

Macropropagation of *Erythrina americana* in a greenhouse: a potential tool for seasonally dry tropical forest restoration

Macropropagación de *Erythrina americana* en invernadero: una herramienta potencial para la restauración de bosques tropicales estacionalmente secos

Tara C. Fehling-Fraser¹; Eliane Ceccon^{2*}.

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, col. Chamilpa. C. P. 62209. Cuernavaca, Morelos. MÉXICO

²Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad s/n, Circuito 2, col. Chamilpa. C. P. 62210. Cuernavaca, Morelos. MÉXICO
Correo-e: ececon61@gmail.com, tel.: (777) 317 5299 ext. 302 (*Autora para correspondencia).

Abstract

Deforestation in Mexico has made restoration an urgent requirement. *Erythrina americana* is a multipurpose tree, useful for seasonally dry tropical forest restoration; however, it is poorly studied. Macropropagation of this species is advantageous when compared with sexual reproduction, since it requires scarification to germinate. In this study, the effects of the exogenous application of the phytohormone (indole-3-butyric acid) in the cuttings and/or a slow-release phosphate fertilizer (SRPF) in the substrate were evaluated on the growth and survival of *E. americana* cuttings in a greenhouse. We used a randomized experimental design of four blocks with 10 cuttings per treatment. We harvested 10 cuttings per treatment after 36, 66, 96 and 126 days of growth, and evaluated survival, total dry biomass production (TDB), relative growth rate (RGR), and resource allocation (RA). Cutting survival was high, averaging 95 %. Treatments did not affect total TDB, RGR or RA. However, the application of SRPF in the substrate showed significantly higher ($P < 0.05$) dry root biomass values. Growth periods also affect the RGR and RA. Macropropagation of *E. americana* was successful and non-labor-intensive, making this technique a feasible alternative for restoration projects mainly in low-resource rural communities.

Keywords: Cuttings, indole-3-butyric acid, slow-release phosphate fertilizer, relative growth rate, resource allocation.

Resumen

La deforestación en México ha hecho que la restauración sea una necesidad urgente. *Erythrina americana* es un árbol multipropósito, útil para la restauración de bosques tropicales estacionalmente secos (BTES), pero es poco estudiado. La macropropagación de esta especie es ventajosa comparada con la reproducción sexual que requiere de semillas escarificadas para germinar. En este estudio se evaluaron los efectos de la aplicación exógena de la fitohormona ácido indol-3-butírico en esquejes y del fertilizante fosfatado de liberación lenta (FLL) en el sustrato, sobre el crecimiento de *E. americana* en invernadero. El experimento tuvo un diseño de cuatro bloques al azar. Diez esquejes se cosecharon por tratamiento después de 36, 66, 96 y 126 días de crecimiento. La sobrevivencia, biomasa seca total (BST), tasa de crecimiento relativo (TCR) y la asignación de recursos (AR) se evaluaron. La sobrevivencia promedio de los esquejes fue alta (95 %). Los tratamientos no afectaron la BST, TCR y AR; sin embargo, la aplicación de FLL en el sustrato mostró valores significativamente ($P < 0.05$) mayores de biomasa seca radical. Los periodos de crecimiento afectaron la TCR y AR. La macropropagación de *E. americana* fue exitosa y no requirió cuidados intensivos, por lo que esta técnica puede ser una alternativa viable para proyectos de restauración, principalmente en comunidades con bajos recursos.

Palabras clave: Esquejes, ácido indol-3-butírico, fertilizante fosfatado de liberación lenta, tasa de crecimiento relativo, asignación de recursos.

Introduction

One of the most challenging problems facing the Mexican environment is deforestation. In 2010, the primary forest cover percentage in Mexico was only 18 % (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2010). Unfortunately, loss of forest cover is often neglected as it is commonly regarded as a sign of progress, which has led to the emergence of large portions of extremely degraded lands and unproductive farms (Ceccon, 2008).

Rapidly restoring these degraded areas or landscapes is not an easy task for researchers and lawmakers due to current ecological and socio-economic limitations. It is therefore urgent to develop strategies for the restoration of ecosystem services mainly based on the needs of local peasants (Aronson, Milton, & Blignaut, 2007; Ceccon, 2013). The seasonally dry tropical forest (SDTF) is one of the most prevalent biomes in the tropics where degradation is most problematic due to the SDTF's easy conversion to exploitation (Ceccon, Huante, & Rincon, 2006), with extensive areas of these forests having been severely disturbed by frequent forest fires, cattle raising and wood extraction (Sánchez-Azofeifa & Portillo-Quintero, 2011). In Mexico, Trejo and Dirzo (2000) estimated that only 27 % of the original SDTF cover remained as intact forest, representing about 3.7 % of the total area of the country. However, most restoration studies have focused on the propagation of temperate or moist tropical species, while little is known about Mexican SDTF restoration (Bonfil & Trejo, 2010; Castellanos-Castro & Bonfil, 2013; Cervantes, Arriaga, Meave, & Carabias, 1998; Cervantes, López, Salas, & Hernández, 2001).

Selection of species employed in restoration or reforestation projects depends mainly on the available scientific information that is useful in facilitating their propagation and management (Cervantes et al., 2001). Furthermore, some useful species present difficulties to germinate because they exhibit dormancy and so they require seed scarification; which may be a problem for their reproduction in small places that lack appropriate technology (Bewley & Black, 1994; Bonfil-Sanders, Cajero-Lázaro, & Evans, 2008). Although macropropagation is one of the main methods currently used in the multiplication of species in modern fruit orchards, this technique has been implemented with only a few native species for restoration purposes (Souza & Araújo, 1999; Castellanos-Castro & Bonfil, 2013). Given the commercial success of vegetative propagation, it is important to evaluate this technique with native species, focusing on restoration goals. This in turn demands a deep understanding of the growth eco-physiology of the species centered, in particular, on the feasibility of its cultivation under nursery conditions (Bonfil & Trejo, 2010; Cervantes et al., 1998).

Introducción

La deforestación es uno de los problemas más difíciles que enfrenta el medio ambiente mexicano. En el año 2010, la cubierta forestal primaria en México representó sólo 18 % (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas [FAO], 2010). Desafortunadamente, la pérdida de cobertura forestal a menudo se ignora, ya que comúnmente se considera un signo de progreso, que ha llevado a la aparición de grandes porciones de tierras muy degradadas e improductivas (Ceccon, 2008).

