de modificar las condiciones microclimáticas de los sitios perturbados (Swaine & Whitmore, 1988; Whitmore, 1989). La capacidad de colonización de las especies pioneras está vinculada con una alta producción de semillas pequeñas (Coomes & Grubb, 2003; Orozco Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). Posteriormente se establecen las especies no-pioneras, cuyas características principales son su gran longevidad y sus bajas tasas relativas de crecimiento (Connell & Slatyer, 1977). Las especies no-pioneras producen pocas semillas grandes que son buenas competidoras (Coomes & Grubb, 2003; Orozco Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). Las especies no-pioneras paulatinamente reemplazan a las especies pioneras, y conforman la

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

selva madura (Whitmore, 1989; Kobe 1999). En el proceso de sucesión natural se pueden distinguir principalmente dos en función de los grupos de especies que estén colonizando (pioneras y no-pioneras); cada uno de estos grupos presenta adaptaciones particulares al estado sucesional.

El proceso de sucesión natural se modifica en dirección y velocidad debido a diversos factores. Los factores pueden ser bióticos, como la disponibilidad de propágulos, o abióticos como las condiciones del suelo luego del disturbio (Martínez-Ramos & García-Orth, 2007; Holl & Aide 2010). Dentro de los factores bióticos que detienen la sucesión esta la baja o nula diversidad de un banco y lluvia de semillas (Martínez-Ramos & García-Orth, 2007). El banco de semillas es el conjunto de semillas viables que se encuentran por encima y dentro del suelo (De Souza et al., 2006). El banco de semillas en los sitios tropicales perturbados usualmente presenta una baja diversidad porque muchas semillas son de vida corta o por la baja lluvia de semillas a la zona (Uhl *et al.* 1988; Garwood, 1989; Holl, 1999; Martínez-Ramos & García-Orth, 2007). La lluvia de semillas es la cantidad de semillas que llegan al suelo dispersadas por medios bióticos como animales, o abióticos como viento o gravedad (Wang y Smith, 2002). En pastizales con uso agropecuario, la sucesión natural puede ser lenta o nula (Hobbs y Harris, 2001), puesto que depende casi exclusivamente de la llegada de semillas. El cese total o disminución en la velocidad de la sucesión puede estar determinado más por el banco y la lluvia de semillas que por el microhábitat (Martínez-Ramos & García-Orth, 2007). Los factores que arrestan la sucesión natural pueden ser diversos y cada uno tiene un efecto distinto.

Los disturbios antropogénicos suelen ser de gran intensidad, afectando los componentes bióticos y abióticos del ecosistema. Dentro de los componentes bióticos, las prácticas agropecuarias limitan la capacidad de movimiento de la fauna dispersora, la cual no se aventura hacia zonas abiertas si no se dejan árboles aislados como percha (Wunderle, 1997; Holl *et al.*, 2000). La remoción de la cobertura vegetal ocasiona un incremento en la

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

temperatura y la evaporación, volviendo las condiciones ambientales demasiado adversas para el establecimiento de nuevas plantas (Martínez-Ramos & García-Orth 2007). Dentro de los componentes abióticos se cuenta la compactación del suelo que limita la capacidad de establecimiento de nuevas plántulas (Nepstad et al, 1991; Parrota y Knowles, 1999). La actividad agropecuaria tiene impactos muy drásticos en las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema, por lo que esta actividad suele ser determinante en el rumbo sucesional que se siga.

2. Restauración Ecológica

La intervención en los procesos de sucesión a través de la restauración ecológica es necesaria para reducir el tiempo de recuperación del ecosistema. El proceso de sucesión en selvas altas perennifolias que han sido transformadas para uso agropecuario puede llevar más de 100 años (Finegan 1996). En este tiempo, el ecosistema habrá recuperado sus funciones ecológicas, como ciclos biogeoquímicos o interacciones planta-animal, pero difícilmente la composición original de especies (revisado en Martínez-Garza & Howe, 2003). La restauración ecológica asiste la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004), acelerando el proceso natural de restauración ecológica (Prach y Hobbs, 2008). La restauración ecológica es una herramienta que disminuye el tiempo de sucesión natural o impulsa al ecosistema si se encuentra en un estancamiento.

Las acciones de restauración están dirigidas a recuperar la condición en que se encontraba el sitio perturbado antes del disturbio. Los principales procesos bióticos que se busca restaurar son la lluvia y banco de semillas (Martínez-Ramos & García-Orth, 2007), para lo cual pueden colectarse semillas de especies nativas locales, e introducirlas directamente en el hábitat a restaurar (Cole, *et al*, 2010), esta práctica se denomina siembra directa. Por otro lado, el establecimiento de plantaciones es útil para establecer un dosel que modificará las

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

condiciones microambientales y atraerá fauna dispersora, favoreciendo la llegada de semillas y el establecimiento de las mismas (Parrotta 1992; Zamora y Montagnini 2007; Berens *et al.* 2008). Las plantaciones de especies propagadas en vivero es el método más utilizado y estudiado (Carrasco, 2005). Dado que los recursos económicos destinados para cualquier acción de restauración son siempre limitados (Chazdon, 2003), una forma de optimizarlos es seleccionar adecuadamente a las especies (Camargo, *et al.* 2002) y su forma de introducción. Algunas especies reclutadas naturalmente pueden ser más exitosas que las trasplantadas (Douterlungne, *et al.*, 2008). Las diferencias en el desempeño de las especies propagadas en vivero y las reclutadas naturalmente pueden ser utilizadas a favor de optimizar las prácticas de la restauración ecológica. A continuación se describen estas dos alternativas que buscan contrarrestar los principales obstáculos de la sucesión.

2.1 Siembra directa

La germinación está determinada por múltiples variables bióticas, como el estado de madurez de la semilla, y variables abióticas. Este proceso depende básicamente de tres factores abióticos: la luz, la temperatura y la humedad (Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). Estos tres factores pueden ser controlados en los viveros, favoreciendo altos porcentajes de germinación de las semillas de cualquier especie (Panwar, *et al.*, 2011). La germinación puede detenerse por factores bióticos cuando la semilla se encuentra en un estado de quiescencia o de latencia. La quiescencia se define como el estado en el cual el embrión requiere de condiciones adecuadas de luz, temperatura y humedad para emerger (Harper, 1977; Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). Por otro lado, la latencia es un estado en el cual el embrión puede encontrarse en un estado de madures adecuado pero no germinará aunque esté en condiciones óptimas (Harper, 1977; Orozco Segovia & Sánchez-Coronado, 2009) debido al estado genético o inducido de latencia en que se encuentra. El conocimiento básico

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

de la latencia y quiescencia de las especies, así como las técnicas para favorecer la germinación es necesario para obtener resultados satisfactorios en la siembra directa.

La siembra directa ha sido usada en diversos ecosistemas tropicales secos y húmedos, obteniéndose respuestas variables en la germinación y en el proceso de establecimiento posterior a la germinación. En un bosque tropical seco de Sudán, leguminosas sembradas directamente presentaron un 67% de sobrevivencia, no se reportan los porcentajes de germinación obtenidos (Salaheldin *et al.* 1999). En Brasil, en un bosque tropical semideciduo, dos de cinco especies pioneras sembradas alcanzaron porcentajes de germinación de 19- 24 % y sobrevivencia entre 80 y 100% luego de 2 años (Engel & Parrolla, 2001). En el mismo ecosistema en Hawái se encontró que las especies exóticas sobrevivieron y tuvieron mayor biomasa que las nativas en la siembra directa, pero no se menciona los valores obtenidos en germinación (Cabin *et al.*, 2002). En ecosistemas tropicales húmedos también se han realizado trabajos de siembra directa evaluando distintas variables. Evaluando cuatro distintos sitios de germinación, para siete de once especies, en el suelo desnudo se obtuvieron los valores de germinación más altos 20-90% (Camargo *et al.*, 2002). En términos de la edad de la plántula, un trabajo en Brasil encontró que 1 año es la edad óptima para que el trasplante de vivero sea una mejor alternativa que la siembra directa (Camargo *et al.*, 2002). Bajo la lógica del estado sucesional, la siembra directa es mejor alternativa en sitios con al menos un año de iniciado la sucesión (Bonilla-Moheno & Holl, *en prensa*). Los trabajos muestran que la siembra directa puede ser una alternativa exitosa en la restauración considerando la germinación, el crecimiento y la sobrevivencia, pero que hay diversas variables a considerar (especies, ecosistema, estado sucesional, historias de vida) para alcanzar su éxito.

El uso de la siembra directa representa costos distintos a los de las plantaciones. Comparando el costo de establecimiento de un individuo de *Cedrela odorata* (Meliaceae),

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

árbol pionero, propagado en el vivero y otro sembrado directamente se obtuvieron resultados que se describen a continuación. Estos valores se calcularon para un kilogramo de semillas con un costo de \$960.00 pesos. Se consideró una tasa de germinación de 85% (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), lo cual implica que de las 40 000 semillas que componen un kilogramo, 34 000 germinarán. Cada una de las semillas que se siembren en vivero requiere insumos básicos (sustrato, micorriza, fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas), mano de obra, operación del vivero, embalaje de la planta, y el costo del establecimiento en el sitio. Las semillas sembradas directamente únicamente requieren mano de obra (colecta de semillas) y costo de establecimiento (siembra en el campo). Considerando lo anterior el costo de producir un individuo en el vivero es de \$8.42 pesos, mientras que uno sembrado directamente cuesta \$0.10 pesos. Podemos concluir que para este caso, es 84.2 veces más barato producir una planta de *Cedrela odorata* por siembra directa que en vivero (Tabla 1). La siembra directa es una técnica económica y simple comparada con los costos de las plantas trasplantadas de vivero.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Tabla 1. Comparación del costo de un individuo propagado por siembra directa y en vivero en pesos mexicanos. Considerando un 85% de germinación.

Costo	\$960 pesos/Kg ^a	
	40 000 (34 000 viables)	
Semillas/Kilogramo	Siembra directa	Vivero
Insumos básicos	/	.62 ^c
Mano de obra*	0.018 ^b	.24 ^c
Operación en vivero	/	.21 ^c
Embalaje de la planta	/	1.05 ^c
Costo de establecimiento	0.057 ^b	6.25
TOTAL	0.10	8.42

*Sustrato, micorriza, fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas. ^a Mercado libre, para *Cedrela odorata*. ^b Engel, *et al*, 2001. ^c CONAFOR

2.2 Plantaciones

Las plantaciones de especies nativas propagadas en vivero son empleadas en la restauración ecológica. Las plantaciones son una estrategia para acelerar el proceso de sucesión natural (Martinez-Garza & Howe, 2003; Lamb, 2005). En las plantaciones de restauración ecológica, regularmente se introducen especies pioneras porque tienen altas tasas de crecimiento y su resistencia a condiciones típicas de sitios sucesionales tempranos (Porter & Borgers, 2006). Sin embargo, en plantaciones establecidas luego de un uso

agropecuario, se ha registrado que las especies no-pioneras pueden presentar valores de sobrevivencia tan altas como los de las pioneras (Davidson, *et al.*, 1998; Carpenter, *et al.*, 2004). En plantaciones de especies no-pioneras se ha registrado que especies con una alta variación en la masa de las hojas por unidad de área, tienen un mayor porcentaje de sobrevivencia y tasas de crecimiento que aquellas especies que no presentan esta variación (Martínez-Garza, *et al.*, 2005). El desempeño de las especies pioneras y no-pioneras en plantaciones puede llegar a ser equivalente para algunas especies.

3. Caracteres funcionales

Las especies expuestas a condiciones similares han convergido en algunas adaptaciones evolutivas. Estas adaptaciones incrementan su adecuación bajo las condiciones que habitan (Díaz & Cabido, 1997; Westoby, 1998). Analizando estas convergencias, a través de sus caracteres funcionales, podemos obtener grupos funcionales (Westoby, 1998). Los grupos funcionales son un grupo de plantas con respuestas similares a condiciones ambientales específicas (Walker, 1992; Gitay & Noble, 1997). La determinación de los grupos funcionales se basa en caracteres funcionales que son los que reflejan las fuerzas selectivas que moldean la ecología de las plantas, y permiten separar las especies en grupos (Westoby, 1998). Los caracteres funcionales fundamentan las estrategias multivariadas de las plantas, con lo que determinan directamente su desempeño (Weiher *et al.*, 1999; Violle *et al.* 2007). La elección de los caracteres a considerar para formar grupos funcionales debe incluir aspectos evolutivos, ecofisiológicos, fácil de medir, y que no se correlacionen entre sí para evitar la redundancia de datos (Westoby, 1998). La distinción de especies pioneras y no-pioneras, que son consideradas categorías de historia de vida de árboles del bosque son un ejemplo de grupos funcionales estudiados ampliamente (Coomes & Grubb, 2003). Los grupos funcionales, pueden ser modelos predictivos del desempeño de las especies.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

La altura máxima de especies leñosas es ampliamente usada para separar grupos funcionales. Los árboles con alturas máximas mayores son más competitivas (Deng, *et al.* 2008). La altura máxima es variable dentro de las historias de vida, tanto las especies pioneras, como no-pioneras pueden alcanzar distintas alturas (Poorter, *et al.*, 2006). Por otro lado, la relación entre la altura máxima y otros caracteres de arquitectura varían fuertemente (Poorter, *et al.*, 2006). A mayor altura máxima podemos esperar una elevada tasa de reproducción (Turner, 1996; Kohyama, *et al.* 2003). Además, la altura máxima se relaciona negativamente con la densidad de la madera (Falster & Westoby, 2005). El uso de la altura máxima es útil para establecer grupos funcionales.

La masa de la semilla es un carácter funcional que refleja la estrategia de colonización y competencia de las especies. La masa de las semillas es considerada el eje central de la adecuación de una planta porque se correlaciona negativamente con el número de semillas que se puede producir, y positivamente con la sobrevivencia de las plántulas (Coomes & Grubb, 2003; Westoby, 1998). La masa de semillas también se correlaciona positivamente con el vigor con el que la plántula emerge a través del suelo (Vázquez-Yanes *et al.*, 1990; Vázquez-Yanes & Orozco, 1992; Kitajima & Fenner, 2000; Makana & Thomas, 2005). Las especies no-pioneras producen semillas grandes, a costa de un bajo número de las mismas, pero con buenas probabilidades de sobrevivencia de sus plántulas en condiciones de competencia (Coomes & Grubb, 2003). Por otro lado, las especies pioneras, producen semillas pequeñas, pero en grandes cantidades (Whitmore, 1989): con estas características de producción es más probable, después de una alta mortalidad *per capita*, que alguna semilla produzca una semilla germine y logre establecerse (Coomes & Grubb, 2003; Orozco Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). Las semillas pequeñas usualmente generan plántulas poco vigorosas que solo crecen en sitios con mucha luz, mientras que las semillas grandes de las no-pioneras producen

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

plántulas más vigorosas, que tienen recursos en la semilla que les permiten tolerar por algún tiempo la falta de luz (Coomes & Grubb, 2003; Orozco Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). El tamaño de la semilla se correlaciona positivamente con el vigor de la plántula resultante, y negativamente con la competitividad, el número de semillas producidas y la demanda de la luz de la plántula.

