

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

CALIDAD DE PLANTA DE
***Enterolobium cyclocarpum* Y**
Swietenia humilis

ERICKSON BASAVE VILLALOBOS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis, titulada: **Calidad de planta de *Enterolobium cyclocarpum* y *Swietenia humilis***, realizada por el alumno: **Erickson Basave Villalobos**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

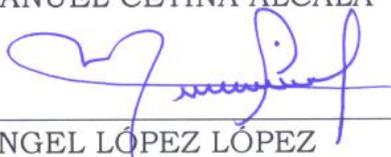
MAESTRO EN CIENCIAS
FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. VÍCTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

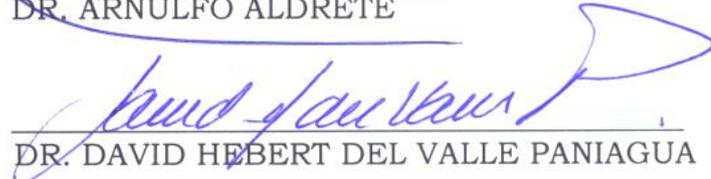
ASESOR:


DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR:


DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR:


DR. DAVID HEBERT DEL VALLE PANIAGUA

Montecillo, Texcoco, México, 22 de Noviembre de 2013

No sé si por azares del destino he logrado estas metas; lo único que sé, es que gracias a ustedes he logrado hacer de esta utopía, una realidad.

Padres
Hermanos
Amigos
Celi

Agradecimientos

A las siguientes instituciones:

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- Colegio de Postgraduados
- Postgrado Forestal

A mi comité académico:

- Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá
- Dr. Miguel Ángel López López
- Dr. Arnulfo Aldrete
- Dr. David Hebert del Valle Paniagua

Asimismo, expreso mi gratitud a las siguientes personas:

- Dr. Juan José Almaraz Suárez
- Bióloga Celi Gloria Calixto Valencia
- Bióloga Itzel Dinoran Galindez
- Biólogo Noé Bahena Tamayo†

Les reitero mi respeto y admiración.

Gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I.....	3
Prácticas culturales para producir planta de <i>Swietenia humilis</i> con características apropiadas para reforestar sitios con baja fertilidad	3
Resumen	3
Abstract	3
Introducción	5
Materiales y métodos	7
Resultados.....	12
Discusión	13
Conclusiones	18
Cuadros	19
Figuras.....	21
CAPÍTULO II	24
Prácticas culturales que afectan la calidad de planta de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> en vivero	24
Resumen	24
Abstrat.....	24
Introducción	26
Materiales y métodos	27
Resultados.....	32
Discusión	34
Conclusiones	37
Cuadros	38
Figuras.....	40
CONCLUSIONES GENERALES	41
LITERATURA CITADA	42

INTRODUCCIÓN GENERAL

La fragmentación y pérdida acelerada de la cubierta forestal de los trópicos secos de México y Centroamérica ha provocado que la capacidad de estos ecosistemas para proveer bienes y servicios sea excedida. Una estrategia implementada para encarar este problema, ha sido el impulso de ambiciosos programas de reforestación, los cuales, se han centrado principalmente en el establecimiento de plantaciones forestales.

El establecimiento de plantaciones forestales, ya sea con fines ambientales o económicos, demanda plantas de calidad. Es decir, se necesita que las plantas usadas para las reforestaciones dispongan de características morfológicas y fisiológicas apropiadas para lograr tasas altas de supervivencia y crecimiento. Sin embargo, las bajas tasas de supervivencia y crecimiento que a menudo se presentan en la mayoría de los trabajos de reforestación, evidencian que las plantas no satisfacen tales requerimientos.

Diagnosticando la calidad de planta producida para las reforestaciones de diversas regiones de México, Orozco et al. (2010) y Benítez et al. (2002) encontraron que los viveros del país producen planta con calidad deficiente no sólo porque usan germoplasma de mala calidad, sino también, porque en sus sistemas de producción no implementan prácticas culturales, o si lo hacen, por conveniencias operativas, indistintamente se aplican a las diferentes especies que producen. Por el efecto que dichas prácticas tienen sobre la manipulación de las características que determinan la calidad de las plantas, lo anterior repercute severamente, principalmente, cuando se produce en contenedores.

Aunque las cuestiones operativas se destacan entre las principales razones por las cuales no se implementan las prácticas necesarias para producir planta de calidad, tal condición también se deriva por el escaso conocimiento silvícola de muchas especies, siendo las especies forestales tropicales nativas, unas de las principales que se encuentran en tal situación.

Lo anterior, denota la necesidad de desarrollar conocimiento silvícola orientado a estas especies. Por tal motivo, el presente trabajo se enfoca en estudiar el efecto de algunas prácticas culturales en vivero en plantas de *Enterolobium cyclocarpum* y *Swietenia humilis*. Con esto, se pretende establecer bases que permitan la producción de planta de calidad de estas especies.

CAPÍTULO I

Prácticas culturales para producir planta de *Swietenia humilis* con características apropiadas para reforestar sitios con baja fertilidad¹

Resumen

Con base en el contexto de que la poda aérea y la fertilización en vivero son prácticas culturales que mejoran la calidad de planta siempre y cuando la intensidad de poda y el régimen de fertilización sean apropiados; se examinaron los efectos de tres intensidades de poda aérea (0%, 25% y 50%) y de dos regímenes de fertilización (tradicional y exponencial) en plantas de *Swietenia humilis* mediante la evaluación de diversos indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad, y de un ensayo de prueba de calidad. No existió una sinergia entre ambas prácticas; no obstante, de manera independiente cada factor influyó en los indicadores evaluados. La poda aérea tanto al 25% como al 50% no mejoró la calidad de planta de *S. humilis*. En cambio, el suministro de nutrimentos en forma exponencial sí tuvo un efecto favorable. Los resultados aportados por el ensayo de prueba de calidad hicieron patente que las características adquiridas por efecto de la fertilización exponencial permiten a las plantas desempeñarse satisfactoriamente cuando la baja disponibilidad de nutrimentos es un factor limitante.

Palabras clave: Caobilla, calidad de planta, poda aérea, fertilización exponencial.

Abstract

Based on the context that top pruning and fertilization in the nursery are cultural practices that improve seedling quality as long as the intensity of pruning and fertilization regime are appropriate, the effects of three top pruning intensities (0%, 25% and 50%) and two fertilizer regimes (traditional and exponential) in *Swietenia humilis* seedlings were studied throughout the evaluation of various morphological and physiological indicators of quality, and a quality test trial. There was no synergy between the two practices; yet, each factor influenced independently on the indicators evaluated. The top

¹ Artículo enviado a la revista iForest - Biogeosciences and Forestry

pruning at 25% and 50 % did not improve the seedling quality of *S. humilis*. In contrast, the exponential supply of nutrients had a favorable effect. The results provided by the quality test trial showed that characteristics acquired by the exponential fertilization effect allow seedlings to perform satisfactorily when low nutrient availability is a limiting factor.

Keywords: Caobilla, seedling quality, top pruning, exponential fertilization.

Introducción

La caobilla (*Swietenia humilis* Zucc.) es una especie maderable de alto valor comercial para la industria forestal local donde se distribuye naturalmente (Gordon et al. 2003). Tras varias décadas de explotación, sus poblaciones naturales se han reducido a tal grado que su inclusión en los apéndices de CITES se hizo necesaria.

Actualmente, en los trópicos secos de México y Centroamérica, se ha incrementado el interés por establecer esta especie en plantaciones forestales con propósitos ambientales o comerciales; sin embargo, las expectativas de reforestación se han visto limitadas por la baja supervivencia y el lento crecimiento; consecuencia de que la mayoría de plantaciones son establecidas con plantas de mala calidad (CONAFOR 2012).

Independientemente del sistema de producción, cuando se produce planta a partir de semilla, la calidad genética del germoplasma junto con las prácticas culturales tienen un papel preponderante en la promoción de características morfológicas y fisiológicas apropiadas para un desempeño satisfactorio en el sitio de plantación (Mexal et al. 2002, Rodríguez 2008, Zida et al. 2008, Esen et al. 2012, Villar-Salvador et al. 2012). Sin embargo, debido a que las características están en función de las condiciones del sitio (Landis 2009), el grado en el que las prácticas culturales resulten eficaces, dependerá del efecto que estas ejerzan sobre la manipulación de las características deseadas.

Por lo general, en los trópicos secos, las sequías y las altas temperaturas (las cuales a su vez limitan la disponibilidad de nutrimentos), afectan severamente las reforestaciones (Griscom y Ashton 2011). No obstante, un desempeño exitoso puede lograrse si estas se realizan en épocas favorables con plantas que tienden a adaptarse rápidamente. Según Villar-Salvador et al. (2012), las plantas que se adaptan rápidamente son aquellas que presentan un crecimiento alto; el cual es soportado por una alta capacidad fotosintética y una elevada capacidad para removilizar nutrimentos. Los

mismos autores argumentan que planta grandes y con altas concentraciones de nutrimentos favorecen dichos atributos. En ese sentido, prácticas culturales que promuevan tal condición resultarían favorables para incrementar la calidad de las planta de *Swietenia humilis*.

La práctica cultural de realizar poda aérea en vivero no es muy común; sin embargo, evidencias aportadas por Cetina et al. (1999, 2001, 2002) en planta de *Pinus greggii*, indican que este tipo de poda es una práctica que propicia aumentos en el crecimiento y en la capacidad fotosintética durante el periodo de producción en vivero de dicha especie, lo cual repercute en el desempeño favorable en campo. No obstante, al ser estas, respuestas de los efectos de la remoción del control apical (Wilson 2000), su eficacia depende de la intensidad de poda aplicada.

Otra de las prácticas con efectos sobre la calidad de las planta, es la fertilización en vivero. Además de influenciar el crecimiento y la capacidad fotosintética de la planta, su importancia radica en la construcción y acumulación de reservas que favorecen la removilización de los nutrimentos cuando la disponibilidad es limitada. De acuerdo con Chapin et al. (1990), Timmer (1997) y Salifu y Timmer (2003), la acumulación de reservas sólo ocurre mediante un consumo de lujo. Diversos regímenes de fertilización se han establecido para promover tal estatus nutrimental. Sin embargo, reportes de varios trabajos destacan que la fertilización exponencial garantiza dicha condición (Timmer 1997, Salifu y Timmer 2003, Duan et al. 2013).

El efecto de la poda aérea y del régimen de fertilización exponencial no ha sido documentado en *S. humilis*. Posiblemente, al igual que en otras especies forestales, dichas prácticas mejoren la calidad de planta de esta especie. Por tal motivo, a través de la evaluación de diversos indicadores morfológicos y fisiológicos, y de un ensayo de prueba de calidad, en el presente estudio se examina el efecto de estas prácticas.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en el interior de un invernadero localizado en el Vivero del Postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, donde una temperatura media de 30 °C día y 15 °C noche, un fotoperiodo de 16 h y una humedad relativa de 70% -85% se controlaron.