La restauración rápida de estas áreas degradadas o paisajes no es una tarea fácil para los investigadores y legisladores, debido a las limitaciones ecológicas y socioeconómicas actuales. Por tanto, es urgente desarrollar estrategias para la restauración de servicios ecosistémicos basados, principalmente, en las necesidades de los pobladores locales (Aronson, Milton, & Blignaut, 2007; Ceccon, 2013). El bosque tropical estacionalmente seco (BTES) es uno de los biomas prevalentes en los trópicos, donde la degradación es más problemática debido a la explotación (Ceccon, Huante, & Rincon, 2006) de extensas áreas de estos bosques que son severamente perturbadas por frecuentes incendios forestales, ganadería y extracción de madera (Sánchez-Azofeifa & Portillo-Quintero, 2011). En México, Trejo y Dirzo (2000) estimaron que sólo 27 % de la cobertura original del BTES se mantuvo como bosque intacto, lo que representa aproximadamente 3.7 % de la superficie total del país. Sin embargo, la mayoría de los estudios de restauración se han enfocado en la propagación de especies templadas o tropical húmedas, mientras que se sabe poco acerca de la restauración del BTES mexicano (Bonfil & Trejo, 2010; Castellanos-Castro & Bonfil, 2013; Cervantes, Arriaga, Meave, & Carabias, 1998; Cervantes, López, Salas, & Hernández, 2001).

La selección de especies empleadas en proyectos de restauración o reforestación depende principalmente de que la información científica disponible sea útil para facilitar su propagación y manejo (Cervantes et al., 2001). Además, algunas especies útiles presentan dificultades para germinar debido a que presentan dormancia, por lo que requieren la estratificación de semillas; lo que puede resultar un problema para su reproducción en lugares pequeños que carecen de tecnología adecuada (Bewley & Black, 1994; Bonfil-Sanders, Cajero-Lázaro, & Evans, 2008). Aunque la macropropagación es uno de los principales métodos utilizados actualmente en la multiplicación de especies en huertos modernos de producción de frutas, la técnica se ha usado con sólo unas pocas especies nativas con fines de restauración (Castellanos-Castro & Bonfil, 2013; Souza & Araújo, 1999). Dado el éxito comercial de la propagación vegetativa, es importante evaluar esta técnica con especies nativas, centrándose

Erythrina americana Miller, belonging to the Leguminosae family, is a native species from the Mexican seasonally dry tropical forest (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2009). This species is well known and it has a cultural importance for local peasants because of its multipurpose benefits: it is used in living fences, it provides shade and organic matter to crops and it is widely used as an ornamental tree (Flores, 2002). Its leaves have a high nutritional value and the tree is resistant to repeated pruning (Flores, 2002). *Erythrina americana* flowers are highly valued as an ingredient for various traditional dishes (García-Mateos, Soto-Hernández, & Vibrans, 2001) and the seeds and wood are used in indigenous handcrafts (Niembro, 1992). In traditional Mexican medicine, different parts of the plant are used for their attributable antidotal, narcotic, laxative, diuretic, expectorant, anti-inflammatory, sedative, anti-asthmatic, anti-malarial and anti-dermatitis properties (Argueta, Cano, & Rodarte 1994; García-Mateos et al., 2001). Another advantage of *E. americana* is that it is a nitrogen-fixing species establishing symbiosis with rhizobiums of the “caupi” group, which gives it a high potential for improving soil fertility and accelerates the regeneration of other species (García-Mateos et al., 2001). In fact, Suárez and Equihua (2009) mentioned the great potential of *E. americana* for the restoration of degraded soils. This species is also one of the species recommended for restoration by the governmental Program for Sustainable Use of Natural Resources of Morelos State in Mexico (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [INIFAP-SAGARPA], 2014).

Macropropagation of *E. americana* is especially advantageous over sexual reproduction because its seeds exhibit dormancy due to the presence of a hard and impermeable coat, which requires physical or chemical scarification (Argueta et al., 1994), hindering its management in nurseries. In macropropagation, auxins are often considered a main agent responsible for inducing adventitious rooting, which is mostly useful in species that have a difficult rooting. Among auxins, the most widely used substance in rooting cuttings that has shown the best results for most forest species is indole-3-butyric acid (IBA) (Cunha, Wendling, & Júnior, 2008; Valmorbidia, Boaro, Lessa, & Salerno, 2008). On the other hand, slow-releasing phosphate fertilizers have been largely used in agriculture but little is known about their effects on cuttings of forest species in dibble-tube nurseries (Rose, Haase, & Arellano, 2004). In this context, this study evaluates the effect of applying indole-3-butyric acid (IBA) in *E. americana* cuttings and/or slow-release of phosphate fertilizer to the substrate, on the survival, growth and resource allocation of this species in greenhouse conditions using destructive

en los objetivos de la restauración. Esto a su vez exige profundo conocimiento del desarrollo ecofisiológico de la especie, en particular, de la viabilidad de su cultivo en condiciones de vivero (Bonfil & Trejo, 2010; Cervantes et al., 1998).

Erythrina americana Miller, perteneciente a la familia de las leguminosas, es una especie nativa del BTES de México (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2009). Esta especie es muy conocida y tiene importancia cultural, debido a sus múltiples beneficios: es utilizada en cercas vivas, proporciona sombra y materia orgánica a los cultivos, y es utilizada ampliamente como árbol ornamental (Flores, 2002). Sus hojas tienen un valor nutricional alto y el árbol es resistente a la poda repetida (Flores, 2002). Las flores de *E. americana* son muy valoradas como ingrediente para diversos platos tradicionales (García-Mateos, Soto-Hernández, & Vibrans, 2001); las semillas y la madera son utilizadas en artesanías indígenas (Niembro, 1992). En la medicina tradicional mexicana se emplean diferentes partes de la planta debido a sus propiedades atribuibles tales como antídoto, narcótico, laxante, diurético, expectorante, antiinflamatorio, sedante, propiedades antiasmáticas, antimalaria y antidermatitis (Argueta, Cano, & Rodarte 1994; García-Mateos et al., 2001). Otra ventaja de *E. americana* es que es una especie fijadora de nitrógeno que establece simbiosis con rizobios del grupo “caupi”, lo que le confiere un alto potencial para mejorar la fertilidad del suelo y acelerar la regeneración de otras especies (García-Mateos et al., 2001). De hecho, Suárez y Equihua (2009) señalan el gran potencial de *E. americana* para la restauración de suelos degradados. Esta especie es también una de las recomendadas para la restauración por el programa gubernamental para el uso sostenible de los recursos naturales del estado de Morelos en México (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [INIFAP & SAGARPA], 2014).

La macropropagación de *E. americana* es especialmente ventajosa con respecto a la reproducción sexual, ya que sus semillas exhiben dormancia debido a la presencia de una capa dura e impermeable que requiere escarificación física o química (Argueta et al., 1994), lo que dificulta su manejo en viveros. En la macropropagación, a menudo se considera que las auxinas son un agente principal responsable de inducir el enraizamiento adventicio, sobre todo en especies con enraizamiento difícil. Entre las auxinas, el ácido indol-3-butírico (AIB) es la sustancia más utilizada ampliamente en el enraizamiento de esquejes, la cual ha mostrado los mejores resultados para la mayoría de las especies forestales (Cunha, Wendling, & Júnior, 2004; Valmorbidia, Boaro, Lessa, & Salerno, 2008). Por

samples, in a way that would be feasible for restoration projects in seasonally dry tropical forests in Mexico.

