



Fertilización de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth en vivero: efectos en la calidad de planta

Nursery fertilization of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth: effects on seedling quality

Erickson Basave-Villalobos^{1,3}, Víctor Manuel Cetina-Alcalá^{*}, Miguel Ángel López-López¹, Carlos Trejo², Carlos Ramírez-Herrera¹ y Víctor Conde-Martínez²

¹ Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Postgrado en Ciencias Forestales. Texcoco, Estado de México, México.

² Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Postgrado en Botánica. Texcoco, Estado de México, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Guadiana, CIRNOC. Durango, Durango, México.

* Autor de correspondencia. vicmac@colpos.mx

RESUMEN

La fertilización en vivero es una práctica cultural con potencial para mejorar la calidad de planta, pero es necesario definir niveles de fertilización adecuados para cada especie. Este estudio evaluó el efecto de niveles de fertilización en la calidad de planta de *Pithecellobium dulce*, durante la etapa de vivero. Los niveles aplicados fueron nueve; consistieron en regímenes en los que se combinó un fertilizante de liberación controlada (FLC) 18-6-12, en tres dosis (4 g L⁻¹, 6 g L⁻¹ y 8 g L⁻¹ de sustrato) con un fertilizante hidrosoluble (FHS) 20-20-20, en concentraciones de nitrógeno de 0 mg L⁻¹, 75 mg L⁻¹ y 150 mg L⁻¹. El efecto de los regímenes de fertilización se determinó analizando índices morfológicos de calidad, tasas de asimilación neta (TAN) y estado nutrimental N-P-K en plantas de cuatro meses de edad. Una prueba de calidad fue diseñada para someter a las plantas a estrés en una condición de escasa fertilidad y pérdida de biomasa aérea, para evaluar capacidad de rebrote y crecimiento. Hubo diferencias estadísticas por efecto de los regímenes de fertilización. En general, la combinación de 8 g de FLC con 150 mg de nitrógeno por litro del FHS propició un incremento en la calidad morfológica y en la TAN de las plantas, aunque nutrimentalmente las respuestas principales fueron de suficiencia y dilución. En la prueba de calidad, las plantas tuvieron limitaciones para favorecer su rebrote o crecimiento según la cantidad de reservas nutrimentales. La fertilización con FLC y FHS tiene potencial para incrementar la calidad de planta de *P. dulce* en vivero.

PALABRAS CLAVE: nutrición mineral; restauración ecológica; reforestación; selva baja caducifolia.

ABSTRACT

Nursery fertilization is a cultural practice with potential to improve seedling quality, but it is necessary to define adequate fertilization levels for each specie. This study evaluated the effect of fertilization levels on seedling quality of *Pithecellobium dulce* during the nursery stage. The applied levels were nine; they consisted in regimes in which a controlled-release fertilizer (CRF) 18-6-12, in three doses (4 g L⁻¹, 6 g L⁻¹, and 8 g L⁻¹ of substrate) was mixed with a water-soluble fertilizer (WSF) 20-20-20, in concentrations of nitrogen of 0 mg L⁻¹, 75 mg L⁻¹, and 150 mg L⁻¹. The fertilization regimes effects were determined by assessing morphological attributes of seedling quality, net assimilation rates (NAR), and nutrimental status of N-P-K on four-month old seedlings. A seedling-quality test was designed to undergo the seedlings to a stress condition of both nutrient's deficiencies and biomass loss, thereby measuring their resprouting capacity and growth. Statistical differences were observed by the effects of the fertilization regimes. Overall, an increase of the morphological quality and NAR was promoted by the mix of 8 g of CRF with 150 mg N L⁻¹ of WSF, although the main responses in relation to the nutrimental status were of deficiency and dilution. In the seedling-quality test, the seedlings had limitations to induce either their resprouting or their growth according to the amount of nutrimental reserves. The fertilization with CRF and WSF have potential to enhance the seedling quality of *P. dulce* during nursery culture.

KEYWORDS: mineral nutrition; ecological restoration; reforestation; tropical dry forest.

INTRODUCCIÓN

En México, la reforestación es la principal actividad que se promueve para recuperar e incrementar la cobertura arbórea que se pierde a una tasa aproximada de 217 000 ha por año (Global Forest Watch, 2019). Cada año diversos proyectos se emprenden con ese propósito, en donde los viveros forestales tienen una participación determinante como proveedores de la planta (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2014).