Se recolectó semilla de *S. humilis* de la región de Tierra Caliente del estado de Guerrero, México. En el mes de agosto de 2012, se usaron 1000 semillas que fueron previamente escarificadas y puestas en remojo durante 24 h en agua corriente para sembrarse directamente en “pellets” de turba comprimida Jiffy-7 Forestry®. Se sembró una semilla por pellet. La fase de germinación y emergencia se estabilizó durante la última semana de agosto de 2012. Siete semanas después (19 de octubre de 2012), se seleccionaron 384 plantas uniformes en altura (9-10 cm) y se organizaron en grupos de 16 planta, cada grupo correspondió a una unidad experimental. Seis combinaciones de tratamientos con cuatro repeticiones resultantes de un arreglo factorial 3x2 se asignaron aleatoriamente a cada una de las 24 unidades experimentales en un diseño completamente aleatorizado. Un factor fue la poda aérea con tres niveles (sin poda o 0%, poda al 25 % y poda al 50 %), el otro factor fue la fertilización con dos niveles (fertilización tradicional [FT] y fertilización exponencial [FEX]). Los tratamientos sin poda y fertilización tradicional (FT), y su combinación, se consideraron como testigo.

La aplicación de los tratamientos inició cuando las plantas ya habían agotado la mayor cantidad de las reservas nutrimentales contenidas en el endospermo (22 de octubre de 2012). La poda aérea se aplicó una sola vez junto con la primera fertilización, y consistió en la remoción de la proporción del tallo con follaje tomando como referencia la longitud entre el segundo nudo y el ápice del vástago. Adicionalmente, los tratamientos de fertilización se aplicaron del 22 de Octubre al 28 de Diciembre de 2012. Dichos tratamientos se diseñaron para un periodo de 10 semanas,

considerando como base de cálculo las concentraciones de nitrógeno (N) en follaje de plántulas de la especie estudiada.

El FT, tomó como referencia el programa de fertilización para especies forestales tropicales utilizando fertilizantes Peters® propuesto por PRONARE-CONAFOR (Aldana y Aguilera 2003) y se ajustó a formulaciones comerciales basadas en la fase de desarrollo de la planta. Con este régimen de fertilización, durante las primeras tres semanas a partir del inicio de los tratamientos, las plantas recibieron seis aplicaciones (dos por semana) de Peters Professional® Plant Starter™ (9 N: 45 P₂O₅:15 K₂O) en concentraciones de 25 mg N·L⁻¹; con la misma frecuencia, durante las cuatro semanas posteriores, las plantas recibieron ocho aplicaciones de Peters Professional® General Purpose™ (20 N: 10 P₂O₅:20 K₂O) en concentraciones de 50 mg N·L⁻¹, y finalmente, durante las últimas tres semanas, se suministraron seis aplicaciones de Peters Professional® Conifer Finisher™ (4 N: 25 P₂O₅:35 K₂O) en concentraciones de 50 mg N·L⁻¹.

El FEX se diseñó para suplir nutrimentos en forma exponencial incrementando las tasas de adición de fertilizante. Los cálculos se basaron en una función exponencial descrita por Timmer (1997) (ecuación 1):

$$(1) N_T = N_S (e^{rt} - 1) + N_{(t-1)}$$

Donde t es la duración del periodo de crecimiento en semanas, N_T es la cantidad de fertilizante aplicado en un día específico t , N_{t-1} es la cantidad acumulativa de fertilizante suministrado en un tiempo específico (incluyendo la aplicación previa), y N_S contenido inicial de N en plantas recién germinadas (7.12 mg N planta⁻¹). N_S se determinó mediante el análisis de una muestra compuesta por 30 plántulas recién germinadas elegidas al azar.

El factor r es la tasa de adición relativa de nutrimentos para incrementar N_S al nivel final de $(N_T + N_S)$ la cual se determinó por la función derivada de la ecuación 2:

$$(2) r = (\ln [N_T / N_S + 1][e^{rt} - 1] / x)$$

Donde N_T es la cantidad óptima de fertilizante necesario para alcanzar los requerimientos de las planta. Debido a la escasa información sobre aspectos nutrimentales en esta especie; N_T (27.78 mg N planta⁻¹) se determinó a partir de la cantidad de N aplicado por planta con el esquema de fertilización tradicional. De la misma manera que el FT, la frecuencia de aplicaciones de fertilizante fue de dos veces por semana, por lo tanto $x = 20$. Las dosis obtenidas (mg N planta⁻¹) en cada aplicación se multiplicaron por 32. Dicha cifra correspondió a la cantidad de plantas fertilizadas por L de solución nutritiva en ambos tratamientos. Con estos valores, se determinaron las concentraciones (mg N·L⁻¹) de nutrimentos en la solución nutritiva. Las concentraciones específicas de N aplicado se muestran en la Figura 1. Para todas las aplicaciones del FEX se utilizó Peters Professional® General Purpose™ (20 N: 20 P₂O₅:20 K₂O).

El pH y la conductividad eléctrica se ajustaron a las recomendaciones hechas por Landis (1989). Posterior a cada aplicación, los restos de fertilizante sobre las hojas se removieron con agua (libre de fertilizante). Adicionalmente, cada semana se efectuaron riegos de lavado. El fertilizante aplicado fue la única fuente de nutrimentos debido a que durante todo el experimento se usó agua destilada.

Tres semanas después de la última fertilización (21 de enero de 2013), se tomó una muestra al azar de 16 plantas por tratamiento (cuatro de cada repetición), a las cuales se les midió: la altura de la parte aérea, el diámetro del tallo a la altura del cuello de la raíz, la tasa de fotosíntesis neta y el contenido de clorofila; de esas 16, únicamente a 12 (por tratamiento) se les determinó el área foliar, el peso seco de la parte aérea y radical, y la concentración de nutrimentos (nitrógeno, fósforo y potasio).

La altura (cm) y el diámetro (mm), se midieron con una regla graduada en mm y con un vernier digital marca Mitutoyo, respectivamente. Con ambas observaciones se calculó el índice de robustez (IR) cociente que resulta al

dividir la altura de la parte aérea entre el diámetro a la altura del cuello (Johnson y Cline 1991). La tasa de fotosíntesis neta (TFN [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]) se midió con un CIRAS -2 (PP Systems, Haverhill, Ma, EE. UU.) de 09.00 – 12.00 h tiempo local y el contenido de clorofila (CC [unidades SPAD]) se determinó indirectamente con un medidor de clorofila portátil Minolta SPAD 502 Plus (Spectum Technologies Inc., Plainfield, IL. EE. UU). Estas últimas dos mediciones se realizaron en las mismas hojas, las cuales previamente se seleccionaron con base en criterios de similitud en la edad fisiológica.

Específicamente sobre las laminas de las hojas, el área foliar (AF [cm^2]) se midió con un medidor de área (3100; Li-Cor Biosciences, Lincoln, Ne, EE. UU.). La determinación de los pesos secos de la parte aérea y radical, incluyendo los de las láminas de las hojas, se efectuaron después de que estos componentes se secaron en una estufa a 70°C durante 72 h. Con los datos de los pesos secos (g) de ambas estructuras (incorporando el peso de las láminas a la parte aérea de su respectiva planta) y con las observaciones de altura y diámetro, se calculó el índice de calidad de Dickson (ICD) con base en la siguiente ecuación (Dickson et al. 1960):

$$\text{ICD} = \frac{\text{Biomasa total seca (g)}}{\frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

Finalmente, a partir de muestras compuestas (tres por tratamiento) de tejido vegetal (planta completa), se determinó la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), por el método de micro-kjeldahl, mediante fotoclorimetría por reducción con Molibdo-Vanadato y con espectrofotometría de emisión de flama, respectivamente. Las observaciones de biomasa total seca y las concentraciones de los nutrimentos se usaron para determinar el contenido de N, P y K.

Posteriormente, para evaluar la calidad de planta bajo estrés nutrimental, se estableció un ensayo en febrero de 2013. Para este fin, se construyó una cama de 30 cm de profundidad con sustrato de tezontle rojo para garantizar que la disponibilidad de nutrimentos fuera escasa o nula. Se utilizaron 10

plantas por tratamiento elegidas al azar y se colocaron en la cama en hileras teniendo un total de 60 plantas bajo un diseño experimental completamente aleatorizado.

El ensayo finalizó en Mayo de 2013. Durante ese lapso (cuatro meses), las plantas se regaron periódicamente con agua destilada para evitar el suministro externo de nutrimentos. Se efectuaron dos mediciones de altura (cm) y diámetro del tallo (mm); una al inicio y la otra al final el ensayo. Con los valores obtenidos se calcularon las tasas de crecimiento relativo mensual con base en la siguiente ecuación (Pallardy 2008):

$$TCR = \left(\frac{\ln X_2 - \ln X_1}{\Delta t} \right)$$

Donde X_1 y X_2 son las variables medidas en el tiempo de la primer y segunda evaluación, respectivamente, y Δt es el intervalo de tiempo entre las dos mediciones.

La comparación de los efectos de los factores y sus interacciones sobre los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad se realizó a través del análisis de la varianza (ANAVA). Los efectos se consideraron estadísticamente significativos cuando el valor de P fue menor a 0.05. Cuando los efectos resultaron significativos, las diferencias estadísticas entre medias se identificaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher ($\alpha = 0.05$). Los supuestos del ANAVA (normalidad y homogeneidad de varianzas) se validaron. Transformaciones logarítmicas y raíz cuadrada se realizaron en casos donde los supuestos no se cumplieron. El análisis estadístico de los datos se hizo con el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2012). En el caso de la concentración y contenido de N, P y K no se realizó análisis estadístico, únicamente se reportan los valores promedio por muestra compuesta; sin embargo, para examinar e interpretar la respuesta de los nutrimentos analizados a los tratamientos aplicados, se utilizó el método gráfico de vectores desarrollado por Timmer y Stone (1978) y descrito por López y Alvarado (2010). Adicionalmente, dado que la prueba de calidad se diseño especialmente para simular condiciones

de baja fertilidad y por consiguiente evaluar el desempeño de las plantas en virtud de sus reservas nutrimentales, las tasas de crecimiento relativo mensual se analizaron por tratamiento y no por factores, de esa manera se relaciona la influencia del estatus nutrimental con el crecimiento de las plantas.

Resultados

Criterios morfológicos y fisiológicos de calidad

De acuerdo con el ANAVA, los criterios morfológicos y fisiológicos de calidad evaluados no presentaron efectos significativos por la interacción de la poda aérea y del régimen de fertilización, pero si por los efectos principales de cada factor (Cuadro 1).

Favoreciendo los valores más elevados sobre las variables en las cuales tuvieron influencia, el tratamiento sin poda y el régimen de fertilización FEX ejercieron efectos significativos (Cuadro 2).