Materials and methods

Study area

We collected the cuttings from Buenavista del Monte (18° 56' 41" N and 99° 18' 33" W), Morelos, a community with high levels of environmental degradation. The climate is semi-warm with an average monthly temperature of 21 °C to 24 °C, and annual seasonal precipitation of 1,000 to 1,200 mm, most of which falls between June and October (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2007; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2000). The vegetation is represented by deciduous and perennial species of tropical deciduous forests (Gómez-Garzón, 2002).

Greenhouse environment: The cuttings were cared for under similar environmental conditions to the study site and monitored by a digital device (HOBO Data Logger, model H21-002, Onset, USA); the average light intensity was 258.6 μE , temperature 21.7 °C and soil humidity 0.049 θ .

Study design

A total of 160 cuttings averaging 15 cm in length and 10 g in weight, with at least three buds, were collected from the young lower branches of different trees of *E. americana*, and were subjected to the following treatments: 1) Exogenous phytohormone application of 0.3 % indolbutyric acid (IBA; Radix T 3000) on the cuttings, 2) Slow-release phosphate fertilizer (SRPF; triple superphosphate 0-45-0) in the substrate, 3) Exogenous phytohormone + SRPF, 4) Control. Four blocks with 10 cuttings per treatment were randomized in the greenhouse (in total 160 cuttings). The cuttings were placed in the polypropylene tubes of the dibble-tube system with peat-moss, vermiculite and perlite in a 7:1.5:1.5 proportion, under greenhouse conditions for four months. All the cuttings were uniformly fertirrigated with a N-P-K (9:35:7) commercial fertilizer (Western Fol 66 Plus) in a solution of 1 g·liter⁻¹ (at 30, 40 and 50 days of growth) which subsequently increased to 5 g·liter⁻¹ (from day 60, 70, 80, 90, 100, 110 to 120) due to root presence. The cuttings were manually watered daily.

To evaluate the effect of the treatments, 10 randomly selected individuals per treatment were destructively harvested at 36, 66, 96 and 126 days of growth. Each plant was separated into roots, shoots and leaves; and was then oven-dried at 80 °C for 6 to 8 h. We measured the following parameters: total dry mass, root, shoot and leaf dry mass and root length. These data were used to calculate the average survival percentage, total dry biomass production for each structure (root

otro lado, los fertilizantes fosfatados de liberación lenta se han utilizado ampliamente en la agricultura, pero se sabe poco sobre los efectos en esquejes de especies forestales en viveros con sistema de tubetes (Rose, Haase, & Arellano, 2004). En este contexto, el presente estudio evalúa el efecto de la aplicación de ácido indol-3-butírico (AIB) en esquejes de *E. americana* y de fertilizante fosfatado de liberación lenta en el sustrato, sobre la sobrevivencia, el crecimiento y la asignación de recursos de la especie en condiciones de invernadero, utilizando muestras destructivas, de tal manera que sea factible para los proyectos de restauración de los bosques tropicales estacionalmente secos en México.

Materiales y métodos

Área de estudio

Los esquejes se recolectaron en Buenavista del Monte (18° 56' 41" N y 99° 18' 33" O), Morelos, una comunidad con niveles altos de degradación. El clima es semicálido, con temperatura promedio mensual de 21 a 24 °C y precipitación estacional anual de 1,000 a 1,200 mm que ocurre principalmente entre junio y octubre (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2007; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2000). La vegetación está representada por especies caducifolias y perennes de los bosques tropicales caducifolios (Gómez-Garzón, 2002).

Entorno del invernadero: Los esquejes se desarrollaron en condiciones ambientales similares al sitio de estudio que fueron monitoreadas por un dispositivo digital (registrador de datos HOBO, modelo H21-002, Onset, EE.UU.); la intensidad de luz promedio fue de 258.6 μE , la temperatura fue de 21.7 °C y la humedad del suelo de 0.049 θ .

Diseño del estudio

En total se recolectaron 160 esquejes de 15 cm de longitud y 10 g de peso en promedio, con al menos tres yemas. Los esquejes se obtuvieron de las ramas más bajas y jóvenes de los árboles de *E. americana*, y se sometieron a los siguientes tratamientos: 1) aplicación exógena de 0.3 % de ácido indolbutírico (AIB; Radix T 3000) en esquejes, 2) fertilizante fosfatado de liberación lenta (FLL; superfosfato triple 0-45-0) en el sustrato, 3) fitohormona exógena AIB (0.3 %) + FLL, 4) Testigo. En el invernadero se asignaron cuatro bloques al azar con 10 esquejes por tratamiento (160 esquejes en total). Los esquejes se colocaron en tubos de polipropileno (tubetes) con peat-moss, vermiculita y perlita en una proporción 7:1.5:1.5, respectivamente, en condiciones de invernadero durante cuatro meses. Todos los esquejes fueron fertirrigados uniformemente con fertilizante comercial N-P-K (9-35-7) (Western Fol 66 Plus) en una dosis de 1 g·litro⁻¹ (30, 40 y 50 días de crecimiento),

+ shoot + leaves), and daily relative growth rate (RGR; calculated by fitting total dry-mass measurements to a Hunt and Parsons model [Hunt & Parsons, 1974]). Resource allocation over time was also calculated using the relationship between the root/shoot weight ratio (R/S), and the root length/dry weight ratio (RL/RDW). The analysis of these last variables started after 66 days because until this time cuttings did not exhibit roots yet, and the RGR was relative to day 36. To evaluate the average survival percentage in each treatment and in each growth period, cutting death was considered to have occurred when the cutting lacked roots and leaves, since some species tend to sprout before developing roots (Zahawi, 2005).

Statistical analysis

A one-way ANOVA was used for each harvest period to compare total dry biomass and dry biomass of shoots and roots among treatments. To evaluate the effect of treatments in the R/S and RL/RDW ratios and in the RGR, a factorial ANOVA analysis (four treatments x three growth periods) was used. Tukey tests ($P \leq 0.05$) were used for the post hoc comparison of means.

Results and discussion

The exogenous phytohormones and the slow-release phosphate applications were found not to affect either *E. americana* survival, which was high (around 95 %) (Figure 1), or total dry biomass production in the greenhouse

la cual aumentó posteriormente a 5 g-litro^{-1} (desde el día 60, 70, 80, 90, 100, 110 hasta el día 120), debido a la presencia de raíces. Los esquejes fueron regados manualmente todos los días.