La arquitectura es un carácter funcional que se relaciona con el nicho ecológico de las especies. La variedad de arquitecturas hace posible la coexistencia de diversas especies (Kelly & Bowler, 2002) ya que permite el aprovechamiento de un mayor número de nichos ecológicos (Kohyama, *et al.*, 1993). En general, las especies bajas tienen una copa más amplia y en su mayoría comienzan a ramificarse a una altura baja (Kohyama, *et al.*, 2003). Las especies altas presentan copas más angostas y se ramifican a una altura mayor a partir del suelo (Kohyama, *et al.*, 2003). El ancho de la copa y la altura de la primera ramificación determinan el nicho que las especies ocupan.

Los caracteres foliares son caracteres funcionales íntimamente relacionados con la adaptación de las especies al estrés causado por la temperatura y la humedad. La masa foliar por unidad de área (peso foliar específico) describe la estrategia de las plantas con respecto a la acumulación de nutrientes, área fotosintética y fenología foliar (Westoby, 1998). Las especies pioneras, como medida de adaptación a las condiciones de desecación, presentan pesos foliares específicos altos (Poorter & Bongers, 2006) y hojas pequeñas (Reich, *et al.*, 1991) lo que disminuye su superficie de exposición. Por otro lado, las especies no-pioneras, bajo condiciones de sombra desarrollan hojas con mayor área fotosintética (Pompa, *et al.*, 1992). La cantidad de luz se correlaciona positivamente con el área foliar específica y negativamente con el área de las hojas.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Los caracteres funcionales nos ayudan a predecir el desempeño de las especies desarrollando grupos funcionales. La identificación de especies que pueden ser fácilmente establecidas por siembra directa (Doust, *et al*, 2008) y trasplante de vivero es un problema que requiere solución. La relación entre el desempeño de las especies y sus caracteres funcionales permitirá seleccionar especies adecuadas para cada método de introducción de las especies al campo. Los grupos funcionales son un puente entre la fisiología de las plantas, las comunidades y los procesos del ecosistema (Díaz & Cabido, 1997). Con el conocimiento que se tiene a la fecha sobre caracteres funcionales, se podría decir que las especies altas, con semillas grandes, hojas grandes y pesos foliares específicos bajos producirán plántulas con mayor vigor, y podrían hacer frente al estrés de ambientes sucesionales tempranos debido a que son buenas competidoras. Por otro lado, podríamos esperar que las especies con alturas menores, con semillas pequeñas, hojas pequeñas y pesos foliares específicos bajos podrían colonizar ambientes sucesionales tempranos debido a que están más adaptadas a esas condiciones, aunque a costa de un gran número de individuos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Para un grupo de especies con historia de vida pionera o no-pionera, determinar qué características funcionales están vinculadas con su desempeño diferencial cuando germinan en vivero o *in situ*.

Objetivos particulares

1. Evaluar el desempeño (porcentaje de germinación de las semillas, sobrevivencia y tasa de crecimiento de las plántulas) de especies pioneras y no-pioneras en sitios sucesionales tempranos.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

2. Evaluar el efecto del sitio de germinación (vivero o *in situ*) en el desempeño de especies pioneras y no-pioneras en sitios sucesionales tempranos.
3. Evaluar el efecto de la interacción de la historia de vida de las especies (pioneras y no-pioneras) y de su sitio de germinación (vivero o *in situ*) en su desempeño en sitios sucesionales tempranos.
4. Definir grupos de especies con base en sus características funcionales foliares, reproductivas y de arquitectura.

HIPÓTESIS

1. Las especies no-pioneras presentarán un porcentaje de germinación más alto que las pioneras. Los individuos de especies pioneras tendrán sobrevivencia y crecimiento más altos que las no-pioneras en sitios sucesionales tempranos.
2. Las especies originadas en vivero tendrán porcentajes de germinación más altos que las especies con germinación *in situ*. Las especies con germinación *in situ* tendrán sobrevivencia y crecimiento más altos que las originadas en vivero.
3. No habrá un efecto de la interacción de historia de vida y sitio de germinación en las variables de desempeño: la relación entre historias de vida para germinación, sobrevivencia y crecimiento se mantendrán independientemente del sitio de germinación.

METODOLOGIA

1. Área de estudio

Las parcelas experimentales en las que se realizó el presente estudio se encuentran inmersas en un pastizal ganadero activo aledaño a la Reserva de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas (EBTLT), la cual pertenece a la Universidad Nacional Autónoma de México. La EBTLT

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

encuentra en la planicie costera del Golfo de México, al sur del estado de Veracruz, en un rango altitudinal de 200 a 1, 700 m s.n.m., (Dirzo, *et al*, 1997) y está localizado entre las coordenadas 18°10' y 18° 45' latitud norte y a los 94° 42' y 95° 27' longitud oeste. Los suelos de la región son de origen volcánico, formados por rocas de basalto y andesitas mezcladas con cenizas volcánicas. El clima es cálido húmedo, con una precipitación media anual de 4, 500 mm y una temperatura de 27°C (Soto, 2004). La vegetación dominante en la Reserva de la Biosfera "Los Tuxtlas" es la Selva Alta Perennifolia (Rzedowsky, 2006). Las especies más comunes son *Nectandra ambigens* (Blake) C. K. Allen (Lauraceae) en el estrato arbóreo, y *Pseudolmedia oxyphyllaria* Donn. Sm. (Moraceae) y *Astrocaryum mexicanum* Liebm. (Aracaceae) en los estratos medios y bajos (Pompa *et al.*, 1988).

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Tabla 2. Especies, familia, historia de vida, tamaño de semilla (mm), abreviatura y metodología asociada de 17 especies arbóreas consideradas. Es difícil encontrar una coincidencia total entre las especies de las plantaciones y las reclutadas (únicamente 4 especies con ≥ 7 individuos coinciden): las especies entre la primera y la segunda parte de la metodología varían.

Especie	Familia	Historia de vida	Tamaño de semilla (mm)	Abreviatura	Método ¹
<i>Albizia purpusii</i>	MIMOSACEAE	No-pionera	10	Alb	2-5
<i>Alchornea latifolia</i>	EUPHORBIACEAE	No-pionera	6	Alc	2 y 5
<i>Amphitecna tuxtlensis</i>	BIGNONIACEAE	No pionera		Amp	3, 4, 5
<i>Bernoullia flammea</i>	BOMBACACEAE	No pionera	12	Ver	3, 4, 5
<i>Brosimum alicastrum</i>	MORACEAE	No pionera	1	Bro	3, 4, 5
<i>Bursera simaruba</i>	BURSERACEAE	No-pionera	5	Bur	2-5
<i>Cecropia obtusifolia</i>	CECROPIACEAE	Pionera	3	Cec	2-5
<i>Cedrela odorata</i>	MELIACEAE	Pionera	10	Ced	2-5
<i>Cojoba arborea</i>	MIMOSACEAE	No pionera	12	Coj	2, 3
<i>Eupatorium galeotii</i>	ASTERACEAE	Pionera	5	Eup	3, 4, 5
<i>Ficus yoponensis</i>	MORACEAE	Pionera	3	Fic	3, 4, 5
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	TILIACEAE	Pionera	3	Hel	2-5
<i>Ochromoa pyramidata</i>	BOMBACACEAE	Pionera	4	Och	3, 4, 5
<i>Sapindus saponaria</i>	SAPINDACEAE	No-pionera		Sap	2-5
<i>Tabebuia guayacan</i>	BIGNONIACEA	No pionera		Tab	3, 4, 5
<i>Tetrorchidium rotundatum</i>	EUPHORBIACEAE	No-pionera	1	Tet	2-5
<i>Trema micrantha</i>	ULMACEAE	Pionera	4	Tre	2-5
<i>Witheringia nelsonii</i>	SOLANACEAE	Pionera		Wit	2, 3, 4

¹La metodología señalada coincide con la descrita en las secciones 2, 3, 4 y 5 del mismo apartado: 2. Diseño experimental para evaluar la germinación, 3. Diseño experimental para evaluar el crecimiento y sobrevivencia, y 4 Grupos con base en características funcionales.

2. Diseño experimental para evaluar la germinación

El experimento de germinación se llevó a cabo en una parcela con una superficie de 1.1 ha, (88m x 132m), en un pastizal, excluida del ganado (Figura 1). Dentro de la parcela se ubicaron 24 subparcelas de 12x12m, distribuidas en cuatro filas de seis parcelas. Las parcelas estaban separadas por pasillos de 10 m. Las subparcelas tenían una separación de 5 m de la cerca de exclusión. En dos de los tres pasillos horizontales que separaban las cuatro filas de parcelas, se realizó la siembra directa y se destinó espacio para los trasplantes de los individuos provenientes de vivero.

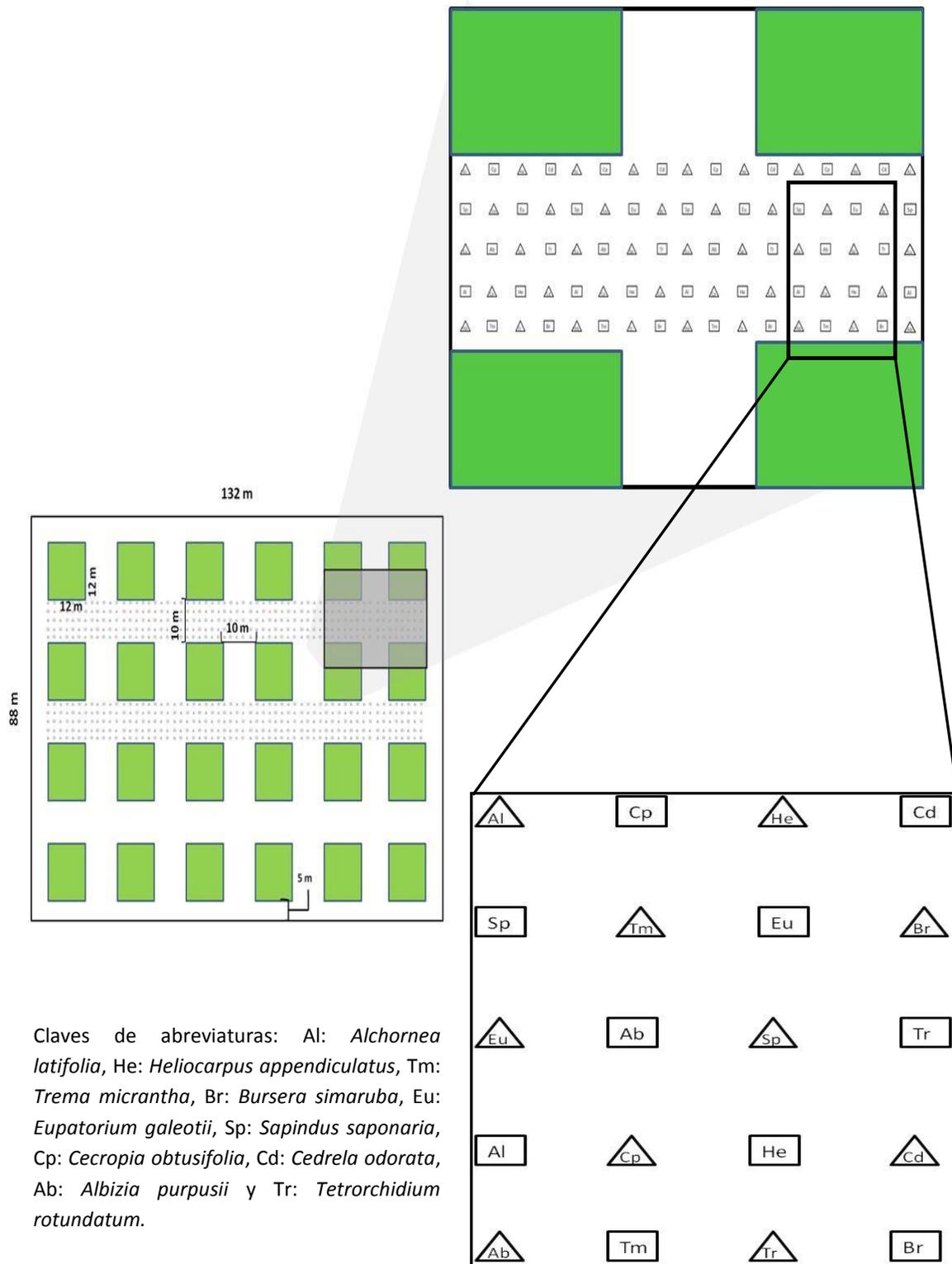
Los tres pasillos horizontales tenían un ancho de 10 x 122m de ancho, considerando que a cada extremo de los pasillos se dejó una distancia de 5 m con la cerca de exclusión. Los dos tratamientos (trasplante de vivero y siembra directa) se encontraban intercalados en los pasillos. Cada individuo, sin importar su tratamiento, disponía de un área de 2 x 2m. El individuo se colocó en el centro de este cuadrado, por lo que la distancia entre cada planta fue de 2 m. El patrón fue diseñado con la intención de que los tratamientos estuvieran siempre intercalados, y se evitó que dos individuos de la misma especie estuvieran juntos, sin importar su tratamiento (Figura 1).

En cada tratamiento (siembra directa en el pastizal y trasplante de vivero) se incluyeron espacios para las 10 especies consideradas para el presente experimento, aunque el número de especies empleadas se modificó en función de su disponibilidad. Se tenían 30 espacios (15 en cada pasillo) para individuos trasplantados y 30 (15 en cada pasillo) para individuos sembrados directamente. El diseño experimental se resume como 10 especies x 30 espacios x 2 tratamientos.

En Julio del 2010 se realizaron dos siembras, cada una incluía siembras directas en el campo y en un vivero. Para la primera siembra directa se emplearon 150 semillas por especie. Estas semillas se tomaron directamente de los frutos de por lo menos cinco árboles madre de

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Figura 1 Diseño de la parcela experimental, en donde se muestra la distribución de las subparcelas y los pasillos. Patrón de distribución de las especies en los pasillos de las parcelas experimentales. Las figuras geométricas simbolizan los tratamientos: Δ siembra directa, mientras que \square trasplante de vivero. Dentro de cada figura se indica con una abreviatura, la especie que ocupa ese lugar.