A la fecha, la supervivencia baja es la problemática que prevalece en los programas de reforestación. Las estadísticas señalan que la mortalidad oscila en 50% en el primer año después de la plantación (Conafor, 2014). Algunos factores que influyen en la supervivencia baja son sequías, competencia con vegetación, pastoreo y baja fertilidad en los suelos. Además, la calidad deficiente de la planta es otra causa que contribuye a esos niveles bajos de supervivencia (Conafor, 2014). A este segundo aspecto se ha dado mayor atención debido a que es posible modificar con prácticas culturales las características morfológicas y fisiológicas de las plantas para aumentar la probabilidad de supervivencia en campo (Grossnickle, 2012; Grossnickle y MacDonald, 2018).

La fertilización en vivero es reconocida como una práctica esencial para mejorar la calidad de la planta que se produce en un sistema de envase con sustratos inertes (Chirino *et al.*, 2009; Cortina, Vilagrosa y Trubat, 2013). La fertilización ha sido evaluada en diversas especies forestales y los resultados confirman que esta mejora las características morfológicas y fisiológicas de las plantas y aumenta la probabilidad de un desempeño favorable en campo (Luis *et al.*, 2009; Villar-Salvador, Peñuelas, Nicolás-Peragón, Benito y Domínguez-Lerena, 2013; Villar-Salvador *et al.*, 2012). Sin embargo, un manejo nutrimental adecuado depende de las necesidades de la especie, el tipo de fertilizante y la dosis, para propiciar un estado nutrimental que incrementen las reservas nutrimentales para el crecimiento de las plantas sin provocar toxicidad (J. A. Oliet, Puértolas, Planelles y Jacobs, 2013); por lo tanto, es importante determinar regímenes de fertilización para

una nutrición correcta de las plantas (J. A. Oliet *et al.*, 2013; Rose, Haase y Arellano, 2004). Actualmente, la mayoría de los viveros forestales usan fertilizantes hidrosolubles de liberación controlada. Sin embargo, no se conocen los niveles adecuados de fertilizantes que se deben aplicar a una especie específica. Aunque existe información sobre los niveles óptimos de fertilización en vivero para varias especies forestales, la información es escasa para las especies de la Selva Baja Caducifolia, lo cual limita el conocimiento para su propagación en el contexto de calidad de planta (Bonfil y Trejo, 2010).

Este trabajo se enfoca a *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth porque esta especie es un elemento arbóreo característico de la selva baja caducifolia de la cuenca del Balsas (Fernández N., Rodríguez J., Arreguín S. y Rodríguez J., 1998) con la cual se pretende intensificar las reforestaciones porque es una leguminosa pionera de crecimiento rápido con usos múltiples. Los usos principales de *P. dulce* son como árbol de sombra, leña, cerco vivo, forraje y madera. También es fuente de alimento para el humano y vida silvestre (Olivares-Pérez, Avilés-Nova, Albarrán-Portillo, Rojas-Hernández y Castelán-Ortega, 2011; Palma García y González-Rebeles Islas, 2018).

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de regímenes de fertilización sobre la calidad de planta de *Pithecellobium dulce* en vivero. La hipótesis fue que los regímenes de fertilización el que se emplean dos tipos de fertilizante, FLC y FHS, en distintas dosis, incrementan la calidad de las plantas de *P. dulce* a través de la modificación de las características morfológicas y fisiológicas de estas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El estudio se realizó en condiciones controladas en un invernadero ubicado en el vivero forestal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (Montecillo, Texcoco, Estado de México, México). La temperatura máxima y mínima promedio fue 35 °C y 18 °C, respectivamente,



dentro del invernadero. La humedad relativa osciló entre 25% durante el día y 70% en la noche.

Material biológico y condiciones del experimento

Se recolectaron semillas de árboles de *P. dulce* en la comunidad La Bajada, Coyuca de Catalán en la Región de Tierra Caliente, Guerrero, México. Posteriormente, en el laboratorio, las semillas se seleccionaron con base en el tamaño y morfología similares. Las semillas, previamente desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio al 0.5%, y remojadas durante 18 h como tratamiento pregerminativo, se sembraron directamente en tubos de plástico rígido (polipropileno) de 380 mL en un sustrato que se elaboró con una mezcla de turba de musgo (“peat moss”), perlita y vermiculita en proporciones 2:1:1, y se adicionaron 4 g L⁻¹, 6 g L⁻¹ y 8 g L⁻¹ de fertilizante de liberación controlada Multicote (8)[®] 18-6-12+2MgO+ME (Haifa Chemicals Ltd.). Durante la etapa de crecimiento rápido, se aplicó una dosis de 0 mg, 375 mg y 750 mg de fertilizante hidrosoluble de propósito general 20-20-20+microelementos (Peters Professional[®] Special Purpose) con el riego, para obtener una concentración de nitrógeno de 0 mg L⁻¹, 75 mg L⁻¹ y 150 mg L⁻¹, respectivamente. Se