En total, 10 individuos por tratamiento, seleccionados al azar, fueron cosechados destructivamente a los 36, 66, 96 y 126 días de crecimiento para evaluar el efecto de los tratamientos. Cada planta se dividió en raíces, tallos y hojas y posteriormente estos componentes se secaron en un horno a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 6 a 8 h. Se midieron los siguientes parámetros: biomasa seca total, biomasa seca de raíces, tallos, y hojas, y longitud de raíz. Estos datos se utilizaron para calcular el porcentaje promedio de sobrevivencia, la producción total de biomasa seca por cada estructura (raíces + tallos + hojas) y la tasa de crecimiento relativo diario (TCR, que se calcula mediante el ajuste de las mediciones de biomasa seca total a un modelo de Hunt y Parsons [Hunt y Parsons, 1974]). También se calculó la asignación de recursos a través del tiempo, utilizando la relación entre peso seco de la raíz/tallo (R/T) y la relación longitud de raíz/peso seco de raíz (LR/PSR). El análisis de estas últimas variables se inició después de 66 días, ya que fue hasta este momento que los esquejes presentaron raíces, además de que la TCR fue relativa al día 36. El porcentaje de sobrevivencia promedio de cada tratamiento y de cada periodo de crecimiento se evaluó considerando la muerte del esqueje; es decir, cuando los esquejes carecen de raíces y hojas, ya que algunas especies tienden a brotar antes de desarrollar raíces (Zahawi, 2005).

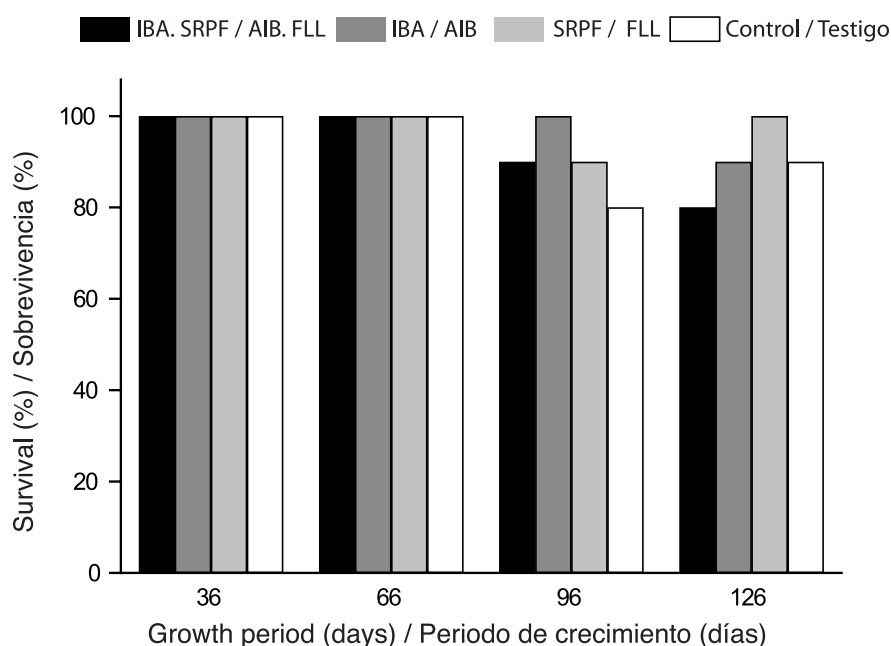


Figure 1. Effects of treatments on survival of *Erythrina americana* cuttings at different growth periods. IBA: Exogenous application of indole-3-butyric acid (Radix T 3000), SRPF: Slow-release phosphate fertilizer (triple superphosphate 0-45-0) in the substrate.

Figura 1. Efectos de los tratamientos sobre la sobrevivencia de esquejes de *Erythrina americana* en diferentes periodos de crecimiento. AIB: Aplicación exógena de ácido indol-3-butírico (Radix T 3000) en esquejes, FLL: Fertilizante fosfatado de liberación lenta (superfosfato triple 0-45-0) en el sustrato.

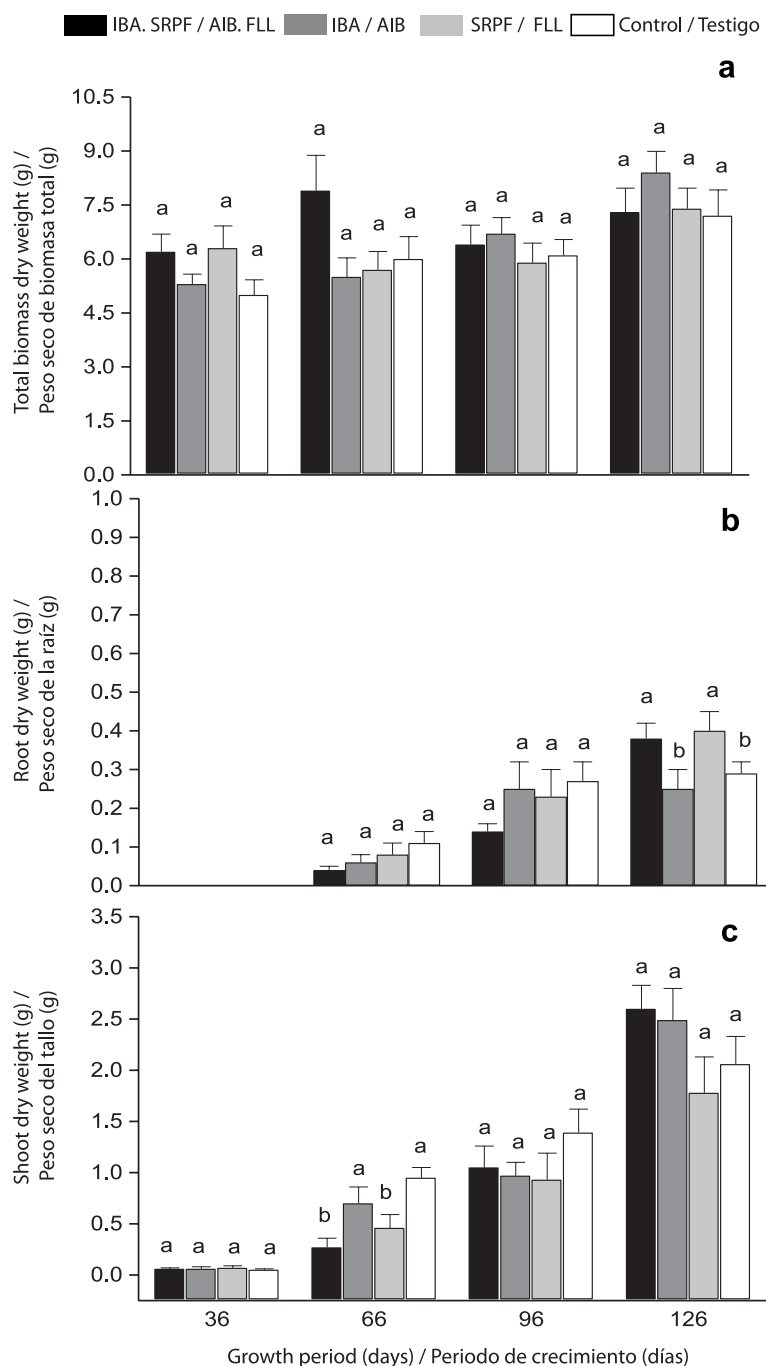


Figure 2. Effects of different treatments on total dry biomass production (a) root dry biomass production (b) and shoot dry biomass production (c) of *Erythrina americana* cuttings at different growth periods. IBA: Exogenous application of indole-3-butyric acid (Radix T 3000), SRPF: Slow-release phosphate fertilizer (triple superphosphate 0-45-0) in the substrate. Vertical lines are standard errors. For each variable, means are significantly different among treatments when followed by different letters ($P < 0.05$).