Claves de abreviaturas: Al: *Alchornea latifolia*, He: *Heliocarpus appendiculatus*, Tm: *Trema micrantha*, Br: *Bursera simaruba*, Eu: *Eupatorium galeotii*, Sp: *Sapindus saponaria*, Cp: *Cecropia obtusifolia*, Cd: *Cedrela odorata*, Ab: *Albizia purpusii* y Tr: *Tetrorchidium rotundatum*.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

la selva madura alledaña. Semillas de siete especies fueron las que se pudieron obtener. Las semillas se lavaron y secaron para poder ser almacenados en bolsas de papel, hasta obtener el resto de las semillas e inmediatamente se procedió a su siembra. Las especies que emplearon en la primera siembra fueron: *Alchornea latifolia*, *Bursera simaruba*, *Cecropia obtusifolia*, *Cedrela odorata*, *Eupatorium galeotii*, *Heliocarpus appendiculatus* y *Trema micrantha* (ver Tabla 2 y 3).

La segunda siembra se realizó con semillas obtenidas de las trampas de lluvia de semillas colocadas en las plantaciones (ver arriba). Estas semillas fueron dispersadas naturalmente, lo cual implica que probablemente ya experimentaron condiciones que interrumpieron su latencia, por ejemplo el paso por el tracto digestivo, y haber sido expuestas a tratamientos de interrupción de la latencia, como en el caso de semillas dispersadas por animales. Para esta siembra se usaron tres especies de las 10 consideradas originalmente: *Bursera simaruba*, *Cecropia obtusifolia* y *Heliocarpus appendiculatus* (Ver Tabla 2 y 4).

Las siembras se realizaron en grupos de cinco semillas por espacio de 2x2 m. Las semillas se enterraron 2 cm para evitar la depredación por roedores y hormigas.

En un vivero rustico de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas se realizaron las dos germinaciones simultaneas a la siembra directa en campo. La siembra en vivero se realizó en charolas de germinación, con suelo de la selva, y sin adicionar agua.

Para cada siembra se realizaron tres censos quincenales del número de individuos germinados: a cada individuo se le midió el diámetro a la base y altura de las plántulas.

3. Diseño experimental para evaluar el crecimiento y sobrevivencia

El presente trabajo se encuentra inserto dentro del proyecto “Analizando plantaciones de enriquecimiento en paisajes tropicales fragmentados en Los Tuxtlas, Veracruz”. Este proyecto

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

consiste en plantaciones experimentales de especies con diferentes síndromes de dispersión (bióticos –aves o murciélagos- y abióticos –viento y gravedad-), en 16 de 24 parcelas de 30 X 30 m, las 8 parcelas restantes no tienen plantaciones, son controles. Todas las parcelas se encuentran excluidas del ganado mediante cercas vivas de *Gliricidia sepium* (Fabaceae) y cuatro hilos de alambre de púas. Cada parcela se encuentra dividida en cuatro subparcelas con un corredor de un metro de ancho dividiéndolas. Cada trampa de semillas de 1 m² fue colocada al azar en cada subparcela. Las plantaciones se establecieron en Junio del 2006 con individuos propagados en un vivero, y desde entonces se ha monitoreado el crecimiento y sobrevivencia de todos los individuos de todas las especies cada seis meses. Adicionalmente se monitoreo el reclutamiento natural en las mismas parcelas de especies leñosas cada cuatro meses. Con base en el número de individuos obtenido en los censos de plantaciones y las reclutas, se eligieron las especies para evaluar su desempeño y relacionarlo a las tasas de crecimiento y porcentaje de sobrevivencia y germinación. Adicionalmente se consideró la historias de vida de las especies (Tabla 2.).

4. Desempeño de las especies por historia de vida y Sitio de germinación

Sobrevivencia, y tasas relativas de crecimiento. Al término de los 16 censos de crecimiento y sobrevivencia de especies pioneras y no-pioneras, reclutadas naturalmente y trasplantadas de vivero en las plantaciones de enriquecimiento, se calcularon los porcentajes de sobrevivencia de Junio del 2007 a mayo del 2011, tasas relativas y absolutas mensuales de crecimiento en altura y diámetro en la base de Junio del 2007 a mayo del 2011. Las tasas relativas se calcularon como $(\text{Log}H_f - \text{Log}H_i)/t$ (Poorter & Remkes, 1990), mientras que la tasa absoluta se calculó como $(H_f - H_i)/t$. Donde H_f es la medición final –de altura (cm) o diámetro a la base (mm)-, H_i la medición inicial –de altura (cm) o diámetro a la base (mm)-y t el tiempo en meses entre la primera y la última medición.

5. Caracteres funcionales

Para obtener los valores de los caracteres foliares, (área de la hoja, el peso foliar específico y la masa seca de la hoja) en noviembre del 2009 se tomaron de 3 hojas completamente desarrolladas. El área de la hoja fue medida sin incluir el peciolo nueve individuos por especie usando un escáner de medición de área foliar (Ci-202, CID, Inc. Camas, WA, USA). El peso fresco de la hoja fue determinado en una balanza (Pocket Pro 250-B, ACCULAB, 5 NA, USA), después las hojas se secaron en un horno a 100°C por 24 horas hasta alcanzar un peso constante y obtener el peso seco en gramos. El peso foliar específico como *Peso foliar específico= peso seco/área foliar* (Martínez-Garza, *et al.*, 2005)

La altura máxima de las especies y las variables reproductivas (tamaño de la flor, tamaño del fruto, peso del fruto, peso de la semilla y número de semillas por fruto), fueron obtenidas de la literatura (Ibarra-Manríquez & Oyama 1992). Para los caracteres funcionales de arquitecturas (área de la copa, la profundidad de la copa, la altura a la primera rama y la altura máxima de la especie) se tomaron mediciones de Junio del 2007 a mayo del 2011. Con ayuda de un fluxómetro se midió la altura a la primera ramificación desde el nivel del suelo. La medición de la última hoja a la primera rama se consideró la profundidad de copa. Finalmente se calculó el área de la copa como $0.25\pi d_1 d_2$, donde d_1 es el largo de la copa y d_2 es el diámetro perpendicular a este. Todos los valores de arquitectura fueron estandarizados considerándose cuando el individuo tenía 30 mm de diámetro a la base.

6. Análisis de datos

Los porcentajes se normalizaron con el arco seno de su valor, esto para homogeneizar la varianza. Se calcularon los promedios y desviaciones estándar de las tasas relativas y absolutas de crecimiento de las plantas germinadas en vivero o reclutadas naturalmente.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Se realizaron pruebas de ANOVA de medidas repetidas, para determinar si había diferencias significativas en las variables dependientes entre los factores. Como factores se consideraron al sitio de germinación (vivero y reclutamiento natural), e historia de vida (pioneras y no-pioneras), mientras que las variables dependientes fueron las tasas relativas de crecimiento y porcentaje de sobrevivencia.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con 12 características funcionales (Foliares, Reproductivas y Arquitectónicas) de 10 especies reclutadas naturalmente y 11 especies de las plantaciones. Las especies que se compartían en la comunidad de reclutas y en las plantaciones se incluyeron en el análisis como especies separadas, esto para evaluar sus caracteres funcionales respecto al origen.

Las variables de desempeño de las especies (porcentaje de sobrevivencia, tasa absoluta de crecimiento en altura y diámetro a la base) y el número de individuos reclutados naturalmente, fueron correlacionados con los Ejes del ACP (Tabla 7). El número de reclutas y las otras variables de desempeño, fueron correlacionados con cada uno de los 12 caracteres funcionales (Tabla 8). Todos los análisis se llevaron a cabo en el programa STATISTICA *ver* 8.0 (1984, Statsoft, INC).

RESULTADOS

Los valores obtenidos de germinación no fueron suficientes para establecer comparaciones entre grupos. Tampoco fue posible dar continuidad a estos individuos germinados para evaluar su posterior crecimiento y sobrevivencia. Los valores y comparaciones reportadas para crecimiento y sobrevivencia se obtuvieron de la metodología desarrollada para evaluar estas variables (ver Metodología 3.)

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

1. Desempeño de especies pioneras y no-pioneras

Germinación

De siete especies sembradas en la primera siembra, únicamente *Cedrela odorata* germinó en vivero (14%), mientras que en el campo *Bursera simaruba* y *Trema micrantha* obtuvieron valores de germinación del 0.06% y *Cedrela odorata* del 6% (Tabla 3). En la segunda siembra de tres especies, únicamente *Bursera simaruba* germinó en el campo, alcanzando el 17% (Tabla 4).

Tabla 3. Porcentaje de germinación obtenido en la primera siembra directa en un pastizal recién abandonado, y en vivero.

Especie	Porcentaje de germinación	
	Vivero	Pastizal
<i>Alchornea latifolia</i>	0	0
<i>Bursera simaruba</i>	0	.06
<i>Cecropia obtusifolia</i>	0	0
<i>Cedrela odorata</i>	14	6
<i>Eupatorium galeotii</i>	0	0
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	0	0
<i>Trema micrantha</i>	0	.06

**ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.**

Tabla 4. Porcentaje de germinación obtenido en la segunda siembra directa en un pastizal recién abandonado, y en vivero.

Especie	Número de semillas sembradas	Porcentaje de germinación	
		Vivero	Pastizal
<i>Bursera simaruba</i>	94	0	17
<i>Cecropia obtusifolia</i>	190	0	0
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	94	0	0

Sobrevivencia

Cecropia obtusifolia fue la especie pionera con mayor sobrevivencia (94.44%), mientras *Ochroma pyramidata* fue la que presentó menor sobrevivencia (32.29%). Para las especies no pioneras *Albizia purpusii* fue la especie que presentó la sobrevivencia más alta (100%), mientras que *Brosimum alicastrum* presentó la sobrevivencia más baja (15.62%). Las especies pioneras obtuvieron en promedio una sobrevivencia de $76.94 \pm 18.63\%$, mientras que las no pioneras $57.48 \pm 25.19\%$ (Tabla 5). La prueba de ANOVA no mostró diferencias significativas ($F_{(1, 16)}=3.07$, $P \leq 0.05$) entre la sobrevivencia por historia de vida. Se repitió la prueba eliminando los datos extremos, y la ausencia de diferencias significativas prevalece ($F_{(1, 16)}=2.64$, $P > 0.05$) (Figura 2 y Tabla 5).

**ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.**

Tabla 5. Promedio y desviación estándar por historias de vida, sitio de germinación de las especies y las diferentes combinaciones de ambas. Los superíndices muestran si se encontraron diferencias significativas en la prueba de ANOVA para medidas repetidas. Valores con distinta letra denota diferencias significativas.

	Sobrevivencia (%)	Tasa relativa de crecimiento en altura (cm/cm/mes)	Tasa relativa de crecimiento en diámetro (mm/mm/mes)
Historia de vida			
Pioneras	76.94±18.63 ^a	0.016±0.004 ^a	0.020±0.007 ^a
No-pioneras	57.48±25.19 ^a	0.016±0.002 ^a	0.017±0.002 ^a
Sitio de germinación			
Vivero	80.51±19.25 ^a	0.014±0.004 ^a	0.020±0.006 ^a
<i>In situ</i>	56.32±22.31 ^b	0.018±0.002 ^a	0.017±0.004 ^a
Historia de vida/Sitio de germinación			
Pioneras/vivero	63.08±20.63 ^a	0.017±0.003 ^a	0.023±0.008
Pioneras/ <i>In situ</i>	86.79±8.63 ^a	0.015±0.004 ^a	0.017±0.005 ^a
No-pioneras/vivero	47.35±19.51 ^a	0.018±0.001 ^a	0.017±0.002 ^a
No-pioneras/ <i>In situ</i>	72.66±25.11 ^a	0.015±0.004 ^a	0.018±0.003 ^a

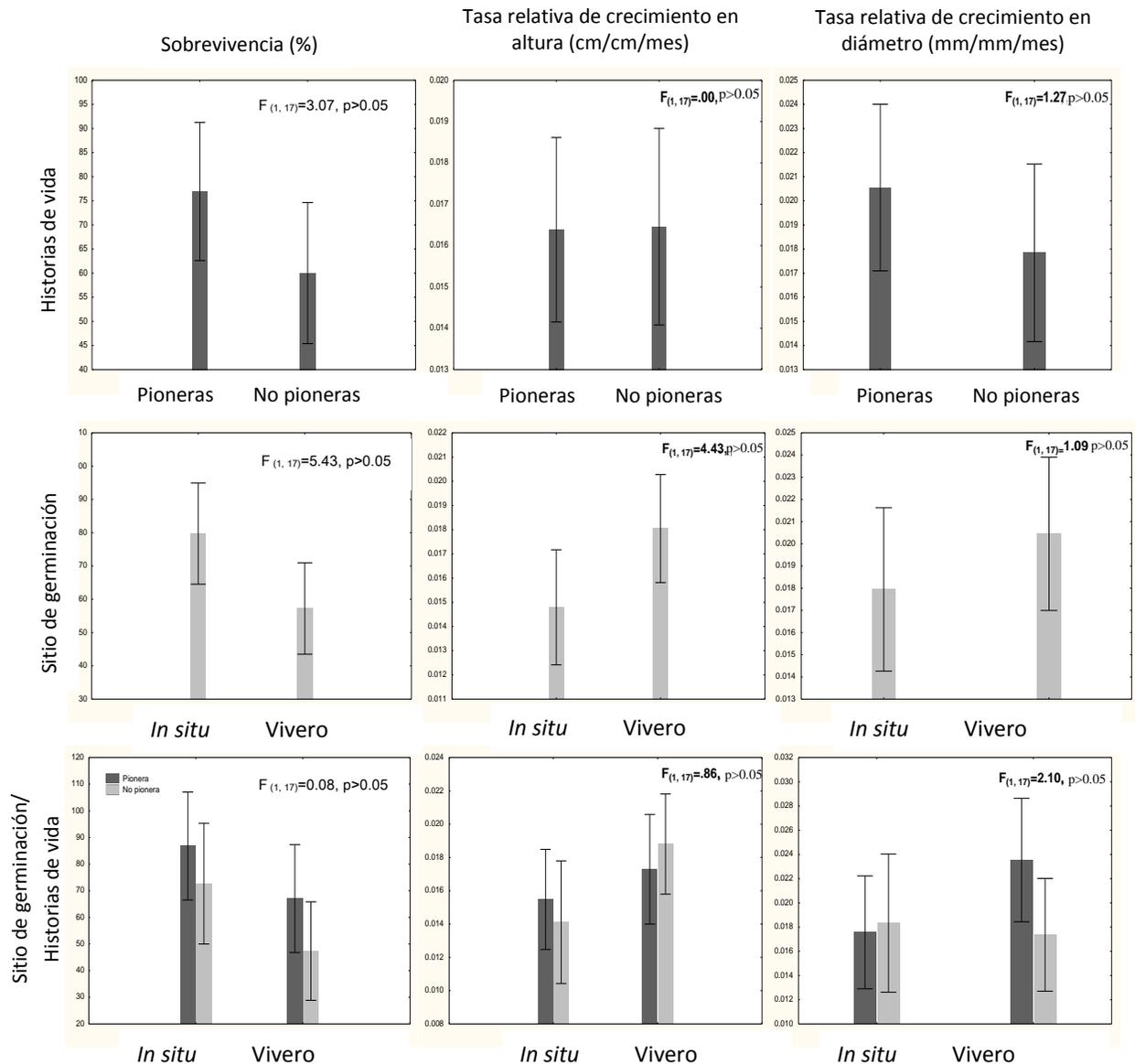
ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Crecimiento en altura

Analizando individualmente cada especie, podemos decir que *Cecropia obtusifolia* fue la especie pionera con mayor tasa relativa de crecimiento en altura (0.023cm/cm/mes), mientras que *Eupatorium galeotii* fue la pionera con la tasa más baja (0.008 cm/cm/mes). *Tabebuia guayacan* fue la especie no-pionera con la mayor tasa de crecimiento (0.020cm/cm/mes); *Sapindus saponaria* presento la más baja (0.011cm/cm/mes).