En el tratamiento sin poda, las respuestas más contrastantes relacionadas con los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad se presentaron en el PSA, PSR, AF y TFN (Cuadro 2). El testigo (sin poda) acumuló 17% más en biomasa aérea con relación a las plantas podadas al 25%, y 47 % con las podadas al 50%. El mismo efecto sucedió con el PSR, en cuyo caso, el testigo sin podar acumuló 24% y 50% más en biomasa radical con relación al tratamiento de poda al 25% y 50%, respectivamente. Adicionalmente, el testigo también mostró el AF más elevada, ya que las plantas sin podar tuvieron entre 40% y 36% más de área foliar con respecto a las plantas podadas al 25% y 50%. Finalmente, plantas de dicho tratamiento obtuvieron ganancias en la tasa de fotosíntesis alrededor de 49% en comparación con las del tratamiento de poda al 25% y 32% con las del 50%.

Con respecto al tratamiento de fertilización FEX, también destacó con respuestas contrastantes sobre el PSA y el AF, pues las plantas fertilizadas con dicho régimen incrementaron 17% más en biomasa aérea y más de

50% en área foliar comparadas con las fertilizadas con el régimen FT. Variables fisiológicas tales como el contenido de clorofila (CC) y la tasa de fotosíntesis neta (TFN) de igual manera fueron afectadas significativamente por el régimen FEX debido a que las plantas sometidas a tal régimen presentaron 20% más en CC y 60% más en TFN que las sometidas al régimen de fertilización tradicional (Cuadro 2).

Concentración y contenido de N, P y K

Con base en los resultados de laboratorio se tiene que existen diferencias en el estatus nutrimental de las plantas en respuesta a los tratamientos aplicados. En comparación con las plantas que recibieron la combinación de tratamientos T1 (testigo), las plantas que recibieron las combinaciones de tratamientos T4, T5 y T6 incrementaron la concentración y contenido de N en 126% y 157%, 75% y 67%, y 364% y 260%, respectivamente. Para el caso del P, con aumentos en 53% y 74%, y 57% y 21%, para la concentración y contenido de este nutrimento, la combinación de tratamientos T4 y T6 fueron superiores al testigo. Finalmente, en relación con el K, sólo la combinación de tratamiento T6 fue mejor al testigo con valores de 55% más en concentración y 20% más en contenido (Cuadro 3).

Ensayo de prueba de calidad en sustrato escaso de nutrimentos (Tezontle)

Relacionado con el desempeño de las plantas en términos de crecimiento durante la prueba de calidad, el ANAVA indicó efectos significativos ($F_{[5,54]} = 3.4$, $P = 0.0096$) y altamente significativos ($F_{[5,54]} = 4.91$, $P = 0.0009$) para altura y diámetro, respectivamente. Siendo las plantas del T4 las que tuvieron las tasas de crecimiento relativo más elevadas (Cuadro 4).

Discusión

Criterios morfológicos y fisiológicos de calidad

De acuerdo con los resultados de este estudio, en plantas de *S. humilis*, la poda aérea ya sea al 25% o 50% no es una práctica que mejora la calidad

morfológica o fisiológica, excepto si los tratamientos de podas están acompañados del tratamiento con fertilización FEX, pues el tratamiento sin poda favoreció los mejores valores sobre los indicadores de calidad evaluados (Cuadro 2). Debido a que los tratamientos de poda aérea implicaron para las plantas un estrés por la pérdida de biomasa aérea, las respuestas en crecimiento analizadas a través del diámetro, PSA, ICD y AF reflejaron tal efecto (Cuadro 2). En condiciones naturales, se ha observado que tras sufrir una defoliación por consumo, las plantas acumulan carbohidratos no estructurales para compensar la pérdida de tejido mediante el rebrote (Kozlowski 1992). Dado a que la parte aérea pierde parcial y temporalmente la capacidad de producir fotosintatos, la única manera para formar y acumular tales solutos es la canalización de recursos hacia el almacenamiento, como lo establece Chapin et al. (1990); sin embargo, de acuerdo con Berendse et al. (2007), la asignación de recursos hacia el almacenamiento compite directamente con el crecimiento. Al no experimentar las plantas del tratamiento sin poda tal condición, su crecimiento no se vio interrumpido.

El crecimiento de las distintas especies forestales está adaptado a mantener un balance positivo de carbono mediante los patrones de asignación de biomasa entre la parte aérea y radical, según Ericsson (1995). De esa manera, con incrementos en biomasa aérea, se derivan incrementos en biomasa radical, tal como se expresó en plantas sin podar (Cuadro 2).

En otras especies forestales ha sido documentado el efecto benéfico de las podas aéreas como práctica para mejorar la calidad de planta. Tal es el caso de los trabajos realizados por Cetina et al. (1999, 2001). Dichos autores podaron plantas de *Pinus greggii* con las mismas intensidades probadas en el presente estudio (25% y 50%), pero en cambio, obtuvieron mayores incrementos en la acumulación de biomasa seca tanto aérea como radical, en el aérea foliar y en la tasa de fotosíntesis, contrastando así con los resultados obtenidos por posibles diferencias entre especies. Por otra parte, Chapin et al. (1990) indican que las variaciones en la capacidad de almacenar carbohidratos y aprovecharlos para recuperarse después de una

poda, son las que determinan el grado en que la remoción del control o dominancia apical resulta favorable para las distintas especies forestales.

A diferencia de los tratamientos de poda, la hipótesis de que la carga exponencial de nutrimentos mejora los atributos morfológicos y fisiológicos de calidad es soportada por los resultados obtenidos en este estudio. No existen reportes particulares en esta especie; no obstante, el efecto favorable del suministro de nutrimentos en forma exponencial sobre el crecimiento y demás características relacionadas con la calidad de planta durante la fase de producción en vivero ha sido estudiado por Qu et al. (2003), Salifu y Timmer (2003), Issac et al. (2011) y Duan et al. (2013). Según Timmer (1997), al ajustarse al crecimiento exponencial de las planta, esta técnica suministra adecuadamente, de acuerdo con los requerimientos en cada fase de crecimiento, la cantidad de nutrimentos que favorecen el crecimiento. Las respuestas en los criterios morfológicos y fisiológicos de calidad evaluados en este estudio denotaron dicho efecto (Cuadro 2).

La promoción de un mayor crecimiento aéreo derivado del crecimiento y la expansión foliar propició el aprovechamiento de recursos (luz, CO₂); de esa manera, el incremento de la TFN por efecto de tal régimen de fertilización FEX fue evidente (Cuadro 2). Cuesta et al. (2010) reportaron altas tasas fotosintéticas en plantas de *Pinus halepensis* cuando estas disponían de un área foliar grande; lo cual es consistente con lo indicado por Villar-Salvador et al. (2012), quienes destacan la ventaja que tiene una planta grande en captar y aprovechar recursos para promover aumentos en la tasa de fotosíntesis que inducen mayores ganancias fotosintéticas que satisfacen las demandas energéticas para el mantenimiento de la biomasa existente y la síntesis de nuevos tejidos (Kozlowski 1992). Sin embargo, tanto el crecimiento de la planta como su capacidad fotosintética son dependientes de la condición nutrimental ya sea en condiciones de vivero (Villar-Salvador et al. 2012) o naturales (Wright et al. 2011). Evidencias de campo, aportadas por Pasquini y Santiago (2011), han demostrado que, en parte, ambos procesos son limitados por los nutrimentos minerales. A pesar de ello, Cuesta et al. (2010), no atribuyeron la capacidad fotosintética de plantas de

Pinus halepensis a la concentración de N en sus tejidos; siendo que alrededor del 75% de N es invertido en los cloroplastos para ser usado en la fotosíntesis (Berendse et al. 2007). Posiblemente estos contrastes radican en las condiciones particulares de cada experimento, pero principalmente debido a que la tasa de ganancia de carbono está en función de la tasa fotosintética, respiración y pérdida de tejidos (Kitajima 2007), lo cual puede variar en cada especie y entorno de crecimiento.

Concentración y contenido de N, P y K

Con base en lo establecido por Chapin et al. (1990), la cantidad de reservas almacenadas y acumuladas, determina el grado en el que la planta será capaz de aprovecharlas para la síntesis de compuestos bioquímicos que favorecen el crecimiento y otras funciones. En efecto, la cantidad de reservas nutrimentales (N, P y K) fue superior en plantas fertilizadas con el régimen FEX (Cuadro 3), demostrando así, la eficacia de este régimen de fertilización para propiciar el incremento de dichas reservas, lo cual es esencial ante condiciones de campo donde la disponibilidad de nutrimentos es limitada. De acuerdo con Kim et al. (1999), las reservas nutrimentales de la planta declinan en el sitio de plantación debido a la dilución de los nutrimentos en los tejidos, lo cual ocurre cuando no hay disponibilidad externa de nutrimentos por competencia con otra vegetación (Timmer 1997), o porque los suelos exhiben una severa degradación (Griscom y Ashton 2011).

Como se puede apreciar, el beneficio de la fertilización exponencial en relación con el régimen de fertilización tradicional (testigo), las podas aéreas también influyeron en la respuesta. De acuerdo con interpretaciones descritas por López y Alvarado (2010), un consumo de lujo, caracterizado por aumentos en el crecimiento, la concentración y el contenido del nutrimento de interés, se logró en N y P con la combinación de tratamientos sin poda + FEX (T4); sin embargo, para todos los nutrimentos analizados, la concentración y contenido fue preeminente con la combinación de tratamientos T6 (Poda al 50% + FEX), aunque para estos casos la biomasa producida fue inferior. Según dichos autores, estos efectos señalan

toxicidad; no obstante, en el caso del presente estudio, la disminución del crecimiento fue por la poda y no por exceso de nutrientes aplicados (Figura 2).

Ensayo de prueba de calidad en sustrato escaso de nutrientes (Tezontle)

Los resultados aportados por la prueba de calidad en tezontle (Cuadro 4) coinciden con los resultados reportados por Timmer (1997), donde se indica que las reservas nutrimentales acumuladas mediante un consumo de lujo favorecen un crecimiento superior, a diferencia de cuando las reservas de nutrientes son escasas. Respuestas similares fueron obtenidas por Heiskanen et al. (2009) en plantas de *Picea abies*, donde se hizo evidente la eficacia de este régimen de fertilización para garantizar un establecimiento rápido en sitios pobres.

Sin embargo, un estudio realizado por Everett et al. (2007) señala lo contrario, ya que la adición de fertilizante en forma exponencial no mejoró el desempeño en campo de planta de *Pseudotsuga menziesii* var. *Glauca*, debido a que las plantas después de la fase de vivero exhibieron una morfología y un estatus nutrimental inferior o similar en relación con plantas sometidas a regímenes convencionales de fertilización.