Figura 2. Efectos de los tratamientos sobre la producción de biomasa seca total (a), producción de biomasa seca de raíz (b) y producción de biomasa seca de tallo (c) de esquejes de *Erythrina americana* en diferentes periodos de crecimiento. AIB: Aplicación exógena de ácido indol-3-butírico (Radix T 3000) en esquejes, FLL: Fertilizante fosfatado de liberación lenta (superfosfato triple 0-45-0) en el sustrato. Las líneas verticales indican error estándar de la media. Para cada variable, las medias son significativamente diferentes entre tratamientos de un mismo periodo de crecimiento cuando van seguidas de letras distintas (Tukey, $P < 0.05$).

in all growth periods (36 days, $F = 1.980$; 66 days, $F = 1.665$; 96 days, $F = 0.516$; 126 days, $F = 0.794$; $P \geq 0.05$) (Figure 2a). Despite the important role of exogenous phytohormones in the growth of many tree species (Valmorbida et al., 2008), some recent studies have also found that exogenous phytohormones did not influence the development of tropical tree species (Baul, Mezbahuddin, Hossain, & Mohiuddin, 2010; C ezar et al. 2009; Leandro & Yuyama, 2008). On the other hand, in the last growing period (126 days) of this study, the cuttings fertilized with SRPF showed significantly higher dry root biomass (66 days, $F = 1.254$; 96 days $F = 1.573$; $P \geq 0.05$; 126 days, $F = 3.002$; $P = 0.047$) than those that received exogenous phytohormones alone, as well as the control group, which showed similar results (Figure 2b). Since fertilization is a routine and necessary step in the dibble-tube cultivation system, the application of SRPF does not represent an extra investment of time or effort, making it an economical and effective technique to increase root biomass. A large root biomass before transplantation may improve the long-term survival of cuttings in degraded areas, especially in seasonal climate regions where this characteristic may allow plants to access the deeper, moister layers of the soil during the dry season (Ceccon et al., 2006). On the other hand, in the second harvest period (at 66 days of growth), the biomass production of the shoot structures resulted in a significant increase (36 days, $F = 0.130$; 96 days $F = 0.464$, 126 days, $F = 1.516$; $P \geq 0.05$; 66 days, $F = 6.777$; $P = 0.001$) in the absence of SRPF (Figure 2c). It is possible that this is related to the low root biomass recorded during this period; thus, the effect of SRPF was indiscernible.

The exogenous phytohormones and the slow-release phosphate applications did not affect significantly the relative growth rate, root/shoot weight ratio or root length/root dry weight ratio in the different growth periods nor the interaction between these treatments and growth periods. However, these variables presented significant changes over the growth periods (Table 1).

In the last growth period (96-126 days), the cuttings presented a significantly higher RGR than in previous periods (Figure 3a), probably due to the large root proportion (4.3 % of total biomass), which increased the plant's ability to take advantage of the applied nutrients and water (Cairns, Brown, Helmer, & Baumgardner, 1997). This also indicates the appropriateness of maintaining the *E. americana* cuttings in the greenhouse for at least four months before transplanting them to the field in order to increase their survival probability in the dry season. In the present study, the RGR average of *E. americana* cuttings at 126 days was $1.92 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ (Figure 3a), which was much higher than that of other fast-growing species of STDF reproduced by seeds: $0.097 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ and $0.126 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ as found by Huante et al. (1995) and Huante, Ceccon, Orozco, S anchez, and Acosta (2012), respectively. According to Holl, Loik, Lin,

An alisis estadístico

Se empleó un ANOVA de una vía para cada periodo de cosecha con el fin de comparar la biomasa seca total y la biomasa seca de tallos y raíces entre tratamientos. El efecto de los tratamientos sobre las relaciones peso seco R/T y LR/PSR y sobre la TCR se evaluó con un ANOVA factorial (cuatro tratamientos x tres periodos de crecimiento). La comparación post hoc se hizo mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Las aplicaciones de la fitohormona exógena AIB y del fosfato de liberación lenta no afectaron la sobrevivencia de *E. americana*, la cual fue alta (aproximadamente 95 %) (Figura 1), ni la producción total de biomasa seca en invernadero, durante los periodos de crecimiento ($P \geq 0.05$: 36 días, $F = 1.980$; 66 días, $F = 1.665$; 96 días, $F = 0.516$; 126 días, $F = 0.794$) (Figura 2a). A pesar del papel importante de las fitohormonas exógenas en el crecimiento de muchas especies arbóreas (Valmorbida et al., 2008), en algunos estudios recientes se ha encontrado que dichas hormonas no influyen en el desarrollo de las especies de árboles tropicales (Baul, Mezbahuddin, Hossain, & Mohiuddin, 2010; C ezar et al., 2009; Leandro & Yuyama, 2008). Por otro lado, en el último periodo de crecimiento (126 días) de este estudio, los esquejes con FLL mostraron significativamente mayor biomasa seca radical ($P \geq 0.05$: 66 días, $F = 1.254$; 96 días $F = 1.573$. $P = 0.047$; 126 días, $F = 3.002$) que los que solo recibieron fitohormonas exógenas, así como el grupo testigo que mostró resultados similares (Figura 2b). Ya que la fertilización es un paso necesario y rutinario en el sistema de tubetes, la aplicación de FLL no representa inversión adicional de tiempo o esfuerzo, por lo que es una técnica económica y eficaz para aumentar la biomasa radical. Una gran biomasa radical antes del trasplante puede mejorar, a largo plazo, la sobrevivencia de los esquejes en áreas degradadas, especialmente en las regiones con climas estacionales donde dicha característica puede permitir que las plantas tengan acceso a las capas del suelo más profundas y con mayor humedad durante la estación seca (Ceccon et al., 2006). Por otra parte, en el segundo periodo de cosecha (a los 66 días de crecimiento), la producción de biomasa de los tallos aumentó significativamente ($P \geq 0.05$: 36 días, $F = 0.130$; 96 días, $F = 0.464$, 126 días, $F = 1.516$. $P = 0.001$: 66 días, $F = 6.777$) en ausencia de FLL (Figura 2c). Es posible que esto se relacione con la poca biomasa radical registrada durante ese periodo; por lo tanto, el efecto de FLL fue indiscernible.