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Figura 2. Porcentajes de sobrevivencia, tasa relativas de crecimiento en altura y en diámetro a la base para Mayo del 2011 en las parcelas experimentales: por historias de vida, sitio de germinación y las combinaciones de estos.



Las especies pioneras en promedio obtuvieron una tasa relativa de crecimiento en altura de 0.01 ± 0.004 cm/cm/mes, mientras que las no-pioneras obtuvieron una tasa de 0.01 ± 0.002 cm/cm/mes (Tabla. 12). La prueba de ANOVA mostró que no había diferencias significativas ($F_{(1, 17)}=0.00$, $P>0.05$)(Figura 2). Sin embargo, cuando el análisis de varianza se realiza empleando tasas absolutas, los resultados son diferentes. El ANOVA muestra que las especies

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

pioneras (9.39 ± 3.66 cm/mes) tienen una tasa absoluta de crecimiento en altura significativamente mayor ($F_{(1,17)}=5.98$, $P>0.01$) que las no-pioneras (5.85 ± 1.59 cm/mes).

Crecimiento en diámetro a la base

Ochroma pyramidata fue la especie pionera con mayor tasa relativa de crecimiento en la base (0.036 mm/mm/mes), y *Witheringia nelsonii* fue la de menor tasa (0.012 mm/mm/mes). Para las especies no-pioneras *Albizia purpusii* presentó la mayor tasa de crecimiento (0.021 mm/mm/mes), y *Sapindus saponaria* la menor tasa de crecimiento (0.013 mm/mm/mes).

Por historia de vida tenemos que las pioneras mostraron una tasa de crecimiento en diámetro a la base de 0.02 ± 0.007 mm/mm/mes, mientras que las no-pioneras 0.01 ± 0.002 mm/mm/mes (Tabla. 12). La prueba ANOVA no mostró diferencias significativas comparando las tasas relativas ($F_{(1,17)}=1.29$, $P \geq 0.05$) (Figura 2). Sin embargo, si la ANOVA se realiza con la tasa absoluta se obtiene que las pioneras tienen una tasa de crecimiento significativamente mayor (3.80 ± 3.16 mm/mes) ($F_{(1,17)}=6.44$, $P>0.01$) que las no-pioneras (1.59 mm/mes ± 1.03).

2. Desempeño de especies germinadas en vivero e *in situ*

Sobrevivencia

Albizia purpusii fue la especie reclutada naturalmente con mayor sobrevivencia (100%), mientras que *Tetrorchidium rotundatum* fue la que sobrevivió menos (33.33%). Para las especies propagadas en vivero trasplantadas a las parcelas, *Cecropia obtusifolia* fue la que presentó la mayor sobrevivencia (87.5%), y *Brosimum alicastrum* presentó la menor (15.62%)

Las especies trasplantadas de vivero obtuvieron un porcentaje de sobrevivencia menor ($56.32 \pm 22.31\%$) que las reclutadas naturalmente ($80.51 \pm 19.25\%$) (Tabla 5). La prueba de

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

ANOVA muestra que las especies germinadas *in situ* tienen una sobrevivencia significativamente más alta ($F_{(1,16)}=5.43, P<0.05$) (Figura 2).

Crecimiento en altura.

Cecropia obtusifolia fue la especie reclutada naturalmente con mayor tasa de crecimiento en altura (0.023 cm/cm/mes), mientras que *Witheringia nelsonii* presentó los valores más bajos (0.008 cm/cm/mes). Para las especies propagadas en vivero, *Ochroma pyramidata* presentó la tasa de crecimiento en altura más alta (0.022 cm/cm/mes), y *Heliocarpus appendiculatus* presentó la más baja (0.013 cm/cm/mes).

Las reclutas presentaron una la tasa relativa de crecimiento en altura de 0.014 ± 0.003 cm/cm/mes, mientras que las trasplantadas de vivero obtuvieron $0.018 \text{ cm/cm/mes} \pm 0.002$ (Tabla 12). La prueba de ANOVA mostró que no había diferencias significativas para la tasa relativa de crecimiento en altura ($F_{(1,17)}=4.43, P>0.05$) (Figura 2).

Crecimiento en diámetro a la base

En las reclutadas naturalmente, la tasa de crecimiento relativa en el diámetro a la base más alta la presentó *Cecropia obtusifolia* (0.024 mm/mm/mes), y *Witheringia nelsonii* presentó la más baja (0.012 mm/mm/mes). Por otro lado, para las especies propagadas en vivero, *Ochroma pyramidata* presento la tasa más alta (0.036 mm/mm/mes), y *Cedrela odorata* la más baja (0.013mm/mm/mes).

Las reclutas mostraron una tasa relativa de crecimiento en diámetro de 0.017 ± 0.004 mm/mm/mes. Mientras que las trasplantadas de vivero presentaron $0.020 \text{ mm/mm/mes} \pm 0.006$ (Tabla 5). La prueba de ANOVA mostró que no había diferencias significativas para la tasa relativa de crecimiento en diámetro ($F_{(1,17)}=1.09, P>0.05$) (Gráfica 1).

3. Desempeño de las especies por historia de vida y sitio de germinación.

Sobrevivencia

Las especies pioneras trasplantadas de vivero mostraron una sobrevivencia de $63.08 \pm 20.63\%$, las pioneras reclutadas $86.79 \pm 8.63\%$, las no-pioneras trasplantadas de vivero $47.35 \pm 19.51\%$ y no-pioneras reclutadas naturalmente $72.66 \pm 25.11\%$. La prueba de ANOVA (Tabla 5), mostró que no había diferencias significativas en la interacción de historia de vida con sitio de germinación ($F_{(1,16)}=0.08$, $P>0.05$) .

Crecimiento en altura

Para la tasa relativa de crecimiento en altura, la prueba de ANOVA (Tabla 5), mostró que no había diferencias significativas para la interacción de historia de vida con sitio de germinación ($F_{(1,17)}=0.86$, $P>0.05$).

Crecimiento en diámetro a la base

Para la tasa relativa de crecimiento en la prueba de ANOVA (Tabla 5), mostró que no había diferencias significativas en diámetro a la base ($F_{(1,17)}=2.10$, $P>0.05$) para la interacción de historia de vida con sitio de germinación.

4. Grupos con base en características funcionales

Los dos primeros ejes de ACP explicaron el 45.28% de la variación de 12 caracteres funcionales. El eje 1 explicó el 26.45%, mientras que el eje 2 explica el 18.83%. Los caracteres

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

funcionales que tuvieron mayor peso en el ACP (Figura 3) con base en los eigenvalues (valores propios) fueron el área de la copa (-0.78), profundidad de copa (-0.56) y altura a la primera rama (-0.51).

Cuando correlacionamos los 12 caracteres funcionales con los parámetros de desempeño y el número de individuos reclutados naturalmente (Tabla 8), encontramos que la sobrevivencia se correlacionó positiva y significativamente con el área foliar ($r=0.50$, $P<0.05$), y el contenido de masa seca ($r=0.74$, $P<0.001$). Es decir los individuos con el incremento del área foliar y masa seca se incrementarán la sobrevivencia. Las tasa de crecimiento relativa en la altura se correlacionó significativa y positivamente con el área de la hoja ($r=0.71$, $P<0.001$), el contenido de masa seca ($r=0.46$, $P<0.05$), el área de la copa ($r=0.80$, $P<0.001$), la profundidad de la copa ($r=0.66$, $P<0.001$), altura a la primera rama ($r=0.48$, $P<0.05$) y peso de la semilla ($r=0.49$, $P<0.05$). Es decir, conforme los valores en estas variables se incrementan en los individuos, también lo hace la tasa de crecimiento relativo en altura. La tasa relativa de crecimiento en el diámetro a la base se correlaciono significativa y positivamente con el área de la copa ($r=0.71$, $P<0.001$) y la profundidad de la copa ($r=0.56$, $P<0.001$). Esto implica que con el crecimiento del área y profundidad de la copa, se incrementará proporcionalmente la tasa de crecimiento en el diámetro a la base.

El Eje 1 se correlacionó negativa y significativamente con la sobrevivencia ($r=-0.47$, $P<0.05$), con la tasa relativa de crecimiento en altura ($r=-0.23$, $P<0.05$) y con el diámetro a la base ($r=-0.33$, $P>0.05$), mientras que no se correlacionó con el número de individuos reclutados. Estas correlaciones presentaron valores similares cuando se realizaron separando a las especies por sitio de germinación (Tabla 14), mientras que cuando se separó a las especies por historia de vida, las correlaciones disminuyen considerablemente, pero son significativas (Tabla 7).

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Por otro lado, el eje 2 no se correlacionó con la sobrevivencia ($r=-0.00$, $P>0.05$), tasa relativa de crecimiento en altura ($r=0.50$, $P>0.05$), a la base ($r=-0.06$, $P>0.05$), ni para el número de individuos reclutados ($r=-0.06$, $P>0.05$)(Tabla 7). Cuando correlacionamos los valores del Eje 2 separando a las especies por historias de vida y por sitio de germinación, encontramos valores distintos.

En la proyección de las especies en el plano formado por el eje 1 y 2, podemos observar una tendencia de las especies a agruparse en el centro (Gráfica 3). Los grupos funcionales se establecieron considerando las variables de desempeño (sobrevivencia y crecimiento) y el número de individuos reclutados naturalmente (Tabla 6). *Witheringia nelsonii* no fue incluida en el ACP porque no hay registros bibliográficos de los caracteres reproductivos. Se establecieron cuatro grupos funcionales, vinculados cada uno con la mejor alternativa de introducción en proyectos de restauración.

- No sensibles al sitio de germinación: *Albizia purpusii*, *Cecropia obtusifolia* y *Heliocarpus appendiculatus*. Este grupo presentó la sobrevivencia más alta (87.5%-100%), altas tasas relativas de crecimiento en altura (6.08-14.98 cm/cm/mes) y diámetro a la base (2.94 y 4.16 mm/mm/mes). Ninguna característica funcional fue distintiva para este grupo. Este grupo estuvo formado por las especies cuyos individuos trasplantados de vivero y reclutados naturalmente se encontraron muy cercanos en el ACP (Figura 4).

- Candidatas a siembra directa: *Tetrorchidium rotundatum*, *Trema micrantha*, *Eupatorium galeotii*, *Bursera simaruba*. Las especies de este grupo registraron el mayor número de individuos reclutados naturalmente (13-337 individuos). Este grupo además tuvo una alta sobrevivencia (33.33-94.11%) y alta tasa de crecimiento en altura (6.42-11.09 cm/cm/mes) y diámetro a la altura del

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

pecho (2.83-1.27 mm/mes). El ACP mostró que los caracteres de profundidad de copa y área de la copa fueron los que mayor peso tuvieron en la definición de este grupo (Figura 4). Los valores de este grupo para la profundidad de la copa fueron 169.03-433.14 cm y área de la copa 80.17-59.17 m². Estas especies tuvieron los valores más altos en estos dos caracteres.

➤ Candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión temprana: *Cedrela odorata*, *Ficus yoponensis*, *Ochroma pyramidata*, *Tabebuia guayacan* y *Cojoba arborea*. Todas las especies fueron trasplantadas de vivero. Los porcentajes de sobrevivencia, en comparación con los otros grupos, fueron intermedios (32.29-73.25%), así como las tasas relativas de crecimiento en altura (3.59-12.87 cm/cm/mes) y diámetro a la base (1.03-11.60mm/mm/mes). Este grupo se distribuyó básicamente en el centro de la gráfica (Figura 4).

➤ Candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión tardía: *Brosimum alicastrum*, *Bernoullia flammea*, *Sapindus saponaria* y *Amphitecna tuxtlensis*. Estas especies fueron trasplantadas de vivero. Con excepción de *Sapindus saponaria* (87.5%), presentaron la sobrevivencia más baja (15.62-39.36%). La tasa de crecimiento relativa en altura (3.4-5.19 cm/cm/mes) y en diámetro a la base fueron también los más bajos (0.55-1.68 mm/mm/mes) en comparación con el resto de los grupos. Las características distintivas de este grupo fueron: semillas pesadas (0.33-0.91 g), alta área foliar específica (2.12-55.33 cm²) y flores grandes (0.6-150 mm), en orden de importancia (Figura 4).

**ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.**

Tabla 6. Para el total de las especies, separadas por grupos encontrados: porcentaje de germinación con tratamiento pregerminativo (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), número de semillas requeridas para producir un recluta en un pastizal, número de individuos reclutados de Juno del 2007 a Mayo del 2011 y semillas producidas por fruto.