Se han puntualizado diversos aspectos del porque algunas especies no responden satisfactoriamente a este régimen de fertilización. Al respecto, Burgess (1991) atribuyó el comportamiento a que especies con crecimiento rápido no se benefician completamente por dicho régimen de fertilización, principalmente porque las tasas de adición de fertilizante durante las fases iniciales de crecimiento pueden ser bajas e insuficientes para los requerimientos de las plantas. Sin embargo, tal como demuestran Duan et al. (2013), también hay tasas de adición de fertilizante que resultan tóxicas para las plantas, y de esa manera, el efecto no es favorable.

En este estudio, las dosis aplicadas que fueron de 17 mg N·L⁻¹ hasta los 412 mg N·L⁻¹ utilizando una fórmula completa de fertilizante soluble (20 N: 20

P₂O₅:20 K₂O), garantizaron un efecto favorable en la formación de reservas para soportar el crecimiento de las plantas cuando estas no disponían de un suministro externo, aun cuando, según interpretaciones emitidas por López y Alvarado (2010), señalaron toxicidad con la combinación del régimen FEX y poda al 50%. Posiblemente esta especie, por su condición caducifolia, presenta alta capacidad de retranslocación que favorece el crecimiento.

Conclusiones

La poda aérea al 25% o 50%, no es una práctica que mejora la calidad de planta de *S. humilis*. En cambio, un suministro de nutrimentos en forma exponencial utilizando el esquema de fertilización especificado en este estudio promueve la producción de plantas de esta especie con características morfológicas y fisiológicas apropiadas para desempeñarse satisfactoriamente en condiciones donde la baja disponibilidad de nutrimentos es un factor limitante.

Cuadros

Cuadro 1. Resumen del ANAVA para los efectos de la poda aérea y del régimen de fertilización sobre los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad en plantas de *Swietenia humilis*.

Variables	Factores	Valor- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Diámetro	Poda aérea	$F(2,90) = 9.01$	0.0003[¶]
	Régimen de fertilización	$F(1,90) = 1.32$	0.2542
	Interacción	$F(2,90) = 1.47$	0.2362
Índice de robustez	Poda aérea	$F(2,90) = 3.01$	0.0542
	Régimen de fertilización	$F(1,90) = 5.25$	0.0243
	Interacción	$F(2,90) = 1.89$	0.1572
Peso seco aéreo	Poda aérea	$F(2,66) = 5.93$	0.0001
	Régimen de fertilización	$F(1,66) = 10.31$	0.0176
	Interacción	$F(2,66) = 0.01$	0.9900
Peso seco radical	Poda aérea	$F(2,66) = 10.01$	0.0002
	Régimen de fertilización	$F(1,66) = 1.28$	0.2614
	Interacción	$F(2,66) = 0.02$	0.9754
Índice de calidad de Dickson	Poda aérea	$F(2,66) = 6.75$	0.0022
	Régimen de fertilización	$F(1,66) = 0.56$	0.4572
	Interacción	$F(2,66) = 0.06$	0.9387
Área foliar	Poda aérea	$F(2,66) = 7.71$	0.0010
	Régimen de fertilización	$F(1,66) = 33.78$	<.0001
	Interacción	$F(2,66) = 0.70$	0.5025
Contenido de clorofila	Poda aérea	$F(2,90) = 0.24$	0.7910
	Régimen de fertilización	$F(1,90) = 26.34$	<.0001
	Interacción	$F(2,90) = 0.81$	0.4493
Tasa de fotosíntesis neta	Poda aérea	$F(2,90) = 40.88$	<.0001
	Régimen de fertilización	$F(1,90) = 175.3$	<.0001
	Interacción	$F(2,90) = 0.59$	0.5543

[¶]: Valores significativos ($P < 0.05$) están en formato de negritas.

Cuadro 2. Valores promedio de los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad evaluados en plantas de *Swietenia humilis* en respuesta a los tratamientos de poda aérea y fertilización.

Variables	Tratamientos de Poda			Tratamientos de Fertilización	
	Sin poda	Poda al 25%	Poda al 50%	FT [¶]	FEX ^{¶¶}
Diámetro (cm)	4.97 ± 0.11a	4.88 ± 0.11a	4.37 ± 0.11b		
IR [§] (cm/mm)				2.20 ± 0.06a	2.39 ± 0.06b
Peso seco aéreo (g)	1.16 ± 0.06a	0.99 ± 0.06b	0.79 ± 0.06c	0.90 ± 0.05a	1.06 ± 0.05b
Peso seco radical (g)	0.51 ± 0.03a	0.41 ± 0.03b	0.34 ± 0.03b		
ICD	0.36 ± 0.02a	0.31 ± 0.02a	0.25 ± 0.02b		
Área foliar (cm ²)	73.56 ± 4.07a	52.21 ± 4.07b	54.07 ± 4.07b	46.82 ± 3.33a	73.28 ± 3.33b
TFN [†] (μmol m ⁻² s ⁻¹)	3.54 ± 0.09a	2.37 ± 0.09b	2.69 ± 0.09c	2.18 ± 0.08a	3.55 ± 0.08b
CC [‡] (unidades SPAD)				31.83 ± 0.89a	38.28 ± 0.89b

¶FT: Fertilización tradicional; ¶¶FEX: Fertilización exponencial. §: Índice de robustez; †TFN: Tasa de fotosíntesis neta; ‡Contenido de clorofila. En cada conjunto de tratamientos, de acuerdo con DMS de Fisher $\alpha = 0.05$, medias (\pm E.E) con letras iguales no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Cuadro 3. Concentración y contenido de N, P y K en respuesta a los tratamientos de poda y fertilización en plantas de *Swietenia humilis*.

Combinación de tratamientos	Concentración (mg g ⁻¹)			Contenido (mg planta ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K
Sin poda + FT (T1[Testigo])	8.1	3.0	12.2	12.70	4.70	19.13
Poda al 25% + FT (T2)	8.1	2.4	11.4	10.56	3.13	14.87
Poda al 50% + FT (T3)	9.1	2.7	11.6	9.49	2.81	12.10
Sin Poda + FEX (T4)	18.3	4.6	11.3	32.60	8.19	20.13
Poda al 25% + FEX (T5)	14.2	3.2	11.5	21.16	4.77	17.14
Poda al 50% + FEX (T6)	37.6	4.7	18.9	45.68	5.71	22.96

Cuadro 4. Tasas promedio de crecimiento relativo en plantas de *Swietenia humilis* plantadas en condiciones de escasa o nula disponibilidad de nutrientes.

Combinación de tratamientos	Tasas de crecimiento relativo	
	Altura (cm cm ⁻¹ mes ⁻¹)	Diámetro (mm mm ⁻¹ mes ⁻¹)
Sin poda + FT (T1[Testigo])	0.10 ± 0.01a¶	0.05 ± 0.01ab
Poda al 25% + FT (T2)	0.09 ± 0.01a	0.04 ± 0.01a
Poda al 50% + FT (T3)	0.12 ± 0.01ab	0.08 ± 0.01bc
Sin Poda + FEX (T4)	0.15 ± 0.01b	0.11 ± 0.01d
Poda al 25% + FEX (T5)	0.11 ± 0.01a	0.05 ± 0.01abc
Poda al 50% + FEX (T6)	0.14 ± 0.01b	0.09 ± 0.01cd

¶ De acuerdo con DMS de Fisher $\alpha = 0.05$, medias con letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Figuras

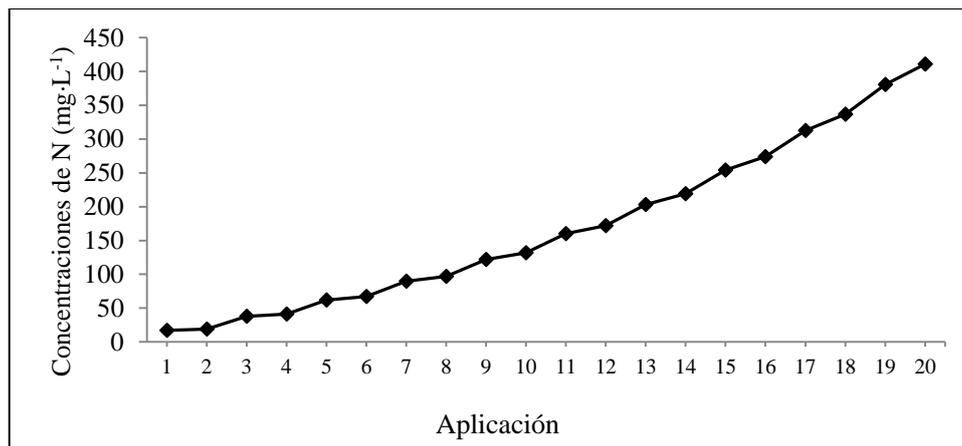


Figura1. Concentraciones de N por litro de solución nutritiva suministrado en cada aplicación del régimen de fertilización exponencial.

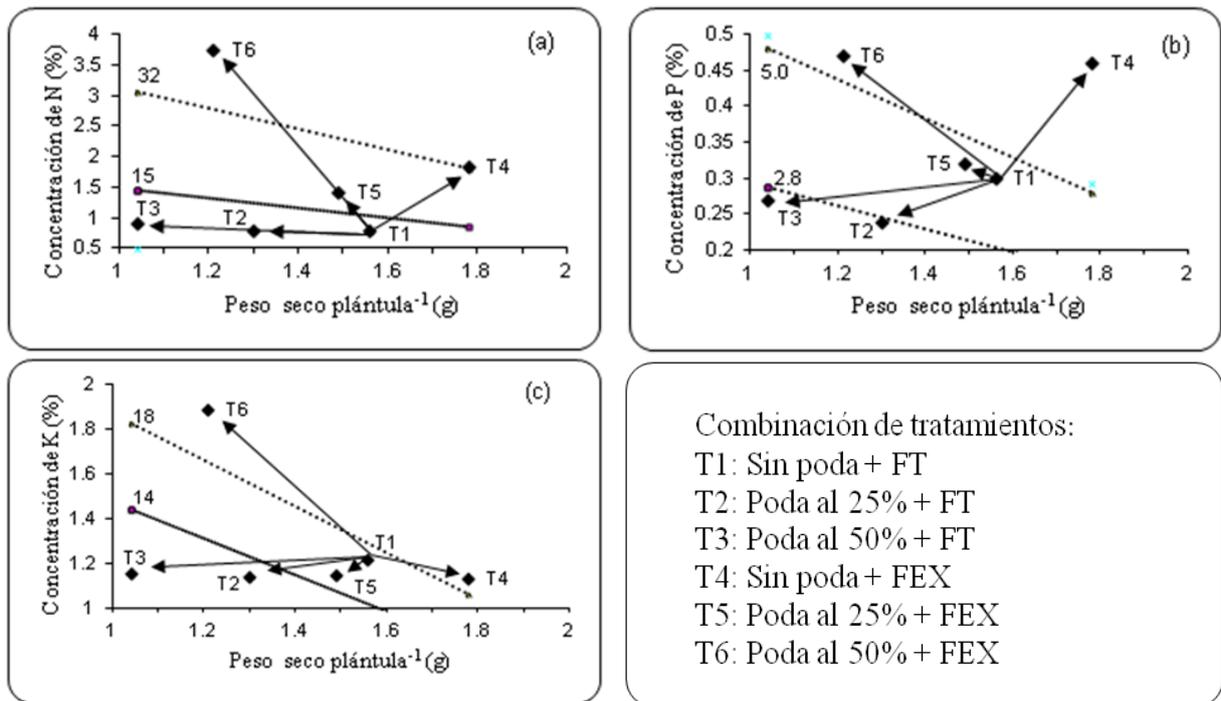


Figura 2. Nomogramas de respuesta del nitrógeno (a) fósforo (b) y potasio (c) a la aplicación de distintas intensidades de poda aérea y a diferentes regímenes de fertilización de *S. humilis* durante la fase de vivero.