Las aplicaciones de AIB y de FLL no afectaron significativamente la TCR, la relación peso raíz/tallo, la relación longitud de raíz/peso seco de raíz ni la interacción entre los tratamientos y los periodos

and Samuels (2000), pasture is one of the most limiting barriers for restoration due to competition with seedlings, and one successful strategy is to establish forest recovery with high RGR species. Therefore, the high RGR of *E. americana* cuttings may be advantageous when compared to sexual reproduction for restoration of degraded pasture areas.

de crecimiento. Sin embargo, dichas variables si presentaron cambios significativos entre los periodos de crecimiento (Cuadro 1).

En el último periodo de crecimiento (96 a 126 días), los esquejes presentaron una TCR significativamente mayor que en los periodos anteriores (Figura 3a),

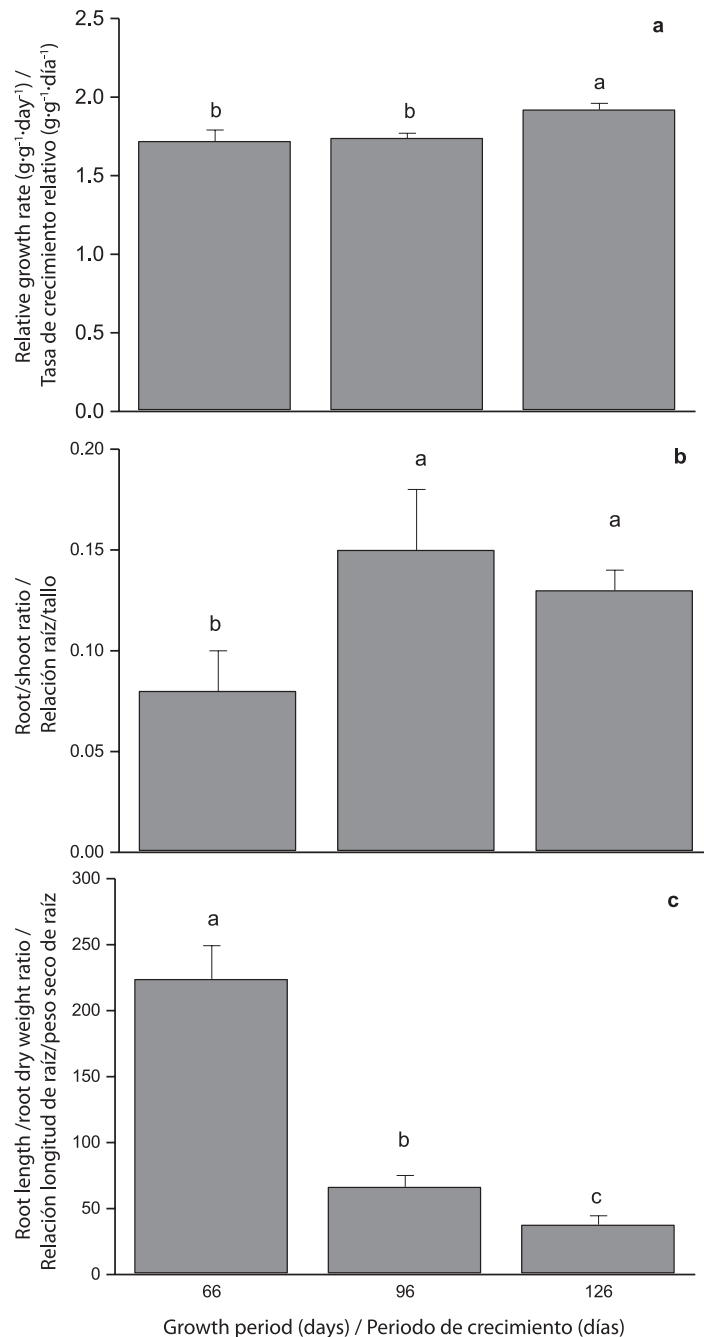


Figure 3. Effect of growth period on the relative growth rate (a), root /shoot dry weight ratio (b) and root length/ root dry weight (c) of *Erythrina americana* cuttings. For each variable, means are significantly different among treatments when followed by different letters ($P < 0.05$).

Figura 3. Efecto del periodo de crecimiento sobre la tasa de crecimiento relativo (a), relación peso seco de raíz/ tallo (b) y longitud de raíz/peso seco de raíz (c) de esquejes de *Erythrina americana*. Las líneas verticales indican error estándar de la media. Para cada variable, las medias son significativamente diferentes entre periodos de crecimiento cuando van seguidas de letras distintas (Tukey, $P < 0.05$).

Table 1. Factorial ANOVA ($P \leq 0.05$) of the treatments (IBA: Exogenous application of indole-3-butyric acid, SRPF: Slow-release phosphate fertilizer in the substrate, IBA+ SRPF and control) and of interactions between treatments and growth periods (66, 96 and 126 days).

Cuadro 1. ANOVA factorial ($P \leq 0.05$) de los tratamientos (AIB: Aplicación exógena de ácido indol-3-butírico en esquejes, FLL: fertilizante fosfatado de liberación lenta en el sustrato, AIB + FLL y testigo) y de las interacciones entre los tratamientos y periodos de crecimiento (66, 96 y 126 días).

Variables	F	P
Relative growth rate (RGR)/Tasa de crecimiento relativo (TCR)		
Treatment/Tratamiento	0.820	0.485
Growth period/Periodo de crecimiento	5.040	0.008
Period * treatment/Periodo * tratamiento	1.169	0.328
Root/shoot weight ratio (R/S)/Relación peso de raíz/tallo (R/T)		
Treatment/Tratamiento	0.787	0.505
Growth period/Periodo de crecimiento	6.464	0.002
Period * treatment/Periodo * tratamiento	1.785	0.116
Root length/root dry weight (RL/RDW)/ Longitud de raíz/peso seco de raíz (LR/PSR)		
Treatment/Tratamiento	1.618	0.193
Growth period/Periodo de crecimiento	40.312	0.000
Period * treatment/Periodo * tratamiento	1.373	0.238

The R/S increase of *E. americana* cuttings over time (Table 1, Figure 3b) agrees with results obtained from other STDF species reproduced from seeds in greenhouse conditions (Ceccon, Almazo-Rogel, Martínez-Romero, & Toledo, 2012; Cervantes et al., 1998). The higher root/shoot weight ratio found in STDF species is an adaptive response to the severe seasonal conditions of low-moisture soils (Bullock, 1990; Martínez-Yrizar et al., 1992).

The reduction of the RL/RDW ratio over the time period (Table 1, Figure 3c) was probably due to the fact that as time goes by, the roots become thicker (due to increasing resource allocation) and longer. This root morphology not only gives this species a better ability to adapt in areas with low water availability (typical of SDTF during four to six months per year), but also provides it with certain benefits to successfully tolerate areas with low fertility (Ceccon et al., 2006). Larger roots are more capable of absorbing water and soil nutrients (Ceccon et al., 2006).