aplicaron tres riegos complementarios a capacidad de campo por semana. El pH se mantuvo entre 5.5 y 6.5, y la conductividad eléctrica entre 2.0 dS m⁻¹ y 3.0 dS m⁻¹.

Aplicación de tratamientos y diseño experimental

Nueve regímenes de fertilización se evaluaron con base en el fertilizante de liberación controlada (FLC) en tres dosis (4 g L⁻¹, 6 g L⁻¹ y 8 g L⁻¹ de sustrato) y una fertilización complementaria con el material hidrosoluble (FHS) en la etapa de crecimiento rápido en las dosis previamente descritas para obtener una concentración de nitrógeno de 0 mg L⁻¹, 75 mg L⁻¹ y 150 mg L⁻¹ (Tabla 1). El crecimiento rápido, considerado en el momento en que las plántulas perdieron sus cotiledones, fue a partir de la cuarta semana que se sembró. Dos aplicaciones de FHS por semana se realizaron durante ocho semanas.

El R1 fue el tratamiento testigo por ser el nivel menor de fertilización. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por 15 plantas, dispuestas en mesas de plástico diseñadas para los tubos de 380 mL. Se colocaron algunas plantas extra para descartar el efecto borde. Los tratamientos se establecieron en un diseño completamente al azar.

TABLA 1. Descripción de los niveles o regímenes de fertilización aplicados para evaluar su efecto en la calidad de planta de *Pithecellobium dulce* en vivero.

Régimen de fertilización	Descripción		
	Dosis de FLC (g L ⁻¹ de sustrato)	Dosis de FHS (mg)	Concentración de nitrógeno aplicada con el FHS (mg L ⁻¹)
R1	4	0	0
R2	4	375	75
R3	4	750	150
R4	6	0	0
R5	6	375	75
R6	6	750	150
R7	8	0	0
R8	8	375	75
R9	8	750	150

FLC= fertilizante de liberación controlada Multicote (8)[®] 18-6-12; FHS= fertilizante hidrosoluble 20-20-20 (Peters Professional[®] Special Purpose).

Medición de variables morfológicas y fisiológicas

A plantas de cuatro meses de edad de *P. dulce* se les determinaron diversas variables morfológicas y fisiológicas relacionadas con índices de calidad de planta. El tamaño de muestra fue de 15 plantas por tratamiento. Las variables morfológicas fueron: altura de la parte aérea (APA; cm) y el diámetro al cuello de la raíz (DCR; mm); la primera se determinó con una regla milimétrica y la segunda con un calibrador Mítutoyo® Digimatic CD-4" AX; el peso seco (cuasi anhidro) de la parte aérea de las plantas (PSA), su raíz (PSR) y el total (PST) se registraron con una balanza analítica (AND GR-120, A&D Company, Ltd), previo secado de cada parte en una estufa con circulación forzada de aire (FELISA® FE291-D) a 70 °C durante 72 h. Con los datos anteriores, se determinaron los índices morfológicos de calidad, como la relación parte aérea/raíz (R: PA/R) y el índice de calidad de Dickson (ICD), este último a partir de la fórmula siguiente (Birchler, Rose, Royo y Pardos, 1998):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de la raíz (g)}}}$$

En cuanto a las variables fisiológicas, se determinó la eficiencia fotosintética en términos de tasa de asimilación neta (TAN; mg cm⁻² dia⁻¹). El cálculo de la TAN requirió el muestreo destructivo de 15 plantas de cada tratamiento, al primer mes de edad y al final del experimento. En cada muestreo, se registró el peso seco de las plantas, siguiendo el procedimiento señalado anteriormente, también se les determinó el área foliar utilizando un medidor de área foliar (LI 3100C, LI-COR, Inc.). Los datos obtenidos se utilizaron para estimar la TAN conforme a la siguiente ecuación (Hunt, Causton, Shipley y Askew, 2002):

$$TAN = \frac{PST_2 - PST_1}{AF_2 - AF_1} * \frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{T_2 - T_1}$$

Donde:

PST= peso seco total (g) de las plántulas

AF= área foliar (cm²) de las plántulas en valores absolutos y logarítmicos (ln)

T= tiempo

En todos los casos 1 y 2 se refiere a la evaluación inicial y final respectivamente, con un intervalo entre ellas de 88 días.