CAPÍTULO II

Prácticas culturales que afectan la calidad de planta de *Enterolobium cyclocarpum* en vivero²

Resumen

Debido a que uno de los principales problemas que enfrenta *Enterolobium cyclocarpum* en el sitio de plantación es la presencia de malezas, es necesario producir planta con características apropiadas que puedan superar esas condiciones adversas durante la reforestación. Por ello, tras evaluar las respuestas de diversos indicadores morfológicos y fisiológicos, y de un ensayo de prueba de calidad; se examinaron los efectos de tres intensidades de poda aérea (sin poda, poda al 25% y poda al 50%) y de tres regímenes de fertilización (tradicional, exponencial y convencional) durante el periodo de producción en vivero. Este planteamiento se realizó con base en que la poda aérea y la fertilización en vivero son prácticas culturales que mejoran la calidad de planta siempre y cuando la intensidad de poda y el régimen de fertilización sean apropiados. No hubo una sinergia entre ambas prácticas; sin embargo, cada factor influyó de manera independiente en los indicadores evaluados. La poda aérea tanto al 25% como al 50% no mejoró las características de *E. cyclocarpum*. En cambio, el suministro de nutrimentos en forma convencional sí tuvo un efecto favorable en comparación con los demás regímenes de fertilización. Los resultados aportados por el ensayo de prueba de calidad establecieron que las características adquiridas por efecto de la fertilización convencional permiten a las plantas desempeñarse satisfactoriamente cuando la disponibilidad de nutrimentos es limitada.

Palabras clave: Parota, poda aérea, fertilización exponencial, fertilización convencional.

Abstrat

The presence of weeds is one the most important troubles that faces *Enterolobium cyclocarpum* in the planting site. Due to this, it is necessary to

² Artículo con formato de la revista iForest - Biogeosciences and Forestry

produce seedlings with appropriate traits to overcome this harsh conditions during the reforestations. Therefore, after to evaluate the responses of various physiological and morphological indicators of quality, and a quality test trial; were examined the effects of three intensities of top pruning (0%, 25%, and 50%) and three regimens of fertilization (traditional, exponential, and conventional) during the nursery production stage, on the basis of that the top pruning and the fertilization are cultural practices that improve seedling quality as long as the intensity of pruning and fertilization regime are appropriate. There was no synergy between the two practices; yet, each factor influenced independently on the indicators evaluated. The top pruning at 25% and 50% did not improve the seedling quality of *E. cyclocarpum*. In contrast, the supply of nutrients in conventional way if had a favorable effect. The results of quality test trial established that the acquires features by effect of conventional fertilization they allow to the seedlings performance successfully when the availability of nutrients is limited.

Key words: Parota, top pruning, exponential fertilization, conventional fertilization.

Introducción

Durante los últimos años, en México y Centroamérica, el establecimiento de árboles multipropósito en terrenos ganaderos o agrícolas se ha incrementado debido a los beneficios ambientales y económicos que estos aportan. En este contexto, la Parota (*Enterolobium cyclocarpum*), es una de las especies más demandadas para reforestar en fincas que buscan incrementar su rentabilidad mediante la inclusión de especies maderables con alto valor comercial y ecológico (Ibrahim y Zapata 2012).

Sin embargo, a menudo las reforestaciones con esta especie (usando planta producida en vivero) enfrentan diversas condiciones en el sitio de plantación que limitan el desempeño de las plantas. La presencia de malezas es uno de los factores adversos más importantes porque afectan la disponibilidad de luz, agua y nutrientes. Para solucionar esta problemática, es necesario realizar deshierbes, los cuales deben ser meticulosos y frecuentes. No obstante, el cumplimiento de estas condiciones lleva a un incremento considerable de los costos de operación (Ibrahim y Zapata 2012).

Enfocados en solucionar el mismo problema, pero en otras especies forestales y en otras regiones, Jobidon et al. (1998) y Jobidon et al. (2003), demostraron que usando planta competitiva, se logran tasas favorables de supervivencia y crecimiento sin necesidad de deshierbes meticulosos y frecuentes. Una planta es competitiva cuando (por sus características morfológicas y fisiológicas) se adapta rápidamente en el sitio de plantación (Grossnickle 2012). De acuerdo con Villar-Salvador et al. (2012) plantas grandes y con altos contenidos de reservas nutrimentales satisfacen esta condición.

Si se utiliza germoplasma de calidad y se aplican prácticas culturales adecuadas, es posible que en un ciclo normal de producción se obtengan plantas con las características mencionadas. Desafortunadamente, a causa de la poca atención que ha recibido la especie *E. cyclocarpum* en este aspecto, las prácticas culturales que promueven tales características se

desconocen o no son bien comprendidas. Ejemplos de ellas, son la poda aérea y la fertilización.

La poda aérea como práctica cultural no es común; sin embargo, Cetina et al. (1999, 2002) han demostrado con plantas de *Pinus greggii* que si se emplea adecuadamente, es decir, con una intensidad apropiada, por los efectos asociados con la remoción de la dominancia o control apical (Wilson 2000), esta mejora el crecimiento de las plantas en vivero y en campo.

En cambio, la fertilización en vivero si es una práctica ampliamente usada, y se conoce que su eficacia depende, en parte, del régimen implementado. De acuerdo con Oliet et al. (2013) y Villar-Salvador et al. (2013), un régimen ideal de fertilización debe satisfacer las demandas del crecimiento, pero también debe promover contenidos altos de reservas nutrimentales para que las plantas sean capaces de desempeñarse satisfactoriamente aun cuando la disponibilidad de nutrimentos en el sitio de plantación sea limitada. Para *E. cyclocarpum* estas reservas serían importantes mientras se adapta al terreno y logra fijar nitrógeno. Timmer (1997), señala que sólo a través de un consumo de lujo, la planta logra acumular dichas reservas y que el régimen de fertilización más apropiado para inducir tal consumo, es el exponencial. Sin embargo, Oliet et al. (2013) indican que por los diferentes patrones de crecimiento entre especies, el régimen exponencial no es factible en todos los casos.

Si se considera que los efectos favorables en la calidad de planta están en función de la intensidad de poda aérea y del régimen de fertilización implementado, es importante estudiar detalladamente sus efectos. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de dichas prácticas en plantas de *E. cyclocarpum* mediante la evaluación de diversos indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad, y de un ensayo de prueba de calidad.

Materiales y métodos

Todas las fases experimentales involucradas en este estudio, se realizaron en condiciones controladas de invernadero. Siendo la temperatura, el

fotoperiodo y la humedad relativa, las variables que se controlaron con promedios de 30°C día y 15°C noche, 16 h, y 70%-85%, respectivamente. El invernadero donde se instaló el experimento se localiza en el Vivero del Postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Producción de planta

Se recolectó semilla de *E. cyclocarpum* de la región de Tierra Caliente del estado de Guerrero, México. En el mes de noviembre de 2012, se usaron 700 semillas uniformes en tamaño que fueron previamente escarificadas con una lija y puestas en remojo durante 24 h en agua corriente para sembrarse directamente en contenedores de plástico de 380 mL llenados con sustrato compuesto por turba de musgo (*peat moss*), perlita y vermiculita en proporciones 2:1:1. Se sembró una semilla por contenedor.

Diseño experimental y tratamientos aplicados

Tres semanas después de la siembra (07 de diciembre de 2012), con base en criterios de uniformidad en altura (9-10 cm) se seleccionaron 432 plantas y se hicieron grupos de 12. Cada grupo correspondió a una unidad experimental. Nueve combinaciones de tratamientos con cuatro repeticiones resultantes de un arreglo factorial 3X3 se asignaron aleatoriamente a cada una de las 36 unidades experimentales en un diseño completamente aleatorizado. El primer factor involucrado fue la poda aérea con tres niveles (sin poda, poda al 25% y poda al 50%). El segundo fue el régimen de fertilización también con tres niveles (fertilización tradicional [T], fertilización exponencial [EXP] y fertilización convencional [CO]).

Los tratamientos de poda al 25% y 50%, consistieron en la remoción de la fracción de biomasa aérea correspondiente a la intensidad, para lo cual se tomó como referencia la longitud entre la primera hoja y el ápice del vástago. Estos se aplicaron una sola vez junto con la primera fertilización.

Los tratamientos de fertilización se aplicaron dos veces por semana durante las tres principales fases de crecimiento (Jacobs y Wilkinson 2009), las cuales, para *E. cyclocarpum*, abarcaron un periodo de 10 semanas.

El nivel T de fertilización representó el programa de fertilización mediante el cual se producen especies forestales tropicales en contenedor para las reforestaciones en México. Este programa emplea como fuente de nutrimentos a fertilizantes hidrosolubles Peters® específicos para cada fase de crecimiento de la planta (Aldana y Aguilera 2003) (Cuadro 1).

El nivel EXP de fertilización se diseñó para incrementar la adición de nutrimentos en forma exponencial en cada fecha de aplicación. Los cálculos se basaron en una función exponencial descrita por Timmer (1997) (ecuación 1):

$$(1) N_T = N_S (e^{rt} - 1) - N_{(t-1)}$$

Donde $t=10$ es la duración del periodo de crecimiento en semanas, N_T es la cantidad de fertilizante aplicado en un día específico t , N_{t-1} es la cantidad acumulativa de fertilizante suministrado en un tiempo específico (incluyendo la aplicación previa), y N_S contenido inicial de N en plantas recién germinadas (9.72 mg N planta⁻¹). N_S se determinó mediante el análisis de una muestra compuesta por 50 plantas recién germinadas.