The foregoing results, taken together, suggest that macropropagation of *E. americana* is an important tool for SDTF restoration, particularly in low-resource rural

debido probablemente a la gran proporción de raíces (4.3 % de la biomasa total), lo que aumentó la capacidad de la planta para aprovechar los nutrientes aplicados y el agua (Cairns, Brown, Helmer, & Baumgardner, 1997). Esto también indica la conveniencia de mantener los esquejes de *E. americana* en invernadero durante al menos cuatro meses antes de trasplantarlos a campo, con el fin de aumentar la probabilidad de sobrevivencia en la estación seca. En este estudio, el promedio de TCR de los esquejes de *E. americana* a los 126 días fue de $1.92 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ (Figura 3a), que fue mucho mayor que la de otras especies de crecimiento rápido de BTES reproducidas por semillas: $0.097 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ y $0.126 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, tal como reportaron Huante et al. (1995) y Huante, Ceccon, Orozco, Sánchez, y Acosta (2012), respectivamente. Según Holl, Loik, Lin, y Samuels (2000), los pastizales son una de las principales barreras que limitan la restauración debido a su competencia con las plántulas, por lo que una estrategia exitosa es establecer la recuperación del bosque con especies con TCR alta. Por lo tanto, la TCR alta de los esquejes de *E. americana* en comparación con la reproducción sexual puede ser ventajosa para la restauración de áreas de pastoreo degradadas. Con respecto a la relación peso seco R/T, esta variable aumentó en los esquejes de *E.*

communities, since it needs few external inputs in the greenhouse which reduces cost and labor.

Conclusions

The exogenous phytohormones and the slow-release phosphate applications did not affect the total dry biomass production or high survival of *E. americana* cuttings in the greenhouse in all growth periods. The application of slow-release phosphate in the substrate increased the root biomass of *E. americana* cuttings and could provide more plasticity and ability to adapt to the changing moisture conditions and to survive the long SDTF drought season, which is decisive for the planning and effectiveness of restoration projects. The relative growth rate and root/shoot dry weight ratio increased significantly while the root length/root dry weight ratio was reduced over the growth periods. Thus, the time lapse in the greenhouse proves to be a determinant variable in the macropropagation of *E. americana*. Cuttings should be maintained in the greenhouse for at least four months before transplanting to the field at the beginning of the rainy season. In this way, cuttings will be larger and the roots will present a higher biomass. The vegetative macropropagation of *E. americana* could be an important tool for SDTF restoration, mainly in low-resource rural communities since it requires few external inputs in the greenhouse, thereby reducing costs and labor.

Acknowledgements

We very much appreciate PAPIIT/UNAM grants IN300112 and IN300615, and Lynna Kiere for her useful comments.

americana a través del tiempo (Cuadro 1, Figura 3b), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en otras especies de BTES reproducidas a partir de semillas en condiciones de invernadero (Ceccon, Almazo-Rogel, Martínez-Romero, & Toledo, 2012; Cervantes et al., 1998). La mayor relación peso seco R/T en las especies de BTES es una respuesta adaptativa a las condiciones estacionales severas de los suelos con baja humedad (Bullock, 1990; Martínez-Yrizar et al., 1992).

Por otra parte, la reducción de la relación LR/PSR probablemente se debió al hecho de que al paso del tiempo, las raíces se vuelven más gruesas, (Cuadro 1, Figura 3c) (aumento de la asignación de recursos) y más largas. Esta morfología de raíz no sólo proporciona a *E. americana* una mejor capacidad de adaptación en zonas con baja disponibilidad de agua (típico del BTES, por un periodo de cuatro a seis meses al año), sino que también le proporciona ciertos beneficios para tolerar con éxito las zonas con baja fertilidad (Ceccon et al., 2006). Las raíces más grandes son más capaces de absorber agua y nutrientes del suelo (Ceccon et al., 2006).

Los resultados anteriores, analizados en conjunto, sugieren que la macropropagación de *E. americana* es una herramienta importante para la restauración del BTES, especialmente en las comunidades rurales de bajos recursos, ya que se requieren pocos insumos externos en el invernadero, lo que reduce costos y mano de obra.

Conclusiones

La fitohormona exógena AIB y el fosfato de liberación lenta no afectaron la producción de biomasa seca total ni la alta sobrevivencia de los esquejes de *E. americana* en invernadero, durante los periodos de crecimiento. El fosfato de liberación lenta en el sustrato incrementó la biomasa radical de los esquejes de *E. americana* y podría proporcionar mayor plasticidad y capacidad de adaptación a las cambiantes condiciones de humedad, así como sobrevivir la larga temporada de sequía del BTES, lo cual es decisivo para la planificación y eficacia de los proyectos de restauración. La tasa de crecimiento relativo y la relación peso seco de raíz/tallo aumentaron significativamente, mientras que la relación longitud de raíz/peso seco de raíz se redujo durante los periodos de crecimiento. Por lo tanto, el tiempo en el invernadero es una variable determinante en la macropropagación de *E. americana*. Los esquejes deben mantenerse en el invernadero al menos durante cuatro meses antes de trasplantarse a campo, al comienzo de la temporada de lluvias. De esta manera, los esquejes serán más grandes y las raíces presentarán biomasa mayor. La macropropagación vegetativa de *E. americana* podría ser una herramienta importante para la restauración del BTES, principalmente en las comunidades rurales