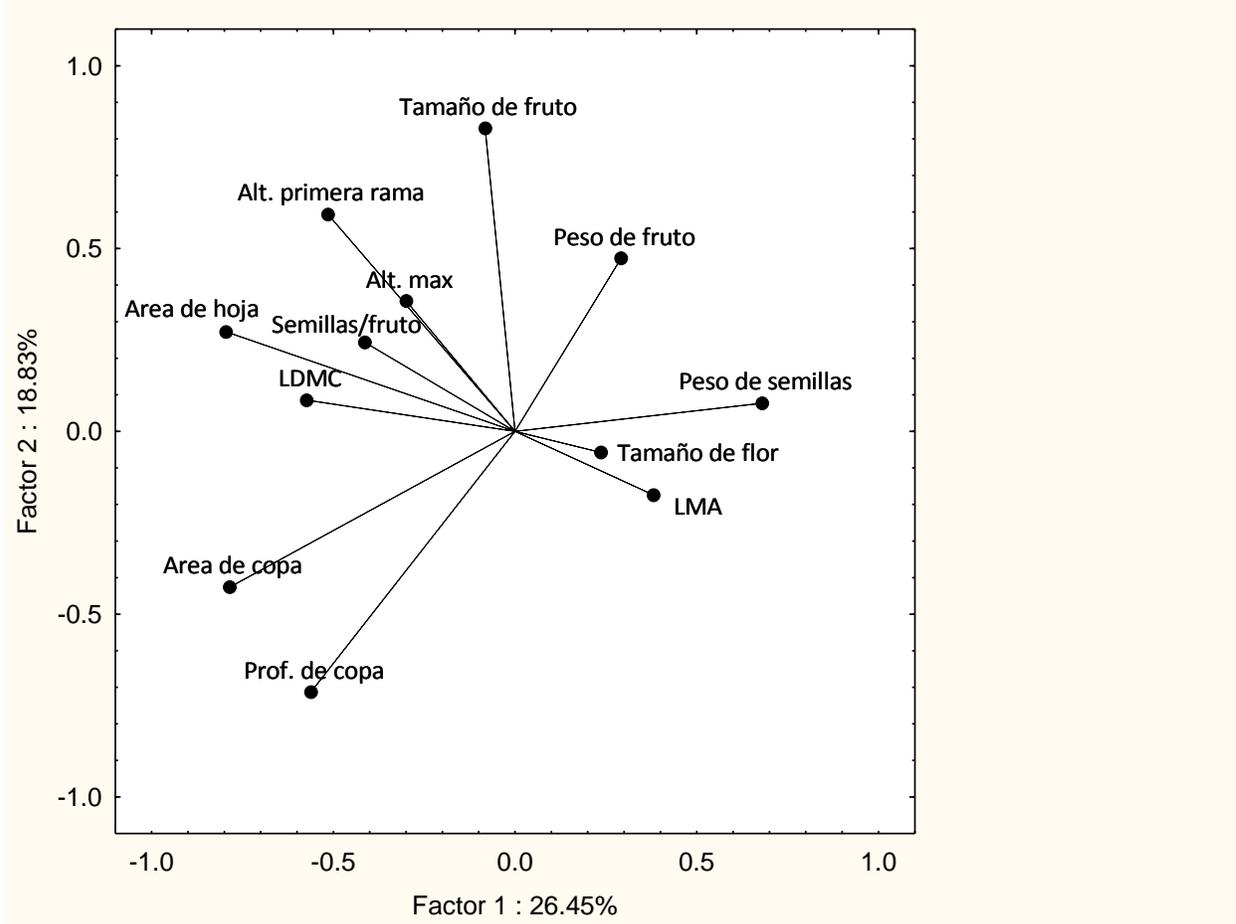
Especies	Porcentaje de germinación	Semillas requeridas para producir un recluta	Individuos reclutados naturalmente	Semillas producidas por fruto
Indiferente al sitio de germinación				
<i>Albizia purpusii</i>			57	10
<i>Cecropia obtusifolia</i>	90	187.11	36	4758
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	55	3177.2	23	2
Siembra directa				
<i>Eupatorium galeotti</i>		1282.86	53	1
<i>Trema micrantha</i>	70	5148.87	13	1
<i>Tetrorchidium rotundatum</i>		14.08	27	2
<i>Bursera simaruba</i>		11.38	337	1
Trasplante de vivero en sitios de sucesión temprana				
<i>Cedrela odorata</i>	93	44.3	13	30
<i>Ficus yoponensis</i>		/	0	4000

**ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.**

<i>Tabebuia guayacan</i>		/	0	500
<i>Ochroma pyramidata</i>	77	845	1	800
<i>Cojoba arborea</i>		/	0	12
Trasplante de vivero en estados de sucesión tardíos				
<i>Brosimum alicastrum</i>	88	/	0	3
<i>Bernullia flammea</i>		/	0	150
<i>Amphitecna tuxtlensis</i>		/	0	50
<i>Sapindus saponaria</i>			11	

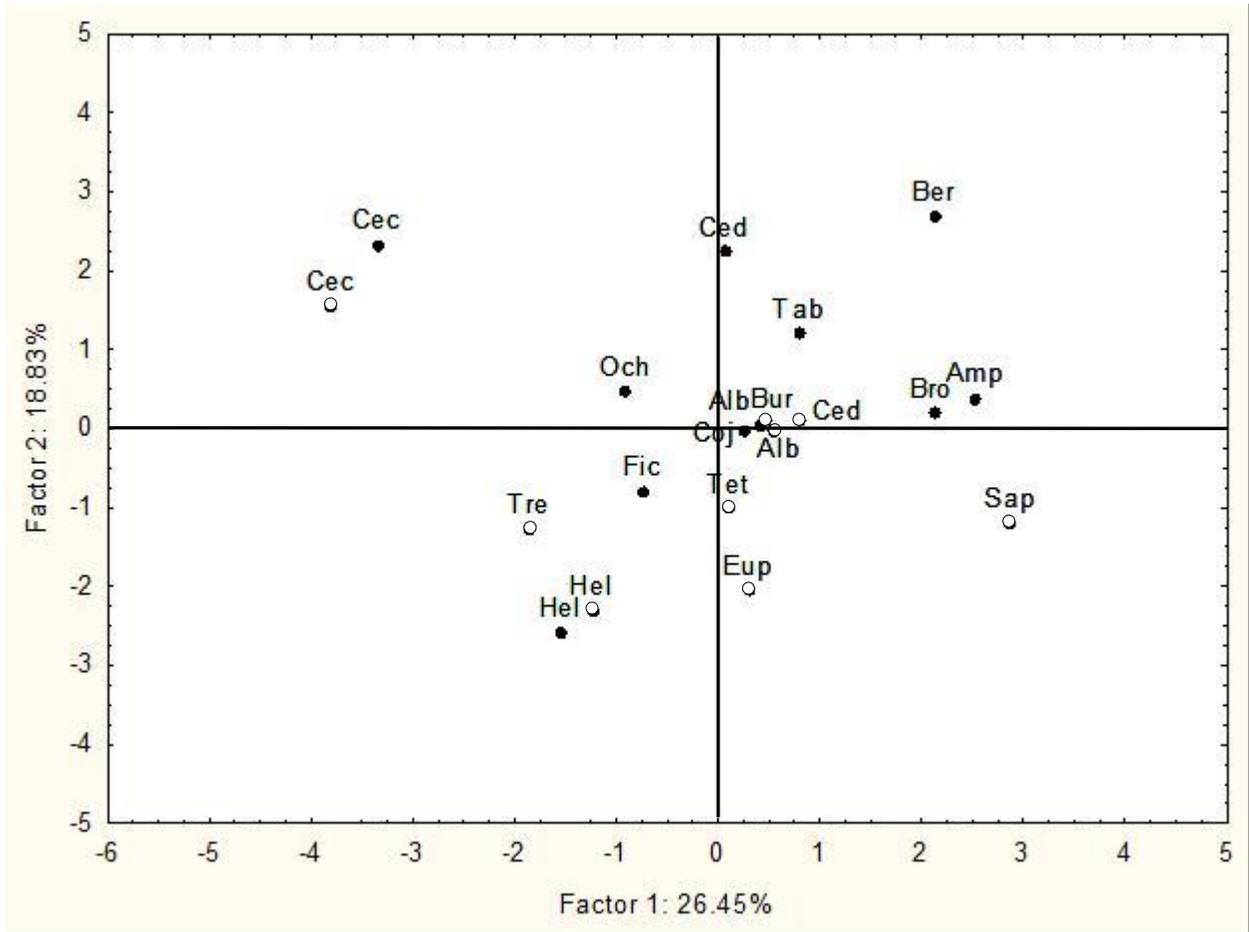
ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Figura 3. Proyección de las 12 variables utilizadas en el Análisis de Componentes Principales en el plano formado por los Ejes 1 y 2.



ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Figura 4. Análisis de Componentes Principales considerando doce caracteres funcionales para 11 especies de plantaciones y 10 reclutadas naturalmente. Los puntos negros son especies que fueron trasplantadas de vivero, mientras que los círculos vacíos son las especies reclutadas naturalmente.



**ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.**

Tabla 7. Valores de r para la correlación entre el desempeño de las especies y los Ejes 1 y 2 encontrados en el Análisis de Componentes Principales.

	Porcentaje de supervivencia	Tasa relativa de crecimiento en altura (cm/ cm mes)	Tasa relativa de crecimiento en diámetro a la base (mm/mm/mes)	Número de individuos reclutados a Mayo/2011
Todas las especies				
Eje 1	-0.47*	-0.86***	-0.44*	-0.00
Eje 2	-0.00	-0.06	-0.17	-0.06
Sitio de germinación				
<i>Reclutas naturales</i>				
Eje 1	-0.61*	-0.86***	-0.44	0.14
Eje 2	0.41	0.21	0.10	0.22
<i>Trasplantadas de vivero</i>				
Eje 1	-0.58*	-0.87***	-0.58*	-0.46
Eje 2	-0.56	-0.20	-0.42	-0.08
Historia de vida				
<i>Pioneras</i>				
Eje 1	-0.24	-0.85***	-0.11	-0.28
Eje 2	0.06	0.13	-0.14	-0.11
<i>No-pioneras</i>				
Eje 1	-0.17	-0.80***	-0.47	-0.35
Eje 2	0.42	-0.42	-0.00	-0.22

P>0.05, *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

**ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.**

Tabla 8. Valores de r para la correlación entre 12 caracteres funcionales y el desempeño de las especies (sobrevivencia, tasa de crecimiento en altura, y tasa de crecimiento del diámetro a la base

Carácter funcional	Log₁₀ de sobrevivencia (%)	Tasa relativa de crecimiento en altura (cm/cm/mes)	Tasa relativa de crecimiento del diámetro a la base (mm/mm/mes)	Número de individuos reclutados a Mayo/2011
Foliares				
Área (cm ²)	0.50*	0.71***	0.21	-0.06
Masa por unidad de área (g/m ²)	-0.14	-0.16	-0.17	-0.27
Contenido de masa seca (g)	0.74***	0.46*	-0.01	-0.04
Arquitectónicos				
Área de la copa (m ²)	0.25	0.80***	0.71***	-0.10
Profundidad de la copa (cm)	0.16	0.66***	0.56***	-0.05
Altura a la primera rama (cm)	0.28	0.48*	0.15	0.05
Máxima altura del árbol (cm)	-0.17	0.22	0.14	0.24
Reproductivos				
Tamaño de las flores (mm)	-0.25	0.05	0.43	-0.23
Tamaño del fruto (mm)	-0.01	0.06	0.02	-0.27
Peso del fruto (g)	-0.14	0.15	0.08	-0.18
Peso de la semilla (g)	-0.27	-0.49*	-0.38**	-0.11
Numero de semillas por fruto	-0.12	0.40	0.27	-0.10

P>0.05, *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

DISCUSIONES

Los porcentajes de germinación obtenidos en la primera y en la segunda siembra en el campo y en vivero, fueron tan bajos que no fue posible establecer comparaciones con ellos por historias de vida, ni por sitio de germinación. Para las comparaciones de desempeño hechas, la única diferencia que se encontró fue que las especies pioneras tienen un crecimiento en altura y diámetro a la base mayor que las no-pioneras considerando la tasa absoluta de crecimiento, otra diferencia fue que las germinadas *in situ* tuvieron una sobrevivencia significativamente mayor que las germinadas en el vivero. En las interacciones entre historia de vida y sitio de germinación (*vivero o in situ*) no se encontraron diferencias significativas. De los 12 caracteres utilizados en el ACP, los que mayor peso tuvieron fueron el área y profundidad de la copa y la altura a la primera rama. El área y masa foliar se correlacionaron significativa y positivamente con la sobrevivencia. El área y masa foliar, el área de la copa, la profundidad de la copa, la altura a la primera rama y el peso de la semilla se correlacionaron significativamente con la tasa de crecimiento relativa en altura. Con la tasa relativa de crecimiento en el diámetro a la base se correlacionó el área y la profundidad de la copa. En las correlaciones de los ejes del ACP con los parámetros de desempeño, se encontró que el Eje 1 se correlacionó significativa y negativamente con la sobrevivencia, y con las dos tasas relativas de crecimiento. Se dividieron las especies en cuatro grupos con base en la mejor estrategia de introducción en proyectos de restauración. Los grupos que se encontraron fueron las especies no sensibles al sitio de germinación, las candidatas a siembra directa, las candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión temprana y las candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión tardía.

1. Desempeño de especies pioneras y no pioneras

Los resultados de germinación, tanto en vivero, como en pastizal fueron insuficientes para realizar pruebas estadísticas en las dos siembras. Los porcentajes de germinación obtenidos sugieren que la siembra directa demanda un alto número de semillas para poder producir una plántula. Se ha reportado que el número de semillas necesario para obtener una recluta varía considerablemente entre especies (Domene, *Datos no publicados*). Evaluaciones de la lluvia de semilla y el reclutamiento en Los Tuxtlas mostraron que para *Bursera simaruba*, por ejemplo, se requirieron 11.38 semillas para producir un solo recluta en un pastizal, mientras que para *Heliocarpus appendiculatus* se requirió 177.2 semillas y para *Trema micrantha* se requirió 5, 140.87 semillas (Domene, *Datos no publicados*). El número de semillas que se requieren para producir un recluta varía entre especies por órdenes de magnitud. Las causas de los bajos porcentajes de germinación pueden ser debidas a las condiciones fisiológicas como una latencia fisiológica (Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2009) o el almacenaje de entre 1 y 2 años de las semillas de la segunda siembra que pudo implicar la madurez de la semilla (Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2009). La herbívora fue considerado también como un factor para la ausencia de plántulas (Holl, *et al*, 2000, Doust, 2008). Así como la competencia con herbáceas en la parte aérea (Holl, 1998), o bien en el suelo con las raíces (Salaheldin, *et al.*, 1999). Las causas de los bajos porcentajes de germinación pueden ser muy variables, y la probabilidad de que uno o más criterios sean acertados varía entre especies.