El factor r es la tasa de adición relativa de nutrimentos para incrementar N_S al nivel final de $(N_T + N_S)$ la cual se determinó por la función derivada de la ecuación 2:

$$(2) r = (\ln [N_T / N_S + 1]) / [(e^{rt} - 1) / x]$$

Donde N_T es la cantidad óptima de fertilizante necesario para alcanzar los requerimientos de las plantas. Por la escasa información sobre aspectos nutrimentales en esta especie; N_T (25.40 mg N planta⁻¹) se determinó a partir de la cantidad de N aplicado por planta en el programa de fertilización tradicional. Se programaron dos aplicaciones semanales durante las 10 semanas del periodo de crecimiento, entonces $x = 20$. Las dosis obtenidas

(mg N planta⁻¹) en cada aplicación se multiplicaron por 24. Dicha cifra corresponde a la cantidad de plantas fertilizadas por L de solución nutritiva en todos los tratamientos. Con estos valores, se determinaron las concentraciones (mg N·L⁻¹) de nutrimentos en la solución nutritiva. Las concentraciones específicas de N aplicado se muestran en la Figura 1. Para todas las aplicaciones del EXP se utilizó fertilizante hidrosoluble Peters Professional® General Purpose™ (20 N: 20 P₂O₅:20 K₂O).

El nivel CO de fertilización involucró la aplicación de dosis iguales (140 mg N·L⁻¹) en cada una de las 20 fertilizaciones realizadas a lo largo de las diez semanas. Esta dosis se derivó de los cálculos obtenidos en el régimen EXP (Figura 1). De igual manera que en el tratamiento EXP, la fuente de nutrimentos fue Peters Professional® (20 N: 20 P₂O₅:20 K₂O).

Los fertilizantes aplicados fueron la única fuente de nutrimentos pues en todas las aplicaciones y riegos se utilizó agua destilada. El pH y la conductividad eléctrica se mantuvieron en los rangos óptimos recomendados por Landis (1989).

Variables evaluadas

Tres semanas después de la última fertilización (10 de marzo de 2013), se tomaron al azar 12 plantas por tratamiento a las cuales se les evaluaron diversas características morfológicas y fisiológicas relacionadas con indicadores de calidad de planta. Por el lado de las características morfológicas, de acuerdo con la metodología empleada por Cetina et al. (1999), se midió la altura de la parte aérea (cm), el diámetro del tallo a la altura del cuello de la raíz (mm), el peso seco de la parte aérea (g) y el peso seco de la parte radical (g). Con las observaciones de altura de la parte aérea y diámetro a la altura del cuello, se determinó el índice de robustez (IR); cociente que resulta al dividir estos dos componentes (Johnson y Cline 1991), mientras que con los valores de los pesos secos tanto de la parte aérea como radical se calculó la relación parte aérea-raíz (R: PSA/PSR) (Johnson y Cline 1991). Finalmente, el índice de calidad de Dickson (ICD)

también se obtuvo siguiendo la ecuación establecida por Dickson et al. (1960).

$$ICD = \frac{\text{Biomasa total seca (g)}}{\frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}$$

En relación con los indicadores fisiológicos de calidad, se evaluó la tasa de fotosíntesis neta (TFN [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]), el contenido de clorofila (unidades SPAD) y el contenido de N, P y K. Mientras que la tasa de fotosíntesis neta se midió con un CIRAS -2 (PP Systems, Haverhill, Ma, EE. UU.) de 09.00 – 12.00 h y el contenido de clorofila se determinó indirectamente con un medidor de clorofila portátil Minolta SPAD 502 Plus (Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL. EE. UU), el contenido de N, P y K se obtuvo con los datos registrados de biomasa y concentraciones de dichos nutrimentos. Las concentraciones de los nutrimentos se determinaron en muestras compuestas de tejido vegetal (planta completa). El N se determinó por el método de micro-kjeldahl, el P mediante fotoclorimetría por reducción con Molibdo-Vanadato y el K a través de espectrofotometría de emisión de flama.

Ensayo de prueba de calidad en Tezontle

Posteriormente, dado que la baja disponibilidad de nutrientes es uno de los factores más limitantes a causa de la presencia de malezas, se evaluó la calidad de planta ante condiciones de estrés nutrimental estableciéndose un ensayo en marzo de 2013. Para este fin, se construyó una cama de 30 cm de profundidad con sustrato de tezontle rojo (escoria volcánica) para garantizar que la disponibilidad de nutrimentos fuera escasa o nula. Se utilizaron 6 plantas por tratamiento elegidas al azar y se colocaron en la cama en hileras teniendo un total de 54 plantas bajo un diseño experimental completamente aleatorizado.

El ensayo finalizó en Mayo de 2013. Durante ese lapso (tres meses), las plantas se regaron frecuentemente con agua destilada para evitar el suministro externo de nutrimentos. Se efectuaron dos mediciones de altura (cm) y diámetro del tallo (mm); una al inicio y la otra al final el ensayo. Con

los valores obtenidos se calcularon las tasas de crecimiento absoluto (TCA) mensual con base en la siguiente ecuación:

$$TCA = \left(\frac{T_2 - T_1}{\Delta T} \right)$$

Donde T_1 y T_2 son las variables medidas en el tiempo de la primera y segunda evaluación, respectivamente, y Δt es el intervalo de tiempo entre las dos mediciones.

Análisis estadístico

Para comparar los efectos de los factores y sus interacciones en los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) considerando el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los efectos se consideraron estadísticamente significativos cuando el valor de P fue menor a 0.05. Cuando los efectos resultaron significativos, las diferencias estadísticas entre medias se identificaron mediante la prueba de diferencia significativa honesta (DSH) de Tukey ($\alpha= 0.05$). El análisis estadístico de los datos se hizo con el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2012). En el caso del contenido de N, P y K no se realizó análisis estadístico, únicamente se reportan los valores promedio por muestra compuesta. Adicionalmente, debido a que la prueba de calidad se diseñó especialmente para simular condiciones de baja fertilidad y por consiguiente evaluar el desempeño de las plantas en virtud de sus reservas nutrimentales, las tasas de crecimiento absoluto mensual se analizaron por tratamiento y no por factores, de esa manera se determinó la influencia de las reservas nutrimentales sobre el crecimiento de las plantas.

Resultados

Indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad

Al finalizar el periodo de crecimiento en vivero, en los diferentes indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad evaluados, no se presentaron efectos

por la interacción entre la poda aérea y el régimen de fertilización; no obstante, la influencia independiente de cada uno de los factores se hizo evidente (Cuadro 2).

Mientras que la poda aérea influyó únicamente sobre los atributos morfológicos (con excepción del índice de calidad de Dickson); el régimen de fertilización tuvo efectos en la mayoría de las variables, excepto en la tasa de fotosíntesis neta (Cuadro 2). A pesar de la discrepancia entre el número de variables afectadas por cada factor, se destaca que en la mayoría de las variables los efectos ejercidos fueron altamente significativos (Cuadro 2).

Por parte del factor poda aérea, los valores más elevados en cada una de las variables morfológicas, se obtuvieron con el tratamiento sin poda (Cuadro 3). En cambio, los valores más altos de las variables relacionadas al régimen de fertilización se promovieron con el tratamiento de fertilización convencional (Cuadro 4).

Contenido de N, P y K

En comparación con las plantas sometidas a la combinación de factores T1 (testigo), las plantas que recibieron el tratamiento T4 (sin poda + fertilización convencional) presentaron los contenidos más altos de N y P con incrementos que oscilaron en 119% y 12%, respectivamente. Referente al K, el contenido más elevado se manifestó en plantas de la combinación de factores testigo (Cuadro 5).

Ensayo de prueba de calidad en Tezontle

Cuando las plantas se sometieron a condiciones de estrés nutricional mediante el ensayo de prueba de calidad en tezontle, existieron diferencias altamente significativas referente con las tasas de crecimiento absoluto mensual en altura y diámetro (<0.0001 y 0.0002 , respectivamente). Las plantas que recibieron la combinación de factores T7 (sin poda + EXP), destacaron con su crecimiento en altura, pues en comparación con las plantas del T1, las del T7 casi triplicaron mensualmente la tasa de

crecimiento absoluto (Cuadro 6). Sin embargo, no sucedió lo mismo en el crecimiento en diámetro, ya que en este caso las plantas del T4 (sin poda + CO), crecieron 1.5 veces más por mes en relación con las del T1 (testigo) (Cuadro 6).

Discusión

Poda aérea

Con base en los resultados obtenidos, no hay evidencia para definir si la poda aérea promueve en *Enterolobium cyclocarpum* características apropiadas para desempeñarse satisfactoriamente en sitios competitivos. Cuando se podó el 25% de la biomasa aérea, las plantas respondieron favorablemente al índice de robustez (IR) y a la relación peso seco aéreo-peso seco radical (R: PSA/PSR), los cuales asocian a valores bajos con mejor calidad; sin embargo, los valores más elevados en altura, diámetro, peso seco aéreo y radical correspondieron a las plantas que no fueron podadas (Cuadro 4).

Cuando Cetina et al. (1999) podaron planta de *Pinus greggii* empleando las mismas intensidades probadas en este estudio, reportaron el mismo efecto tal y como sucedió en *E. cyclocarpum*, el crecimiento en altura y diámetro se redujo; sin embargo, incrementos en la biomasa de la parte aérea y radical se estimularon, principalmente en plantas a las que se les removió el 50% de su biomasa aérea. En las variables de biomasa total, radical y aérea, los resultados de ambos estudios son diferentes ya que en este estudio las biomásas fueron menores en las plantas podadas. Según estos autores, en *P. greggii* los aumentos en biomasa aérea y radical se derivaron porque esta práctica incrementó la formación y crecimiento de más ramas laterales con su respectiva área foliar. Efecto que está en línea con lo establecido por Wilson (2000), pero no con lo reportado por Hawkins y Henry (1999), quienes al analizar esta práctica en plantas de *Thuja plicata* encontraron que la poda no favorece la acumulación de biomasa en dicha especie. Sin embargo, el enfoque de podas implementado por Hawkins y Henry (1999) es distinto al de Cetina et al. (1999) y al de este trabajo.

Comparando los resultados obtenidos por Cetina et al. (1999) con los de este trabajo, hipotéticamente, hay dos razones por las cuales *E. cyclocarpum* no respondió positivamente a la poda. En primer lugar, se atribuye a las diferencias entre especies, ya que los patrones de crecimiento y ramificación entre una especie de clima templado y una tropical varían (Cline y Harrington 2007). En segundo lugar, a la edad de las plantas, pues cuando se podaron las plantas de *P. greggii* empleadas por Cetina et al. (1999), estas tenían seis meses de edad; en cambio, las de *E. cyclocarpum* de este estudio sólo un mes. Posiblemente, entre menor sea la edad de la plantas, estas son más vulnerables al estrés que esta práctica ocasiona por la remoción de biomasa. Si el estrés ocasionado no provoca que las plantas mueran, estas demandarán grandes cantidades de recursos para recuperarse mediante el rebrote. Para rebrotar, las plantas canalizan recursos hacia el almacenamiento para formar las reservas necesarias en dicho proceso (Chapin et al. 1990). No obstante, la formación de reservas compite directamente por recursos con el crecimiento, originando que entre más altas sean las demandas, el crecimiento se afecte en mayor medida (Berendse et al. 2007).