También se analizó el estado nutrimental de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), valorado mediante la concentración (%) y el contenido (miligramo por planta) de cada nutrimento. El análisis nutrimental se hizo en hojas. Se analizaron tres muestras por tratamiento. La concentración del N se determinó mediante el método de micro-Kjeldahl; la concentración del P a través de determinación colorimétrica con complejo amarillo vanadato-molibdato y la concentración del K con espectrofotometría de emisión de flama. El contenido se estimó con los valores de concentración y peso seco total de las plantas. El estado nutrimental de las plántulas se diagnosticó con el método gráfico de vectores. La construcción de los gráficos se hizo con base en el procedimiento descrito por Haase y Rose (1995) donde se emplean valores relativos normalizados a 100 con respecto a los valores de referencia de concentración, contenido y biomasa del tratamiento testigo (R1). La interpretación de los nomogramas de vectores se respaldó en los trabajos de López-López y Alvarado-López (2010) y Timmer (1997).

Prueba de calidad de planta

Al término de la etapa de producción planta; es decir, a los cuatro meses de edad de las plantas, se estableció una prueba para evaluar la calidad de las plantas en el invernadero. La prueba consistió en trasplantar las plantas en un medio con baja o nula disponibilidad de nutrientes y posteriormente someterlas a estrés por pérdida de biomasa aérea (poda severa). Las plantas se enfrentan, comúnmente, a este tipo de condiciones cuando se reforestan sitios degradados por el alto pastoreo. Grossnickle y MacDonald (2018) establecieron que para evaluar el potencial de desempeño de una planta se deben considerar los atributos que corresponden a una condición anticipada del sitio. Para



simular las condiciones descritas, el trasplante se hizo en bolsas negras de polietileno de 15 L. Estas bolsas se llenaron con piedra volcánica (tezontle) de granulometría de 3 mm - 5 mm. Dos semanas después del trasplante, 50% de la biomasa de cada planta se removió para simular herbivoría. Durante la prueba, las plantas se regaron únicamente dos veces por semana.

El desempeño de las plantas se determinó en función de la capacidad de rebrote y crecimiento. Los rebrotes se contaron después de un mes de haberse podado. También, se calcularon las tasas de crecimiento absoluto en diámetro (TCAD) en un intervalo de cuatro y nueve meses con la fórmula $TCAD = \text{diámetro a la base del tallo en la evaluación final} - \text{diámetro a la base del tallo en la evaluación inicial} / \text{tiempo}$ (4 meses y 9 meses). En esta prueba, las plantas se colocaron en hileras de nueve plantas conforme a un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones. La unidad experimental fue una planta.

Análisis estadístico

El efecto de los regímenes de fertilización en las variables morfológicas y fisiológicas de calidad de planta se determinó con un análisis de varianza no paramétrico con la prueba Kruskal-Wallis. Mientras que, para la prueba de calidad, se hizo un análisis de varianza no paramétrico con la prueba de Friedman. La prueba de hipótesis utilizó un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. En casos de diferencias estadísticas, se hizo una comparación de las medias de los rangos en pares conforme al procedimiento descrito en InfoStat versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012), el cual fue el software utilizado para los análisis estadísticos. Las medias de las variables se representan con los valores originales.

RESULTADOS

Índices morfológicos y fisiológicos de calidad

A los cuatro meses de edad, la prueba Kruskal-Wallis indicó diferencias ($p \leq 0.0001$) entre regímenes de fertilización para los índices morfológicos de calidad (APA, DCR, PSA, PSR, PST, ICD y R: PA/R) y TAN (característica

fisiológica) de las plantas de *P. dulce*. Además, esta prueba mostró diferencias ($p < 0.01$) entre tratamientos para el contenido de N, P y K.