Nuestra hipótesis respecto al crecimiento y sobrevivencia era que los individuos de especies pioneras tendrán un mejor desempeño que las no-pioneras. Nuestras hipótesis en cuanto a las diferencias por historia de vida, se cumplieron únicamente para el crecimiento con la tasa de crecimiento absoluta. A pesar de no haber encontrado diferencias en cuanto a la sobrevivencia de las plantas, si se ha observado que las especies pioneras si cumplen con

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

otras características típicas del grupo: tienen una área y profundidad de copa significativamente mayor que las no-pioneras (Swaine & Whitmore, 1988; Whitmore, 1989). Los valores de las sobrevivencias entre cada grupo tenían una variabilidad tan alta (ver Figura 2) que, ni aun cuando se excluyeron los valores extremos del análisis se pudieron observar deberse a que las caracterizaciones de estos grupos fueron establecidos dentro de la selva, por lo que las especies bajo condiciones de sucesión temprana pueden tener desempeño distinto. Al realizar las comparaciones entre la tasa de crecimiento relativa y absoluta, los resultados fueron variables. Utilizando tasas relativas de crecimiento no se encontraron diferencias entre historias de vida, mientras que con la tasa absoluta los resultados indicaron que las especies pioneras tuvieron una tasa de crecimiento más alta que las no-pioneras. La diferencia puede estar explicada en términos de las propias tasas de crecimiento: la tasa absoluta de crecimiento considera el incremento de los individuos, sin considerar el tamaño inicial. La tasa relativa, nos indica la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (Villar, *et al.*, 2004). En términos de restauración ecológica estas diferencias son muy importantes. Nuestros resultados muestran que, independientemente del tamaño del individuo, dentro de los primeros cuatro años, las especies pioneras crecen más rápido en altura y en diámetro sin importar el tamaño inicial desde el que se realice la comparación, lo que coincide con las características establecidas y observadas en la literatura para este grupo (Swaine & Whitmore, 1988; Whitmore, 1989; Porter & Borgers, 2006). En cuanto a la sobrevivencia, hay trabajos que en plantaciones en condiciones análogas a las de este trabajo, no han registrado diferencias entre estos grupos (Davidson, *et al.*, 1998; Carpenter, *et al.*, 2004, González & Fisher 1994, Haggard, *et al.* 1998). El hecho que las especies pioneras hayan presentado un crecimiento mayor que las no-pioneras, independientemente de su talla inicial coincide con las características establecidas de este grupo. La misma coincidencia en la literatura se encuentra con la sobrevivencia.

2. Desempeño entre especies germinadas en vivero e *in situ*

Las hipótesis para el desempeño entre especies germinadas en vivero e *in situ* (en las parcelas de sucesión temprana) era que las especies con germinación *in situ* tendrán sobrevivencia y crecimiento más altos que las originadas en vivero. Los análisis estadísticos, han demostrado que nuestras hipótesis en cuanto a la sobrevivencia son correctas. Las plantas de vivero sufren de un estrés adicional a las germinadas *in situ* por el trasplante (Douterlungne, *et al.*, 2008), lo cual puede implicar la muerte individuos que de no haber estado expuestos a ese estrés, hubieran sobrevivido. En cuanto a las tasas de crecimiento, existe un contraste con la hipótesis y lo encontrado: no hubo diferencias significativas para las tasas de crecimiento. Esto puede ser por que las especies trasplantadas o reclutadas estaban sometidas a las mismas condiciones ambientales que podían favorecer o frenar su crecimiento. La cantidad y calidad de nutrientes y condiciones ambientales en las que se llevó a cabo la germinación de los individuos parece no condicionar, al menos para este caso, su tasa de crecimiento en los primeros cuatro años. El único trabajo que se encontró que compara la sobrevivencia y crecimiento de individuos germinados en vivero e *in situ* (Douterlungne, *et al.*, 2008), se realizó para *Ochroma pyramidale* en la región de la selva Lacandona en Chiapas, en un área dominada por el helecho *Pteridium aquilinum* (Hipolepidáceae). En este trabajo se observó que en términos de sobrevivencia, la mejor estrategia fue el trasplante de los individuos de vivero, mientras que para el crecimiento lo fue la siembra directa. El contraste entre los resultados obtenidos para *Ochroma pyramidale* y los mostrados en este trabajo, son evidencia de que las respuestas en el desempeño entre especies al ser sembradas directamente puede variar. Los resultados obtenidos para *Ochroma pyramidale* (Douterlungne, *et al.*, 2008), confirman que el uso de la siembra directa, puede implicar una ventaja para las especies adecuadas, en comparación con aquellos que fueron trasplantados de vivero. La ventaja en el

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

desempeño de las especies sembradas directamente se puede expresar en un crecimiento o en una sobrevivencia mayor.

3. Desempeño de las especies por historia de vida y sitio de germinación.

Las expectativas para este punto eran que no habría un efecto de la interacción de historia de vida y sitio de germinación en las variables de desempeño: es decir, esperábamos que la relación entre historias de vida para sobrevivencia y crecimiento se mantendría independientemente del sitio de germinación. Dado que nuestras hipótesis por historias de vida y sitio de germinación no se cumplieron, las relaciones esperadas no se presentaron. Esto sugiere que el efecto del sitio de germinación es independiente a la historia de vida. Un estudio realizado en las mismas plantaciones evaluando el desempeño por historias de vida, únicamente para las reclutas de Junio del 2007 a Junio del 2009 (De la Peña-Domene, 2010) registro que las especies reclutadas con mayor sobrevivencia tuvieron mayor incremento en altura y mayor incremento en diámetro a la base. En este estudio las especies *Cecropia obtusifolia*, *Heliocarpus appendiculatus*, *Eupatorium galeotti* y *Trema micrantha*, todas pioneras, presentaron este desempeño. Otro grupo que se encontró en este trabajo (De la Peña-Domene, 2010) compuesto por no-pioneras, fue el de las especies con crecimiento y sobrevivencia bajos, entre las que destaca *Albizia purpusii*. Con base en los análisis realizados, no es posible hacer generalizaciones para el mejor sitio de germinación con base en la historia de vida de las especies. Sin embargo, considerando toda la información mencionada, es muy probable observar un desempeño mejor de las especies pioneras. Lo anterior no excluye el uso de no-pioneras en proyectos de restauración. De hecho, se ha sugerido la mezcla de especies pioneras y no-pioneras como la mejor alternativa para la siembra directa (Kageyama,

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

1992; Parrotta, 1995; Doust, *et al.*, 2008)). Algunas especies serán más sensibles que otras al estrés del trasplante de vivero, y esta sensibilidad no está vinculada con su historia de vida

Existen diversas alternativas para superar los obstáculos a los que tiene que enfrentarse una planta sembrada directamente antes de establecerse. Los obstáculos que imponen las del sitio como la falta de un microhábitat adecuado (Eriksson & Ehrlen, 1992; Doust, *et al.*, 2006), depredación (Holl, *et al.*, 2000), herbívoría y competencia inter-específica (Holl, 1998; Doust, *et al.*, 2008) en las semillas y plántulas, estos obstáculos pueden ser superados identificando las especies adecuadas (Doust, *et al.*, 2008), empleando un gran número de semillas, aplicando tratamientos pregerminativos adecuados y sembrando en condiciones y forma adecuada (Camargo, 2002; Botelho *et al.*, 1995). Todas estas alternativas muestran la necesidad de estudios que profundicen en el desempeño de las especies en la siembra directa (Engel y Parrotta, 2001). El presente trabajo pretende ofrecer una resolución simple a los requerimientos esenciales que una semilla debe poseer para ser candidata a la siembra directa, o propagación en vivero.

4. Grupos con base en características funcionales

Con base en el ACP, y en la literatura, se han inferido algunos criterios anatómico, fisiológicos, ecológico y de conocimiento de las especies para seleccionar a las candidatas para la siembra directa. El primer criterio anatómico es el tamaño de las semillas: se ha encontrado una correlación directa entre el tamaño de la semilla, la germinación y la sobrevivencia de la plántula (Camargo, *et al.* 2002). Las semillas grandes (>5 g) (Doust, *et al.* 2008), como *Caryocar villosum* (Cariocaraceae) y *Parkia multijuga* (Mimosaceae) sembradas en la selva alta de Brasil (Camargo, *et al.* 2002), son capaces de tolerar condiciones extremas por más tiempo que las pequeñas (Gray & Spies, 1997) y producen plántulas más vigorosas (Zhang & Maun, 1993). El segundo criterio es la existencia de un protocolo eficiente de tratamiento

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

pregerminativo adecuado, con la finalidad de que el tiempo de germinación disminuya. Con base en las observaciones de este trabajo, un tercer criterio es que las semillas y/o plántulas sean lo menos palatables posible (Doust, *et al.*2008). El cuarto criterio es optar por las especies con la mayor tasa de crecimiento posible (Doust, *et al.*2008), con la finalidad de tener mayores probabilidades de competir con el pasto o hierbas. Finalmente, el quinto criterio es que las especies que tengan una alta plasticidad en la sobrevivencia foliar y baja plasticidad en la producción de hojas (Howe & Martinez-Garza. 2009). Los criterios mencionados se pueden encontrar en forma muy variable dentro de las especies, por lo que se sugiere alcanzar el mayor equilibrio posible entre ellos.

Un trabajo desarrollada en clima tropical húmedos en sitios sucesionales tempranos en Australia (Doust, *et al*, 2008) generó una clasificación de cinco desempeños diferentes de las especies al ser sembradas directamente: Buen establecimiento y rápido crecimiento, Bajo establecimiento y rápido crecimiento, Buen establecimiento y lento crecimiento, Bajo establecimiento y lento crecimiento y finalmente las especies con un muy bajo establecimiento y muy lento crecimiento. Esta clasificación se llevó a cabo describiendo las características generales de las especies con desempeños comunes. Los objetivos de esta clasificación son diferentes a la que se desarrolló en este trabajo, pero se pueden encontrar coincidencias y contrastes enriquecedores. Para el primer grupo del trabajo mencionado (Doust, *et al*, 2008) las especies con buen crecimiento y rápido crecimiento, coincide con el primer grupo propuesto en este trabajo como las candidatas a siembra directa en sucesión temprana. La característica que define a las especies en el trabajo descrito son las semillas pequeñas. Sin embargo, en este trabajo el ACP no denotó que el tamaño de la semilla fuera el de mayor peso. Una segunda coincidencia fue entre el tercer grupo del trabajo descrito y el propuesto aquí como las candidatas a sucesión temprana bajo condiciones de sucesión tardía.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Hay coincidencia en las semillas grades definen a este grupo. En el estudio que se describe se recomienda su uso en la siembra directa en estados sucesionales avanzados. Estos dos trabajos complementan alternativas de caracteres útiles en la identificación de grupos, así como sus usos.

Existen diversas referencias en la literatura en donde se analiza la relación que existe entre los caracteres funcionales aquí estudiados y el desempeño de las especies. Dentro de los caracteres foliares, se ha observado que a mayor variación en el peso foliar específico se puede encontrar un mayor crecimiento y sobrevivencia (Martinez-Garza, et al., 2005), mientras que ha menor peso foliar específico, se espera una menor tasa de crecimiento (Poorter, et al., 2006). Para los caracteres de arquitectura, se ha observado que la tasa de crecimiento y la tasa de eficiencia de reclutamiento se correlaciona negativamente con la altura máxima de las especies (Kohyama, et al., 2003), y que la capacidad de reclutar se correlaciona negativamente con el área de la copa (Kohyama, et al., 2003). Por otro lado, para los caracteres funcionales se he observado que las semillas pequeñas corresponden a especies buenas colonizadoras y que las grandes corresponden a las buenas competidoras (Coomes & Grubb, 2003), el tamaño de la semilla se ha correlacionado negativamente la tasa de crecimiento de las especies (Swaine & Whitmore, 1988), y se ha reconocido como un buen predictor del desempeño de las especies bajo sitios sucesionales tempranos para los primeros cuatro años de vida del individuo (Poorter & Rose, 2005). Algunos de los caracteres funcionales empleados en este estudio han sido estudiando previamente, comprobando su correlación con el desempeño de las especies.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

CONCLUSIONES

Las pioneras y las no-pioneras presentaron un desempeño equivalente por lo que desde ese punto de vista es indiferente emplear especies pioneras o no pioneras. Se recomienda el uso de especies no-pioneras con el criterio de acelerar la sucesión ecológica y fomentar la complejidad estructural.

La metodología correcta al realizar la siembra directa, es determinante para la germinación. Los tratamientos pregerminativos, no fueron evaluados en este trabajo, pero pueden elevar considerablemente el porcentaje de germinación. Se tiene que considerar una profundidad en el suelo adecuada para incorporar la semilla, la cual prevenga la depredación pero no imposibilite la emergencia de la plántula.

La siembra directa es una técnica con muchas ventajas ecológicas, metodológicas y económicas en su implementación, en este trabajo se comprobó que implica una mayor sobrevivencia en comparación con los individuos trasplantados de vivero. Esto incrementa el valor de importancia de la siembra directa en proyectos de restauración, fomentando el trabajo para su conocimiento a mayor detalle. La historia de vida no es un criterio que determine el desempeño de las especies germinadas *in situ* o trasplantadas de vivero, por lo que, al menos bajo el criterio de desempeño se puede usar indistintamente pioneras y no-pioneras.

La distribución de los casos en el plano conformado por los dos ejes, resume los valores de los caracteres foliares, arquitectónicos y reproductivos de las especies. El eje uno se correlaciona fuerte y negativamente con el desempeño de las especies.

En el presente estudio se emplearon dos tipos de variables: las funcionales y las multivariadas (derivadas de las funcionales). Estas últimas nos fueron útiles para agrupar a las especies integrando toda la información que teníamos sobre ellas. Sin embargo, para

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

términos prácticos se eligieron al tamaño de la semilla, la profundidad y área de la copa como criterios para la elección de una especie. Estos caracteres tienen la cualidad de ser sencillos en su medición y con mayor capacidad de predicción del desempeño de las especies en distintas formas y etapas de introducción en proyectos de restauración.

El ACP, es una herramienta adecuada para distinguir grupos de especies con comportamientos comunes para el establecimiento. En el presente trabajo se han establecido las bases de los grupos funcionales; es necesario profundizar en las características funcionales que definen a cada uno, para incrementar su capacidad de predicción e inclusión. Se llegó a la conclusión de que las especies con grandes áreas de la copa ($\geq 23\text{m}^2$) y profundidad de copa alta ($\geq 169\text{cm}$) cuando tienen un diámetro en la base de 30 mm, son candidatas a la siembra directa en sucesión temprana. Las especies con semillas pesadas (0.33-0.91 g), alta área foliar Específica (2.12-55.33 cm^2) y flores grandes (0.6-150 mm), son candidatas al trasplante de vivero en condiciones de sucesión tardía.