A pesar de que la capacidad de crecimiento y acumulación de biomasa en *E. cyclocarpum* se vio afectada por las podas, tal limitación permitió que las plantas tuvieran un crecimiento más equilibrado, pues como se indicó al principio, las plantas que recibieron poda al 25% fueron más robustas y tuvieron una mejor relación entre la parte aérea y radical (Cuadro 2). Tal efecto, tiene implicaciones para un mejor manejo, ya que a menudo la poda aérea se usa como una herramienta correctiva para uniformizar los lotes de planta cuando estos exhiben heterogeneidad en tamaño a causa de un manejo inapropiado durante el periodo de producción. Esta práctica tiene un efecto contraproducente sobre las plantas en el lugar de plantación (Mc Nabb y VanderSchaaf 2005).

Régimen de fertilización

A pesar de que diversos estudios, entre los que destacan los realizados por Salifu y Timmer (2003), Schmal et al. (2011) e Isaac et al. (2011), demuestran que la técnica o régimen de fertilización exponencial es una práctica que no sólo favorece un crecimiento superior, sino que también promueve la acumulación de reservas nutrimentales, en este estudio no ocurrió de esta manera. En plantas de *E. cyclocarpum*, el suministro de nutrientes en forma exponencial no promueve características adecuadas para desempeñarse satisfactoriamente en sitios competitivos porque en la mayoría de los indicadores que relacionan a valores más elevados con mejor calidad de planta (altura, diámetro, peso seco aéreo y radical, índice de calidad de Dickson y contenido de clorofila); la fertilización convencional resultó eficaz. Así mismo, los contenidos de N y P, y las respuestas de crecimiento obtenidas en el ensayo de prueba de calidad en tezontle hacen patente lo anterior.

Considerando lo que establecen Oliet et al. (2013), es posible que por los diferentes patrones de crecimiento entre especies los efectos del régimen de fertilización no siempre son favorables; sin embargo, tal hipótesis es controversial ya que Timmer (1997) indica que una de las principales ventajas de esta técnica es que se ajusta adecuadamente al crecimiento de las plantas para suministrar la cantidad de nutrientes requeridos en cada etapa.

En otros trabajos, como los realizados por Everett et al. (2007) y Hawkins et al. (2005), la adición de fertilizante en forma exponencial tampoco promovió un efecto favorable. Pues cuando dichos autores examinaron los efectos de regímenes convencionales contra exponenciales en plantas de *Pseudotsuga menziesii* var. *Glauca* y *Tsuga heterophylla*, estas respondieron mejor a la fertilización convencional.

Estudiando las mismas especies que Everett et al. (2007) y Hawkins et al. (2005), Burgess (1991) atribuye el comportamiento a que especies con crecimiento rápido no se benefician completamente por dicho régimen de

fertilización, principalmente porque las tasas de adición de fertilizante durante las fases iniciales de crecimiento pueden ser bajas e insuficientes para los requerimientos de las planta.

Aunque tales autores basaron sus conclusiones en coníferas, tal hipótesis podría extrapolarse a *E. cyclocarpum* pues esta especie presenta un crecimiento rápido durante su fase de producción en vivero (Ngulube 1989).

Conclusiones

En *Enterolobium cyclocarpum* la poda aérea no tuvo un efecto favorable en la mayoría de los indicadores de calidad evaluados; sin embargo, dicha práctica propició un crecimiento más equilibrado; es decir, las plantas que se podaron, especialmente al 25%, mostraron mejor relación entre la parte aérea y radical, y más robustez.

La fertilización tradicional ni la exponencial mejora la calidad de planta de *E. cyclocarpum*. En cambio, la fertilización convencional si promueve tal condición. Para garantizar que las plantas de dicha especie dispongan de características adecuadas para ser competitivas en sitios donde la disponibilidad de nutrientes es limitada, durante su periodo de producción en vivero es necesario fertilizar empleando el régimen convencional especificado en este estudio.

Cuadros

Cuadro 1. Programa de fertilización empleado en el tratamiento de fertilización tradicional (T).

Fase de crecimiento	Duración (semanas)	Fertilizante empleado	Dosis (mg N·L ⁻¹)
Establecimiento	3	9 N: 45 P ₂ O ₅ :15 K ₂ O	25
Crecimiento rápido	4	20 N: 10 P ₂ O ₅ :20 K ₂ O	50
Endurecimiento	3	4 N: 25 P ₂ O ₅ :35 K ₂ O	50

Cuadro 2. Análisis de varianza para los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad evaluados en plantas de *Enterolobium cyclocarpum*. Efectos de la poda aérea y del régimen de fertilización.

F.V.	AL ¹	DM ²	PSA ³	PSR ⁴	R:PSA/PSR ⁵	IR ⁶	ICD ⁷	TFN ⁸	CC ⁹
Valor -P (α=0.05) [§]									
Poda aérea	<0.000	0.000	<0.000	<0.000	0.044	<0.000	0.059	0.839	0.208
R.F [¶]	<0.000	0.003	<0.000	0.000	<0.000	0.000	0.003	0.173	0.045
Interacción	0.253	0.555	0.352	0.606	0.404	0.208	0.927	0.188	0.251

¶: régimen de fertilización. 1: altura; 2: diámetro; 3: peso seco aéreo; 4: peso seco radical; 5: relación peso seco aéreo – peso seco radical; 6: índice de robustez; 7: índice de calidad de Dickson; 8: tasa de fotosíntesis neta; 9: contenido de clorofila. §Valores –P significativos están en formato de negritas.

Cuadro 3. Valores promedio de los indicadores morfológicos de calidad evaluados en plantas de *Enterolobium cyclocarpum* en respuesta a los tratamientos de poda aérea.

Variables	Intensidad de poda aérea		
	Sin poda	Poda al 25%	Poda al 50%
Morfológicas			
Altura (cm)	28.52 ± 0.47a [¶]	20.98 ± 0.47c	22.49 ± 0.47b
Diámetro (mm)	4.41 ± 0.05a	4.11 ± 0.05b	4.28 ± 0.05a
Peso seco aéreo (g)	1.40 ± 0.03a	1.05 ± 0.03b	1.10 ± 0.03b
Peso seco radical (g)	0.77 ± 0.02a	0.60 ± 0.02b	0.61 ± 0.02b
Índice de robustez	6.47 ± 0.12a	5.13 ± 0.12b	5.28 ± 0.12b
R: PSA/PSR	1.83 ± 0.03a	1.75 ± 0.03a	1.80 ± 0.03a

¶ De acuerdo con DSH de Tukey α = 0.05, medias con letras iguales dentro de la misma fila no son significativamente diferentes (P>0.05).

Cuadro 4. Valores promedio de los indicadores morfológicos y fisiológicos de calidad evaluados en plantas de *Enterolobium cyclocarpum* en respuesta a los regímenes de fertilización.

Variables	Régimen de fertilización		
	Tradicional	Convencional	Exponencial
<i>Morfológicas</i>			
Altura (cm)	22.16 ± 0.47b [¶]	25.51 ± 0.47a	24.33 ± 0.47a
Diámetro (mm)	4.26 ± 0.05ab	4.40 ± 0.05a	4.15 ± 0.05b
Peso seco aéreo (g)	1.20 ± 0.03b	1.34 ± 0.03a	1.02 ± 0.03c
Peso seco radical (g)	0.63 ± 0.02b	0.71 ± 0.02a	0.64 ± 0.02b
Índice de robustez	5.21 ± 0.12b	5.81 ± 0.12a	5.86 ± 0.12a
ICD	0.24 ± 0.01b	0.27 ± 0.01a	0.24 ± 0.01b
R: PSA/PSR	1.61 ± 0.03b	1.89 ± 0.03a	1.89 ± 0.03a
<i>Fisiológicas</i>			
CC (unidades SPAD)	28.36 ± 1.00a	31.30 ± 1.00a	28.08 ± 1.00a

¶ De acuerdo con DSH de Tukey $\alpha = 0.05$, medias con letras iguales dentro de la misma fila no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Cuadro 5. Concentración y contenido de N, P y K en respuesta a los tratamientos de poda y fertilización

Combinación de factores	Concentración (mg g ⁻¹)			Contenido (mg planta ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K
T1= Sin poda + T	13.2	10.9	23.9	25.98	21.14	47.04
T2= Poda al 25% + T	24.4	13.0	22.3	37.05	19.74	33.86
T3= Poda al 50% + T	20.3	11.6	20.6	29.42	16.81	29.85
T4= Sin poda + CO	23.3	09.8	12.2	56.75	23.54	29.71
T5= Poda al 25% + CO	12.2	08.4	16.3	22.27	15.33	29.76
T6= Poda al 50% + CO	27.4	08.4	12.5	52.18	15.99	23.80
T7= Sin poda + EXP	23.3	09.2	17.9	49.08	19.38	37.70
T8= Poda al 25% + EXP	24.4	09.0	19.1	39.19	14.45	30.67
T9= Poda al 50% + EXP	29.4	08.1	17.6	52.59	14.48	31.48

Cuadro 6. Tasas promedio de crecimiento absoluto en plantas de *Enterolobium cyclocarpum* plantadas en condiciones de escasa o nula disponibilidad de nutrientes.

Combinación de factores	Tasas de crecimiento absoluto	
	Altura (cm mes ⁻¹)	Diámetro (mm mes ⁻¹)
Sin poda + T (T1[Testigo])	1.24 ± 0.55bc	0.40 ± 0.02ab
Poda al 25% + T (T2)	0.86 ± 0.55c	0.24 ± 0.02b
Poda al 50% + T (T3)	0.97 ± 0.55c	0.22 ± 0.02b
Sin Poda + CO (T4)	2.54 ± 0.55ab	0.60 ± 0.02a
Poda al 25% + CO (T5)	2.79 ± 0.55a	0.46 ± 0.02ab
Poda al 50% + CO (T6)	2.98 ± 0.55a	0.56 ± 0.02a
Sin Poda + EXP (T7)	3.30 ± 0.55a	0.45 ± 0.02ab
Poda al 25% + EXP (T8)	2.76 ± 0.55a	0.47 ± 0.02ab
Poda al 50% + EXP (T9)	3.23 ± 0.55a	0.46 ± 0.02ab

¶ De acuerdo con DSH de Tukey $\alpha = 0.05$, medias con letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Figuras

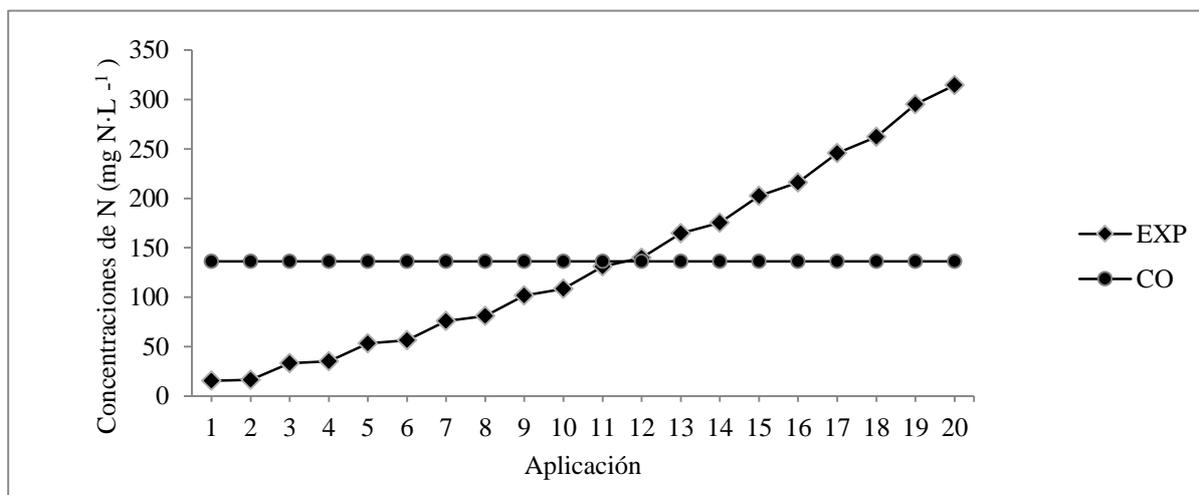


Figura 1. Concentraciones de N suministrado en cada aplicación de los regímenes de fertilización exponencial (EXP) y convencional (CO).