End of English Version

References / Referencias

- Argueta, V. A., Cano, A. L. M., & Rodarte, M. E. (1994). *Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana*. México: Instituto Nacional Indigenista-Biblioteca digital de la Medicina Tradicional Mexicana, UNAM. Consultado 12-06-09 en <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/atlas.php>
- Aronson, J., Milton, S. J., & Blignaut, J. N. (2007). Restoring natural capital: Definition and rationale. In J. Aronson, S. J. Milton, & J. N. Blignaut (Eds.), *Restoring Natural Capital: Science, Business, and Practice* (pp. 3–8). Washington, USA: Island Press.
- Baul, T. K., Mezbahuddin, M., Hossain, M. M., & Mohiuddin, M. (2010). Vegetative propagation of *Holarrhena pubescens*, a wild tropical medicinal plant: Effect of indole-3-butyric acid (IBA) on stem cuttings. *Forestry Studies in China*, 12(4), 228–235. doi: 10.1007/s11632-010-0409-3
- Bewley, J. D. & Black, M. (1994). *Seeds: physiology of development and germination* (2nd ed). New York, London: Plenum Press.
- Bonfil, C. & Trejo, I. (2010). Plant propagation and the ecological restoration of Mexican tropical deciduous forests. *Ecological Restoration*, 28(3), 369–376. doi: 10.3368/er.28.3.369
- Bonfil-Sanders, C., Cajero-Lázaro, I., & Evans, R. Y. (2008). Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia*, 42(7), 827–834. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n7/v42n7a9.pdf>
- Bullock, S. H. (1990). Abundance and allometrics of vines and self-supporting plants in a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*, 22(1), 22–35. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2388726>
- Castellanos-Castro, C. & Bonfil, C. (2013). Propagación de tres especies de *Bursera* a partir de estacas. *Botanical Sciences*, 91(2), 217–224. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v91n2/v91n2a9.pdf>
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), 1–11. doi: 10.1007/s004420050201
- Ceccon, E. (2008). La revolución verde: Breve historia de una tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1(91), 21–29. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Ceccon, E. (2013). *Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. México: Ediciones Díaz de Santos/UNAM.
- Ceccon, E., Almazo-Rogel, A., Martínez-Romero, E., & Toledo, I. (2012). The effect of inoculation of indigenous bacteria on the early growth of *Acacia farnesiana* in a degraded area. *Revista CERNE*, 18(1), 49–57. doi: 10.1590/S0104-77602012000100007
- Ceccon, E., Huante, P., & Rincón, E. (2006). Abiotic factors influencing tropical dry forests regeneration. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(2), 1–13. doi: 10.1590/S1516-89132006000300016
- de bajos recursos, pues se requieren pocos insumos externos en el invernadero, reduciendo así los costos y la mano de obra.
- ### Agradecimientos
- Agradecemos el apoyo de PAPIIT/UNAM IN300112 y IN300615, asimismo agradecemos a Lynna Kiere por sus valiosos comentarios.
- Fin de versión en español*
-
- Cervantes, V., Arriaga, V., Meave, J., & Carabias, J. (1998). Growth analysis of nine multipurpose woody legumes. *Forest Ecology and Management*, 110, 329–341. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00298-9
- Cervantes, V., López, M., Salas, N., & Hernández, G. (2001). *Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación*. México: UNAM-Programa Nacional de Reforestación (PRONARE)-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).
- Cézar, T. M., Souza, F. D., Maciel, R. T., Dembiski, W., Zuffellato-Ribas, K. C., Ribas, L. L. F., & Koehler, H. S. (2009). Estaquia e alporquia de *Tibouchina fothergillae* (DC) Cogn. (Melastomataceae) com a aplicação de ácido naftaleno acético. *Scientia Agraria*, 10(6), 463–468. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99512492006>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2009). *Catálogo taxonómico de especies de México. Capital natural de México*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2007). Área técnica regional Balsas. Cuernavaca, Morelos, México: Autor.
- Cunha, A. C. M. C. M., Wendling, I., & Júnior, S. L. (2004). Influência da concentração do regulador de crescimento para enraizamento AIB na formação de mudas de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax por estaquia. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 49, 17–29. Obtenido de http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim49/Pag_17_29.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010). *Global forest resource assessment 2010. Main report*. Rome, Italy: Autor. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>
- Flores, J.S. (2002). Diferentes usos de las leguminosas en la península de Yucatán. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 3(1), 59–63. Obtenido de <http://132.248.9.34/hevila/Sociedadesruralesproduccionymedioambiente/2002/vol3/no1/5.pdf>
- García-Mateos, R., Soto-Hernández, M., & Vibrans, H. (2001). *Erythrina americana* Miller ("Colorín"; Fabaceae), a versatile resource from Mexico: A review. *Economic Botany*, 55(3), 391–400. doi: 10.1007/BF02866562

- Gómez-Garzón, A. (2002). *Caracterización del medio físico de la cuenca del río Tembembe empleando sistemas de información geográfica*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Holl, K. D., Loik, M. E., Lin, E. H., & Samuels, I. A. (2000). Tropical montane forest restoration in Costa Rica: Overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology*, 8(4), 339–349. doi: 10.1046/j.1526-100x.2000.80049.x
- Huante, P., Hernández, A., Orozco, A., Sánchez, M., Acosta, I., & Rincón, E. (1995). Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Functional Ecology*, 9(6), 849–858. doi: 10.1017/S0376892901000042
- Huante, P., Ceccon E, Orozco, A., Sánchez, M., & Acosta, I. (2012). The role of arbuscular mycorrhizal fungi on the restoration of seasonally tropical dry forest in Chamela, Mexico. *Revista Árvore*, 36(2), 279–289. doi: 10.1590/S0100-67622012000200009
- Hunt, R., & Parsons, T. I. (1974). A computer program for deriving growth functions in plant growth analysis. *Journal of Applied Ecology*, 11, 297–307. Obtenido de http://people.exeter.ac.uk/rh203/jae_paper.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2000). *Cartas de climas 1:50000 E-14-A-58*. México: Autor.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (INIFAP-SAGARPA). (2014). Guía para cumplir los compromisos de los beneficiarios del PROGAN en Morelos. Obtenido de www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/guias/guia_mor.pdf
- Leandro, R. C. & Yuyama, K. (2008). Rooting of cutia nut cuttings with indolbutiric acid. *Acta Amazonica*, 38(4), 597–601. doi: 10.1590/S0044-59672008000400001.
- Martínez-Yrizar, A., Sarukhan, J., Pérez-Jiménez, A., Rincón, E., Maass, J. M., Solis-Magallanes, A., & Cervantes, L. (1992). Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology*, 8(1), 87–96. doi: 10.1017/S0266467400006131
- Niembro, R. A. (1992). Árboles útiles de México: Naturales e introducidos. México: Limusa.
- Rose, R., Haase, D. L., & Arellano, E. (2004). Fertilizantes de entrega controlada: Potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)*, 25(2), 89–100. doi: 10.4067/S0717-92002004000200009
- Sánchez-Azofeifa, G. A. & Portillo-Quintero, C. (2011). Extent and drivers of change of Neotropical seasonally dry tropical forests. In Dirzo, R., Young H. S., Mooney, H. A., & Ceballos, G. (Eds.), *Seasonally dry tropical forest. Ecology and conservation* (pp. 45–57). Washington, DC, USA: Island Press.
- Souza, F. X. & Araújo, C. A. T. (1999). *Avaliação dos métodos de propagação de algumas Spondias agroindústrias*. Fortaleza, Brasil: Embrapa Agroindústria Tropical. Obtenido de http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_2498.pdf
- Suárez, G. A. I. & Equihua, M. (2009). Rehabilitación de algunas propiedades químicas de los suelos y del bosque de niebla en Veracruz, México con ensambles experimentales de leñosas nativas y *Casuarina equisetifolia* L. Amoen. *Interciencia*, 34(7), 471–476. doi: 0378-1844/09/07/471-08
- Trejo, I. & Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological conservation*, 94(2), 133–142. doi: 10.1016/S0006-3207(99)00188-3.
- Valmorbida, J., Boaro, C. S. F., Lessa, A. O., & Salerno, A. R. (2008). Enraizamento de estacas de *Trichilia catigua* A. Juss (catigua) em diferentes estações do ano. *Revista Árvore*, 32(3), 435–442. doi: 10.1590/S0100-67622008000300006
- Zahawi, R. A. (2005). Establishment and growth of living fence species: An overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restoration ecology*, 13(1), 92–102. doi: 10.1111/j.1526-100X.2005.00011.x