En la literatura se sugiere que la introducción de árboles desde plántulas, propagados en vivero, así como la adición de semillas en el sitio puede ser la estrategia más exitosa en la restauración (Camargo *et al*, 2002; Engel y Parotta 2001; Bonilla-Moheno & Holl, 2009). Este trabajo contribuye a la identificación de las especies más adecuadas para cada técnica, en términos de alcanzar el óptimo ecológico, económico y logístico.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

BIBLIOGRAFÍA

- Aide, T. M. Cavelier, J. 1994. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology* 2:219-229.
- Aronson, J., Clewell, A. F., Blignaut, J. N., Milton, S. J. 2006. Ecological restoration: A new frontier for nature conservation and economics. *Journal for Nature Conservation* 14, 3-4: 135-139.
- Azcón-Bieto, J. Talón M. 2003. Fundamentos de fisiología vegetal. 3ra reimpresión. McGraw-Hill Interamericana.450 p.
- Bonilla-Moheno, M. Holl, K. D. 2009. Direct seeding to restore tropical mature-Forest Species in Areas of Slash-and-Buern Agriculture. *Restoration Ecology* doi: 10.1111/j.1526-100X.2009.00580.x
- Botelho, S. A., Davide, A. C., Prado N. S., Fonseca M. B. 1995. Implantação de Mata Ciliar. Centrais Elétricas de Minas Gerais/Universidade Federal de Lavras. Belo Horizonte, Brazil.
- Brokaw, N. V. L. 1987. Gap-phase regeneration of three pioneer tree species in a tropical forest. *Journal of Ecology* 75: 9-19.
- C.A.B. International, Common wealth Agricultural Bureaux, University of Oxford. Common wealth Forestry Bureau, Imperial Forestry Bureau, Oxford. 1992. *Forestry abstracts*. Vol 53:7-12.
- Cabin, R., Weller, S., Lorence, D., Cordell, S., Hadway, L. 2002. Effects of microsite, water, weeding, and direct seeding on the regeneration of native and alien species within a Hawaiian dry forest preserve. *Biological conservation* 104: 181-190.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Camargo, J. L., Kossman Ferraz I. D., Imakawa, M. A. 2002. Rehabilitación of degraded Areas of Central Amazonia Using Direct Sowing of forest tree Seeds. *Restoration Ecology* 10 (4): 636-644
- Carabias J. L., Dávila G. G., Samaniego, J. L. L. Eficiencia en los recursos: un desafío para el Siglo XXI. México. 2000. INE-SEMARNAP. 1999. *Gaceta Ecológica* 53.
- Carpenter, F. L., Nichols, J. D., Sandi, E. 2004. Early growth of native and exotic trees planted on degraded tropical pasture. *Forest Ecology and Management* 196:367-378.
- Carrasco Carballido, P. V. 2005. Análisis de la capacidad de germinación, establecimiento y propagación vegetativa en un grupo de especies de los Tuxtlas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología.
- Catena, A., Ramos, M., Trujillo, M. 2003. Análisis multivariado: un manual para investigadores. Madrid: Biblioteca Nueva.
- CATIE. 1995. Memorias. Avance en la producción de Semillas Forestales en América Latina. Simposio.
- Ceballos G. G. 1995. "Convenio de Cooperación e Intercambio: La Reserva de Biosfera Chamela Cuixmala, México y el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica".
- Ceccon, E., Huante, P., Campo, J. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatán, Mexico. *Forest Ecology and Management*, Vol. 182: 1-3, Pag. 387-402
- Chazdon, R.L. 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6:51-71.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Cole, R.J., Holl, K. D., Keene, C.L., Zahawi, R.A. 2010. Direct seeding of late-successional trees to restore tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*.

doi:10.1016/j.foreco.2010.06.038

Côme, D. 1970, Les Obstacles à la Germination, Ed. Masson, Paris.

Connell, J.H. Slatyer, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, 111, 1119–1144.

Coomes, D. A., Grubb, P. J. 2003. Colonization, tolerance, competition and seed-size variation within functional groups. *Trends in Ecology and Evolution* 18 (6), 283-291.

Daily, G., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P., Mooney, H., Postel, S., Schneider, S., Timan, D., Woodwell, G. 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in ecology* 2:1-16.

Davidson, R., Gagnon, D., Mauffette, Y., Hernandez, H. 1998. Early survival, growth and foliar nutrients in native Ecuadorian trees planted on degraded volcanic soil. *Forest Ecology and Management* 105:1-19.

De la Peña-Domene, M. 2010/ Reclutamiento de plántulas en plantaciones jóvenes de especies arbóreas con diferente síndrome de dispersión. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Deng, F., Zang, R., Chen, B. 2008. Identification of functional groups in an old-growth tropical montane rain forest on Hainan Island, China. *Forest Ecology and Management* 255 (5-6), 1820-1830.

De Souza Maia, M., Maia, F.C. Pérez, M. 2006. Revisión. Banco de semillas en el suelo. *Agriscientia*.18: 33-44.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Díaz, S., Cabido, M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal in Vegetation Science* 8: 463-474.
- Dirzo, R., González Soriano, E., Vogt, C.R. 1997. La región de Los Tuxtlas: introducción general. In E. González-Soriano, R. Dirzo y R.C. Vogt (Eds.). *Historia Natural de Los Tuxtlas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Inst. de Biología, México, D.F.
- Doust, S., Erskine, P., Lamb, D. 2006. Direct seeding rainforest species: Microsites effects on the early establishment and growth of rainforest tree seedings on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecology and Management* 234: 333-343.
- Doust, S. J. Erskine, P. D., Lamb, D. 2008. Restoring rainforest species by direct seeding: Tree seedling establishment and growth performance on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecology and Management* 256:1178-1188
- Douterlungne, N., Levy-Tacher, S., Golicher, D. J., RománDañobeytia, F. 2008. Applying Indigenous Knowledge to the Restoration of Degraded Tropical Rain Forest Clearings Dominated by Bracken Fern. *Restoration Ecology*.18(3):322-329.
- Engel, V., Parrotta, J. 2001. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. *Forest ecology and management*.152: 169-181.
- Eriksson, O., Ehrlen, J., 1992. Seed and microsite limitation of recruitment in plant populations. *Oecologia Heidelberg* 91, 360-364.
- Escalante-Semerena, R., Catalán, H. 2007. Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos. *Economía informa*. Enero-febrero350:7-25.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forest: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology* 11(3):119-124.
- Francis, J. K. 1993. *Alchornea latifolia* Sw. Achiotillo. SO-ITF-SM-60. New Orleans, LA.
- Garwood, N.C. 1989. Tropical seed banks: a review. In: Leek, M.A., Parker, V.T., Simpsons, R.L. (Eds.), *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, San Diego, CA, pp.149-208.
- Gitay, H. y Noble, I.R. 1997. What are types and how should we seek them?. *Plant Functional Types: Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change* (eds. T.M. Smith, H.H. Shugart & F.I. Woodward), pp.3-19. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- González, J. E., R. F. Fisher. 1994. Growth of Native Forest Species Planted on Abandoned Pasture Land in Costa-Rica. *Forest Ecology and Management* 70:159-167.
- Gray, A. N., y Spies, T. A. 1997. Microsite controls on tree seedlings establishment in conifer canopy gaps. *Ecology* 78: 2458-2473.
- Haggar, J. P., C. B. Briscoe, R. P. Butterfield. 1998. Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. *Forest Ecology and Management* 106:195-203.
- Harper, J.L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press, London.
- Hobbs R.J. y Harris J.A. 2001. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration ecology* 9:239-246.
- Holl, K. D. 1998. Effects of above and below ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* (Camb.) seedling growth in abandoned tropical pasture. *Forest Ecology and Management* 99: 203-214.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Holl, K. D. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: Seed rain, seed germination, microclimate and soil. *Biotropica* 31: 229-242.
- Holl, K. D., Loik, M. E., Lin, E. H. V. Samuels I. A. 2000. Tropical mountain forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology* 8:339-349.
- Holl, K.D., T.M. Aide. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology Manage.* doi:10.1016/j.foreco.2010.07.004.
- Hooper, E., Condit, R., Legendre, P. 2002. Responses of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned pastures in Panama. *Ecological Applications* 12:1626-1641.
- Howe, H. y Martinez-Garza. 2009. Relación entre la plasticidad en la sobrevivencia foliar y el crecimiento y la sobrevivencia de árboles sucesionales tardíos del bosque tropical perennifolios. *Manuscrito para el Boletín de la Sociedad Botánica de México.*
- Ibarra-Manríquez, G., Oyama, K. 1992. Ecological correlates of reproductive traits of Mexican rain forest trees. *American Journal of Botany* 79:383-394.
- Kageyama, P. Y., Reis, A., Carpanezzi A. A. 1992. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. Pages 1–16 in *Anais do Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brazil.
- Kelly C., Bowler, M. G. 2002. Coexistence and relative abundance in forest trees. *NATURE* 417: 437-440

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Kitajima, K., & Fenner, M. 2000, *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, M. Fenner (Ed.), CABI Publishing, UK, 331.
- Kitajima, K., J. A. Myers. 2008. *Seedling Ecology and Evolution*, M. A. Leck, T. Parker, R.L. Simpson (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 172.
- Kohyama, T., Suzuki, E., Partomihardjo, T., Yamada, T., Kubo, T. 2003. Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest. *Journal of Ecology* 91: 797-806.
- Kobe, R. K. 1999. Light gradient partitioning among tropical tree species through differential seedling mortality and growth. *Ecology* 80:187-201.
- Laska, G. 2001. The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework. *Plant Ecology* 157(1): 77-99.
- Laurance W.F. Oliveira A.A., Laurance S.G., Condit R., Nascimento H.E.M., Sanchez-Thorin A.C., Lovejoy T.E., Andrade E., D'Angelo S., Riberio J.E., Dick C.W. 2004. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonia forest. *Nature* 428: 471-475.
- Lavorel, S., Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plants traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16: 545-556.
- Little, E., Marrero, J. 2001. *Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes*. La Editorial, UPR. 764 pag.
- Makana, J.R., & Thomas, S.C. 2005, *Biotropica* 37: 227.
- Martínez-Garza, C., Howe, H. 2003. Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. *Journal of Applied Ecology* 40: 423-429.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Martínez-Garza, C., Peña. V., Ricker. M., Campos. A., Howe., H. 2005. Restoring tropical biodiversity: Leaf traits predict growth and survival of late-sucessional trees in early-successional environments. *Forest Ecology and Management*. 217: 365-379
- Martínez-Ramos, M., García-Orth, X. 2007. Sucesión Ecológica y Restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana* 80 (suplemento):69-84.
- Moreno, F., Plaza, G. A., Magnitskiy, S. V. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana* 24: 2.
- Nepstad, Uhl, C. Serrão E. A. S. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. *Ambio* 20:240-255
- Orozco-Segovia, A. Sánchez-Coronado, M. E. 2009. Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology. *Functional Diversity of Plant Reproduction* 175-216.
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S. 2011. Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (8): 3934-3945.
- Parrotta, J. A. 1992. The Role of Plantation Forests in Rehabilitating Degraded Tropical Ecosystems. *Agric. Ecosystem Environmental*. 41: 115- 133.
- Parrota, J. A. y Knowles, O. H. 1999. Restoraion of tropical moist forest on bauxite-mine lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology* 7:103-116.
- Poorter, H., Remkes C. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* 83 (4): 553-559.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Popma, J., Bongers F. 1988. The effect of canopy gaps on growth and morphology of seedlings of rain forest species. *Oecologia* 75:625-632.
- Popma J., Bongers F. Werger M.J.A. 1992. Gap-dependence and leaf characteristics of trees in a tropical lowland rain forest in México. *Oikos* 63:207-214.
- Poorter, L., Rose, S. 2005. Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest tree species. *Oecologia* 142:378-387.
- Poorter, L., Bongers, L., Bongers, F. 2006. Architecture of 54 Moist-Forest tree species: Traits, trade-off, and functional groups. *Ecology* 87(5): 1289-1301.
- Prach, K., Hobbs, R.J. 2008. Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Restoration Ecology* 16(3):363-366.
- Purata S. 1986. Floristical and structural changes during old-field succession in the Mexican tropics in relation to site history and species availability. *Journal of Tropical Ecology* 2:257-276.
- Reich P.B., Uhl C., Walters M.B., Ellsworth D.S. 1991. Leaf lifespan as a determinant of leaf structure and function among 23 Amazonian tree species. *Oecologia* 86:16-24.
- Ricker, M., Siebe, C., Sánchez B. S., Shimada, K., Larson, B. C., Martínez-Ramos, Montagnini, F., 2000. Optimising seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in a Mexican rainforest. *Forest Ecology and Management*, Vol. 139 (1-3): 63-77.
- Rzedowsky, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- SAGARPA, 2003. Programa de Estímulos a la Productividad Ganadera.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- SAGARPA, Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México. 2004
- Salaheldin Goda Hussein, Hussein M. 1999. Effect of Regeneration Methods and weeding Treatments on Establishment of Acacia Senegal (L.) Willd. On Cray Soils. U de K.J. *Agric. Sci* 7(2).
- Schinelli, T. Martínez, A., 2010. Viverización de especies forestales nativas de nuestra región. *Presencia* 55.
- SER. 2004. The SER primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration, Science and Policy Working Group, www.ser.org.
- Soto, M. 2004. El clima. En: Los Tuxtlas. El Paisaje de la sierra. (Eds) Guevara, S., Laborde J. Sánchez-Ríos, G. Unión Europea, Instituto de Ecología, A.C. Xalapa Veracruz. México.
- Spring. 1997. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by human societies by natural Ecosystems. *Issues in Ecology*. 2: 1-16.
- Swaine, M. D., Whitmore T. C.. 1988. On the Definition of Ecological Species Groups in Tropical Rain Forests. *Vegetation* 75:81-86.
- Taiz, L., Zeiger, E. Fisiología vegetal. Vol. 2. Publicacions de la Universitat Jaume I, D. L. 2006.
- Thomas, S. C., Bazzaz, F. A. 1999. Asymptotic height as a predictor of photosynthetic characteristic in Malasyan rain forest trees. *Ecology* 80: 1607-1622.
- Toledo, V.M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo* 81:17-30.
- Uhl, C., R. Buschbecher y E.A. Serrão. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia: patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76: 663.
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Vázquez-Yáñez, C. 1974. Estudios sobre ecofisiología de la germinación en una zona cálida-húmeda de México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias.
- Vázquez-Yáñez, C., Orozco-Segovia, A., Rincón, E., Sánchez-Corona, M. E., Huante, P., Toledo, J. R. Barradas, V. L. 1990. *Ecology* 71: 1952.
- Vázquez-Yáñez, C., Orozco-Segovia, A. 1992. *Tree Physiology*. 11: 391.
- Vázquez-Yáñez, C., A. I. M. Batís, A., M. I. S. Alcocer, M. D. Gual, y C. Sánchez. 1999. Árboles y Arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Proyecto J-084-CONABIO. México, D.F.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F. Marañón, T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Pag. 191-227. Ministerio del medio ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.
- Violle, C., M. L. Navas, D. Vile, E. Kazakou, C. Fortunel, I. Hummel, and E. Garnier. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116:882-892.
- Walker, B.H. 1992. Biodiversity and ecology redundancy. *Conservation Ecology* 6: 18-23.
- Wang, C.B. y Smith, B.T. 2002. Closing the seed dispersal loop. *Trends in Ecology y Evolution*. 17(8): 379-384.
- Weiher, E., Werf, A. van der., Thompson, K., Roderick, M., Garnier, E., Eriksson, O. 1999. Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science* 10:609-620.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Westoby, M. 1998. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and soil* 199: 213-227.