CONCLUSIONES GENERALES

- La poda aérea aplicada durante la fase de crecimiento rápido no mejora las características morfológicas y fisiológicas de *Swietenia humilis*. En cambio, para *Enterolobium cyclocarpum*, aunque tal práctica no tuvo un efecto favorable en la mayoría de los indicadores de calidad evaluados, dicha práctica propició un crecimiento más equilibrado; es decir, las plantas que se podaron, especialmente al 25%, mostraron mejor relación entre la parte aérea y radical, y más robustez.
- Para *Swietenia humilis* la fertilización exponencial mejora la calidad de planta. Mientras que para *Enterolobium cyclocarpum*, el mismo resultado se logra suministrando nutrimentos en forma convencional.

LITERATURA CITADA

- Aldana BR, Aguilera RM (2003). Procedimientos y cálculos básicos, útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. Programa Nacional de Reforestación. Comisión Nacional Forestal. México. 46 p.
- Berendse F, de Kroon H, Braakhekke WG (2007). Acquisition, use and loss of nutrients. In: Functional Plant Ecology 2nd. ed. (Pugnaire FI, Valladares F eds). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 259-283.
- Benitez G, Equihua M, Pulido SMT (2002). Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente 8(1): 5-12.
- Burgess D (1991). Western hemlock and Douglas-fir seedling development with exponential rates of nutrient addition. Forest Science 37: 54-57.
- Cetina AVM, González HVA, Vargas HJJ (1999). El manejo en vivero de *Pinus greggii* Engelm. y la calidad de planta. Agrociencia 33: 423-430.
- Cetina AVM, Ortega DML, González HVA, Vargas HJJ, Colinas LMT, Villegas MA (2001). Fotosíntesis y contenido de carbohidratos de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la poda y al régimen de riego en vivero. Agrociencia 35: 599-607.
- Cetina AVM, González HVA, Ortega DML, Vargas HJJ, Villegas MA (2002). Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequia en vivero. Agrociencia 36: 233-241.
- Chapin FSIII, Schulze ED, Mooney HA (1990). The ecology and economics of storage in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 21: 423-447.
- Cline MG, Harrington CA (2007). Apical dominance and apical control in multiple flushing of temperate woody species. Canadian Journal of Forest Research 37: 74-83.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)(2012). Evaluación complementaria del PROCOREF ejercicio fiscal 2011. Comisión Nacional Forestal. 325 p.
- Cuesta B, Villar-Salvador P, Puértolas J, Jacobs DF, Rey B JM (2010). Why do large, nitrogen rich seedlings better resist stressful transplanting conditions? A physiological analysis in two functionally contrasting Mediterranean forest species. Forest Ecology and Management 260: 71-78.

- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW (2012). InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36: 10-13.
- Duan J, Xu C, Jacobs DF, Ma L, Wei H, Jiang L, Ren J (2013). Exponential nutrient loading shortens the cultural period of *Larix olgensis* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(5): 409-418.
- Ericsson T (1995). Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant and Soil* 168-169: 205-214.
- Esen D, Yildiz O, Esen U, Edis S, Çetintas C (2012). Effects of cultural treatments, seedling type and morphological characteristics on survival and growth of wild cherry seedlings in Turkey. *iForest* 5: 283-289.
- Everett KT, Hawkins BJ, Kiiskila S (2007). Growth and nutrient dynamics of Douglas-fir seedlings raised with exponential or conventional fertilization and planted with or without fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 2552-2562.
- Gordon JE, Hawthorne WD, Sandoval G, Barrance AJ (2003). Trees and farming in the dry zone of southern Honduras II: the potential for tree diversity conservation. *Agroforestry Systems* 59: 107-117.
- Griscom HP, Ashton MS (2011). Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* 261: 1564-1579.
- Grossnickle SC (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43: 711-738.
- Hawkins BJ, Henry G (1999). Nutrition and bud removal affect biomass and nutrient allocation in Douglas-fir and western red cedar. *Tree Physiology* 19 (3): 197-203.
- Hawkins BJ, Burgess D, Mitchell AK (2005). Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 35(4): 1002-1016.
- Heiskanen J, Lahti M, Luoranen J, Rikala R (2009). Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of outplanted Norway spruce seedlings. *Silva Fennica* 43(2): 249-260.
- Ibrahim M, Zapata P (2012). Producción de madera en sistemas silvopastoriles In: Producción de madera en sistemas agroforestales

- de Centroamérica. (Detlefsen G, Somarriba E eds). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, pp. 112-132.
- Isaac ME, Adjei EO, Issaka RN, Timmer VR (2011). A strategy for tree-perennial crop productivity: nursery phase nutrient additions in cocoa-shade agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 81: 147-155.
- Jobidon R, Charette L, Bernier PY (1998). Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of *Picea mariana* (mill.) BSP seedlings planted in three different environments. *Forest Ecology and Management* 103(2-3): 293-305.
- Jobidon R, Roy V, Cyr G (2003). Net effect of competing vegetation on selected environmental conditions and performance of four spruce seedling stock sizes after eight years in Québec (Canada). *Annals of Forest Science* 60(7): 691-699.
- Jacobs DF, and Wilkinson KM (2009). Planning crops and developing propagation protocols. In: *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries Vol. 1. Nursery management. Agric. handbook 730* (Dumroese RK, Luna T, Landis TD eds). U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, pp: 33-53.
- Johnson JD, Cline ML (1991). Seedling quality of Southern Pines. In: *Forest Regeneration Manual* (Duryea ML, Dougherty PM eds). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp, 143-159.
- KimYT, Colombo SJ, Hickie DF, Noland TD (1999). Amino acid, carbohydrate, glutathione, mineral nutrient and water potential changes in non-water-stressed *Picea mariana* seedlings at T_{fer} transplanting. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 416-424.
- Kitajima, K. 2007. Seed and seedling ecology. In: *Functional Plant Ecology* 2nd. ed. (Pugnaire FI, Valladares F eds). CRC Press, Boca Raton, FL, pp, 549-579.
- Kozlowski TT (1992). Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *Botanical Review* 58: 108-222.
- Landis TD (1989). Mineral nutrients and fertilization. In: *The container tree nursery manual. Vol. 4. Agric. Handbook.674* (Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP eds). Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, pp: 1-67.
- Landis TD (2009). The target plant concept. In: *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries Vol. 1. Nursery management. Agric. handbook 730* (Dumroese RK, Luna T, Landis TD eds). U.S.

- Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, pp: 15-31.
- López LMA, Alvarado LJ (2010). Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16(1): 99-108.
- Mc Nabb K, VanderSchaaf C (2005). Growth of graded sweetgum 3 years after root and shoot pruning. *New Forests* 29: 313-320.
- Mexal JG, Cuevas RRA, Negreros-Castillo P, Paraguirre LC (2002). Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, México. *Forest Ecology and Management* 168: 125-133.
- Ngulube MR (1989). Seed germination, seedling growth and biomass production of eighth Central-American multipurpose trees under nursery conditions in Zomba, Malawi. *Forest Ecology and Management* 27: 21-27.
- Oliet JA, Puértolas J, Planelles R, Jacobs DF (2013). Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: a Mediterranean perspective. *New Forests* 44: 649-669.
- Orozco GG, Muñoz FHJ, Rueda SA, Sígala RJA, Prieto RJA, Garcia MJJ (2010). Diagnóstico de la calidad de planta en los viveros forestales del estado de Colima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2): 134-145.
- Pallardy SG (2008). *Physiology of woody plants*. 3rd. ed. Academic Press, Ma, USA.
- Pasquini SC, Santiago LS (2011). Nutrients limit photosynthesis in seedlings of a lowland tropical forest tree species. *Oecologia* 168(2): 311-319.
- Qu L, Quoreshi AM, Koike T (2003). Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two larch species raised under different fertilization regimes. *Plant and Soil* 255: 293-302.
- Rodríguez TDA (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Mundi-Prensa, México.
- Salifu KF, Timmer VR (2003). Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1287-1294.
- Schmal JL, Jacobs DF, Reilly CO' (2011). Nitrogen budgeting and quality of exponentially fertilized *Quercus robur* seedlings in Ireland. *European Journal of Forest Research* 130: 557-567.

- Timmer VR, Stone EL (1978). Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Science Society of America Proceedings* 42: 125-130.
- Timmer VR (1997). Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests* 13: 279-299.
- Villar-Salvador P, Puértolas J, Cuesta B, Peñuelas JL, Uscola M, Heredia-Guerrero N, Rey B JM (2012). Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests* 43: 755-770.
- Villar-Salvador P, Puértolas JL, Nicolás-Peragón JL, Benito LF, Domínguez-Lerena S (2013). Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? *New Forests* DOI: 10.1007/s11056-013-9374-8.
- Wilson BF (2000). Apical control of branch growth and angle in woody plants. *American Journal of Botany* 87(5): 601-607.
- Wright SJ, Yavitt JB, Wurzbarger N, Turner BL, Tanner EVJ, Sayer EJ, Santiago LS, Kaspari M, Hedin LO, Harms KE, Garcia MN, Corre MD (2011). Potassium, phosphorus or nitrogen limit root allocation, tree growth and litter production in a lowland tropical forest. *Ecology* 92(8): 1616-1625.
- Zida D, Tigabu M, Sawadogo L, Oden PC (2008). Initial seedling morphological characteristics and field performance of two sudanian savanna species in relation to nursery production period and watering regimes. *Forest Ecology and Management* 255: 2151-2162.