Whitmore, T.C. 1978. Gaps in the forest canopy. En: Tomlinson P.B. y Zimmerman M.H. Eds. *Tropical trees as living systems*, pp. 639-655, Cambridge University Press, Nueva York.

Whitmore, T.C. 1989. Canopy gaps and two major groups of forest trees. *Ecology* 70(3): 536-38.

www.conafor.org.mx

www.try.db.org

Zamora, C. O. y F. Montagnini. 2007. Seed rain and seed dispersal agents in pure and mixed plantations of native trees and abandoned pastures at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Restoration Ecology* 15: 453-461.

Zhang, J. y Maun M. A. 1993. Components of seed mass and their relationship to seedling size in *Calamovil falongifolia*. *Canadian Journal of Botany* 71: 551-557.

Apéndice 1

Condiciones de germinación, causas de no germinación en el presente trabajo, tratamientos pregerminativos, recomendaciones respecto a la siembra directa para siete especies

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Alchornea latifolia

No-pionera

Condiciones para la germinación

Prosperan en potreros, acahuales, claros del bosque (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)

Demandante de luz (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)

Causas de no germinación en el presente trabajo

- Las semillas se enterraron 2cm demasiado profundo para medir 6 mm, lo cual pudo ocasionar q el embrión no tuviera el suficiente vigor para alcanzar la superficie, o bien al ser tan pequeña, no podía percibir la luz como estímulo para germinar.
- Se ha registrado un 79% de germinación durante el primer mes de sembradas estas semillas, sin embargo no se especifica si se aplicó algún tratamiento pregerminativo (Francis, 1993). Por otro lado también se ha observado que esta especie forma bancos de semillas, ya que se luego de un disturbio emergen gran número de plántulas (Francis, 1993), de manera que puede afirmarse que las semillas pueden ser almacenadas por largo tiempo conservando su viabilidad, y el estímulo de la luz, o bien el incremento en la temperatura consecuencia de un disturbio es el factor que detona la germinación.

Tratamientos pregerminativos

Con base en los aspectos ya discutidos, y que la semilla no tiene una cubierta dura (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999) que obstaculice la hidratación, él único tratamiento que se recomienda es secar adecuadamente la semilla y almacenada en un lugar oscuro después de ser colectada del árbol, con la finalidad de interrumpir la actividad metabólica. Posteriormente, para detonar la activación del metabolismo, se recomienda la exposición al sol por un día, de ese modo se cubrirá la demanda de luz y temperatura de la semilla. Sembrar a no más de 1 cm de profundidad.

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- Tiene un porcentaje de sobrevivencia de 79% (Francis, 1993), satisfactorio para la siembra directa
- Bajo condiciones óptimas, alcanza el máximo de su germinación en un periodo de un mes (Francis, 1993), lo cual implica un corto tiempo de exposición a la depredación.
- Presenta una velocidad aceptable de crecimiento: 96±5cm con una supervivencia de 93% después de 13 meses (Francis, 1993).

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- El tratamiento pregerminativo propuesta es sencillo y barato.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Bursera simaruba

No-pionera

Condiciones para la germinación

Prospera en parcelas de cultivos, orillas de caminos.

Están presentes en bosque tropical caducifolio, subcaducifolio, perennifolio y subperennifolio (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)

Demandante de luz (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999; Carrasco, 2005)

Causas de no germinación en el presente trabajo

- Desde que las semillas se cortaron del árbol estuvieron almacenadas en bolsas de papel oscuro, para inmediatamente sembrarse, por lo tanto pudo haber una ausencia de luz.
- No se empleó ningún tratamiento para la remoción de inhibidores, los cuales naturalmente son removidos como consecuencia de su distribución ornitoquiropterócora, también por roedores, monos, ardillas y jabalíes (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)
- En el campo se observó restos de la testa en los sitios donde se sembró, además de presencia de larvas de lepidópteros, por lo que parece muy probable que las semillas germinaron, pero fueron consumidas.

Tratamientos pregerminativos

No se encontró ningún tratamiento pregerminativo para la especie, al contrario en algunos trabajos se afirma que no es necesario (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), sin embargo, considerando la presencia de inhibidores, puede considerarse la inmersión en agua durante una hora para fomentar la eliminación de estos inhibidores químicos (Schinelli, T. & Martínez, A., 2010)

Por otro lado, Ceccon, *et al.* (2003) encontraron que la fertilización con fosforo o la mezcla de nitrógeno y fosforo incrementa la regeneración de la especie.

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- A pesar de presentar una testa rígida, tiene un alto porcentaje de germinación: 75%, y este máximo de germinación es alcanzado dentro de los primeros 22 días posteriores a la germinación, es decir tiene una velocidad de germinación intermedia (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)
- Tiene un porcentaje de sobrevivencia que puede variar entre el 48% y el 84%, dependiendo de las condiciones ambientales.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

- Al estar presente en gran variedad de ambientes, tiene un amplio rango de tolerancia a condiciones ambientales.
- Es tolerante a la sombra, heladas, sequía y suelos someros, lo que incrementa las posibilidades de sobrevivencia de la plántula.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Cecropia obtusifolia

Pionera

Condiciones para la germinación

Muy demandante de luz (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999: C.A.B. International, 1992) se considera a la luz indispensable y como detonante de la germinación (Vazquez-Yanez, 1974).

Temperaturas entre 16 y 36°C constante o fluctuantes (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), siendo 26°C la más adecuada (Vazquez-Yanez, 1974)

Causas de no germinación en el presente trabajo

- Las semillas miden entre 1 y 3 mm de ancho, por lo que el hecho de haberlas enterrado entre 2 y 3 cm, fue demasiado volumen sobre ellas, lo cual tiene un doble efecto: impide el paso de la luz, y por otro lado, la profundidad de la tierra sobrepasa el vigor de las plántulas que posiblemente emergieron.
- Las semillas fueron colectadas directamente de un árbol, secadas y almacenadas en bolsas de papel, por lo que prácticamente la exposición a la luz del sol fue nula, y de ese modo nunca se activó su metabolismo. Sin embargo, esta causa no explica completamente la baja germinación, ya que se ha observado (Vazquez-Yanez, 1974) presenta una variación muy alta, tal que permite que semillas germinen incluso en la oscuridad.

Tratamientos pregerminativos

Las semillas cuentan con un sistema de fitocromo sensible a cambios de la calidad e intensidad de luz (proporción rojo y rojo lejano) e intensidad de luz, (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), por lo que el único tratamiento pregerminativo que se recomienda es el de la exposición consecutiva y prolongada a la luz diurna.

Con la facilidad de favorecer la emergencia de la plántula a la superficie, se recomienda cubrir la semilla con la mínima cantidad de tierra posible, a penas la necesaria para impedir la depredación. Se recomienda además germinar las semillas inmediatamente después de colectadas, ya que se ha observado (Vazquez-Yanez, 1974) que la máxima germinación ocurre en este momento.

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- Tolera las fluctuaciones de temperatura presentes en un pastizal a restaurar.
- Al estar presente en gran variedad de ecosistemas (bosque tropical caducifolio, perennifolio, subcaducifolio, y subperennifolio), tiene un amplio rango de tolerancia a

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

condiciones ambientales.

- El tratamiento pregerminativo es muy barato y sencillo de llevarse a cabo
- La especie es una amplia productora de semillas: 14, 000 a 14, 000, 000 por árbol al año
- Tiene una viabilidad del 82% (Carrasco, 2005)
- Sin tratamiento pregerminativo presenta una germinación del 52% (Carrasco, 2005), sin embargo en otros se reporta un 90% (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)
- Tiene una sobrevivencia del 63% a los dos meses de germinación (Carrasco, 2005)
- La especie se caracteriza por su rápido crecimiento: 3m por año (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999)
- Tiene una velocidad de germinación muy alta: entre 4 y 14 días (Vazquez-Yanez, 1974), por lo que con eso se disminuye la exposición a la depredación de las semillas.
- A pesar de que las semillas tienen una edad promedio en el suelo de 7 días (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), puede ser compensada este corto tiempo por la gran cantidad de semillas y el alto porcentaje de semillas.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Cedrela odorata

Pionera

Condiciones para la germinación

Demandante de luz (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).

Temperaturas entre 30 y 35°C (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).

Causas de no germinación en el presente trabajo

- Las semillas fueron colectadas directamente de un árbol, secadas y almacenadas en bolsas de papel, por lo que prácticamente la exposición a la luz del sol fue nula, y de ese modo nunca se activó su metabolismo.

Tratamientos pregerminativos

Se caracterizan todas por poseer una testa sumamente delgada (Ceballos, 1995), por lo que no requiere tratamientos para facilitar la hidratación.

Se ha encontrado (Ricker, *et al.*, 2000) que esta especie crece adecuadamente en lugares muy abiertos debido a la demandas de luz, por lo que un tratamiento pregerminativo de exposición a la luz podría incrementar sus porcentajes de germinación.

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- Las semillas germinan entre 10 y 30 días (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999) de realizada la siembra, por lo que el tiempo de exposición a la depredación es muy bajo. No presenta latencia (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).
- Es tolerante a suelos compactos, como los presentes en un sitio con antecedentes de ganadería.
- Al estar presente en gran variedad de ecosistemas (bosque tropical caducifolio, perennifolio, subcaducifolio, y subperennifolio), tiene un amplio rango de tolerancia a condiciones ambientales.
- Presentan un alto porcentaje de germinación: entre 50 y 85% llegando a alcanzar un 93%

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Eupatorium galeotti

Pionera

Condiciones para la germinación

No germina en la obscuridad o en rojo lejano (C.A.B. International, 1992)

Causas de no germinación en el presente trabajo

- Las semillas fueron colectadas directamente de un árbol, secadas y almacenadas en bolsas de papel, por lo que prácticamente la exposición a la luz del sol fue nula, y de ese modo nunca se activó su metabolismo.
- De las 376 semillas que se tenían disponibles para la segunda siembra, ni una sola semilla era viable, según la prueba de flotabilidad. Por lo que probablemente las semillas de la primera siembra tenían un porcentaje muy bajo de viabilidad.
- Las semillas colectadas miden de ancho menos de un mm, y de largo 3 mm, por lo que haber sido enterradas 2 cm supera el vigor que la plántula emergente podría presentar.

Tratamientos pregerminativos

Exponer a la luz del sol previo a la germinación.

No sembrarlas semillas a más de medio cm de la superficie, en otras palabras, colocar la capa de tierra suficiente para evitar que las semillas sean llevadas por el viento.

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- Para el presente estudio se han encontrado un gran número de reclutas
- Se ha observado que tiene un rápido crecimiento

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Heliocarpus appendiculatus

Pionera

Condiciones para la germinación

Germina en suelos con vegetación secundaria (Vazquez-Yanez,1974)

Gran demanda de luz (Vazquez-Yanez,1974)

Causas de no germinación en el presente trabajo

- Las semillas fueron colectadas directamente de un árbol, secadas y almacenadas en bolsas de papel, por lo que prácticamente la exposición a la luz del sol fue nula, y de ese modo nunca se activó su metabolismo.
- Las semillas pueden medir 5mm (CONABIO, 2011), por lo que haber sido enterradas 2 cm supera el vigor que la plántula emergente podría presentar.

Tratamientos pregerminativos

Esta especie es de germinación termorregulada, es decir que presentan una diferencia de porcentaje de germinación en luz y oscuridad; además, germinan mejor a temperaturas constantes altas o a termo periodos de 10°C a 26° constantes: pero en semillas almacenadas durante 6 meses o más, ambas características tienden a desaparecer completamente(Vazquez-Yanez,1974), lo cual podría indicar que el único tratamiento pregerminativo sería el almacenaje por 6 meses para desaparecer los requerimientos de temperatura o luz.

Sin embargo, tratamientos pregerminativos se han experimentado para la especie con los siguientes resultados (Vazquez-Yanez,1974), considerando incubación a 26°C más luz y temperatura óptima (26-30°):

	% de germinación
Agua a 55°C (5min)	82
Agua a 75°C (5 min)	80
Ebullición (1min)	65
Ebullición (5 min)	6

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- Presenta una emergencia del 55% sin tratamiento pregerminativo (Carrasco, 2005), el cual puede ser elevado.
- Los posibles tratamientos pregerminativos son baratos y sencillos de aplicar.
- Luego de dos meses, presenta una sobrevivencia del 81% (Carrasco, 2005).
- Se ha observado que es una especie que se adapta fácilmente a condiciones de sucesión

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

temprana en potreros a restaurar.

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

Trema micrantha

Pionera

Condiciones para la germinación

Germina en suelos con vegetación primaria (Vazquez-Yanez, 1974)

La temperatura ideal es a 26°C (Vazquez-Yanez, 1974)

Demandante de luz (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).

Causas de no germinación en el presente trabajo

La semilla de la especie mide 1.6 mm en promedio (Little & Marrero, 2005; (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999) por lo que haber sido enterradas 2 cm supera el vigor que la plántula emergente podría presentar.

Presencia de inhibidores químicos a la germinación (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).

Tratamientos pregerminativos

Remojo en agua a temperatura ambiente por 24 a 48 hrs. (CATIE, 1995: Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).

Sumergir en ácido giberélico en cultivo de agar a 500 ppm.

Refrigerar a 2 °C por 3 a 4 meses.

Se recomienda que la siembra se realice inmediatamente después de la colecta, ya que es en ese momento en donde se han registrado los porcentajes más altos de germinación (Vazquez-Yanez, 1974), preferentemente dentro de los siguientes 20 días (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).

Recomendaciones respecto a la siembra directa

Esta especie se recomienda para la siembra directa con base en los siguientes criterios:

- Hay registros de su desarrollo natural en potreros y sitios perturbados (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).
- Al estar presente en gran variedad de ecosistemas (bosque tropical caducifolio, perennifolio, subcaducifolio, y subperennifolio), tiene un amplio rango de tolerancia a condiciones ambientales (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).
- Se adapta fácilmente a sitios perturbados (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).
- Especie de crecimiento extremadamente rápido: 7 mt anuales (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).
- Presentan un porcentaje de germinación muy alto: 70% (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999).
- Cabe considerar que únicamente se produce una semilla por fruto, y además se establece una competencia con las aves por su cosecha (Vazquez-Yanez, *et al.*, 1999), por lo que esto

ÉXITO DE ÁRBOLES PROVENIENTES DE RECLUTAMIENTO NATURAL Y PROPAGADOS
EN VIVERO EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

podría implicar un esfuerzo en las labores de colecta.