Con base en las medias de los tratamientos, se tuvieron dos grupos de respuestas. Valores inferiores correspondieron a los regímenes R1, R2 y R3 y valores superiores al resto (R4-R9). De este segundo grupo, en las variables morfológicas cuyos valores altos se relacionan con características mejores de calidad, se tuvo un efecto sobresaliente con el R9, este incrementó en las plantas los valores de DCR, PSA, PST e ICD (Tabla 2). En DCR ese régimen propició, al tener un valor de 5.66 mm, una diferencia de 1.74 mm en comparación con el valor de 3.92 mm obtenido por las plantas del R1, que fue el más bajo. Asimismo, para las variables PSA y PST las diferencias entre los valores del R9 (3.60 g y 4.70 g, respectivamente) fueron superiores en más de 200% al compararlos con los valores de las plantas del R2 que presentaron los valores más bajos en dichas variables (1.12 g en PSA y 1.56 g en PST). En ICD, las plantas del R9 tuvieron un índice de 0.39, mismo que fue 2.2 veces mayor al índice más bajo de 0.17 mostrado por las plantas del R2. Con respecto a las variables APA y PSR en las que también valores altos denotan características mejores de calidad, la respuesta mayor perteneció al R4. Para el caso de altura de planta, con el R4 las plantas presentaron un tamaño de 49.50 cm, el cual es 81% superior a las plantas testigo (R1) las cuales obtuvieron una altura de 27.28 cm. En la raíz, la cantidad de biomasa seca formada por las plantas del R4 (1.15 g) fue 159% superior a los valores de biomasa seca obtenidos en el R2 cuyo valor promedio fue de 0.44 g. Finalmente, para el índice R: PA/R, que, a diferencia de las otras variables, valores bajos significan mejor calidad, las plantas del R1 (testigo) tuvieron el valor más bajo (2.59) dentro de un intervalo en el que el valor mayor fue de 3.33 registrado en las plantas del R8.

Por otra parte, en la tasa de asimilación neta (TAN), se registró un efecto positivo con el R5, con un valor de 0.62 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, mismo que al compararse con el valor mínimo de TAN obtenido en el R2 (0.27 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se tuvo una diferencia de 130% (Tabla 2).

TABLA 2. Valores promedio \pm desviación estándar de variables relacionadas con índices morfológicos y fisiológicos de calidad de planta de *Pithecellobium dulce*, en respuesta a nueve regímenes de fertilización en vivero.

Regímenes de fertilización ^{¶¶}	Variables ^{¶¶}							
	APA (cm)	DCR (mm)	PSA (g)	PSR (g)	PST (g)	ICD	R: PA/R	TAN (mg cm ⁻² día ⁻¹)
R1	27.28 \pm 6.15a	3.92 \pm 0.44a	1.26 \pm 0.26a	0.50 \pm 0.14a	1.76 \pm 0.38a	0.19 \pm 0.04a	2.59 \pm 0.42a	0.32 \pm 0.07a
R2	27.43 \pm 4.81a	4.17 \pm 0.62a	1.12 \pm 0.33a	0.44 \pm 0.13a	1.56 \pm 0.45a	0.17 \pm 0.06a	2.62 \pm 0.46a	0.27 \pm 0.13a
R3	27.55 \pm 8.14a	4.39 \pm 0.48ab	1.48 \pm 0.50a	0.56 \pm 0.13a	2.04 \pm 0.55a	0.23 \pm 0.06a	2.73 \pm 1.06a	0.38 \pm 0.08a
R4	49.50 \pm 8.27c	5.36 \pm 0.53d	3.36 \pm 0.98b	1.15 \pm 0.29b	4.51 \pm 1.18b	0.37 \pm 0.09b	2.94 \pm 0.62ab	0.59 \pm 0.09b
R5	47.33 \pm 8.45bc	4.85 \pm 0.64bc	2.92 \pm 0.69b	1.04 \pm 0.31b	3.96 \pm 0.95b	0.32 \pm 0.10b	2.89 \pm 0.49ab	0.62 \pm 0.28b
R6	39.68 \pm 6.68b	5.09 \pm 0.60cd	2.67 \pm 0.63b	0.96 \pm 0.23b	3.63 \pm 0.79b	0.34 \pm 0.07b	2.84 \pm 0.63ab	0.56 \pm 0.07b
R7	49.45 \pm 7.86c	5.55 \pm 0.48d	3.49 \pm 0.69b	1.09 \pm 0.22b	4.58 \pm 0.8b	0.38 \pm 0.08b	3.21 \pm 0.41bc	0.59 \pm 0.06b
R8	45.95 \pm 8.62bc	5.28 \pm 0.69cd	3.18 \pm 0.99b	0.98 \pm 0.36b	4.16 \pm 1.33b	0.35 \pm 0.14b	3.33 \pm 0.38c	0.55 \pm 0.09b
R9	48.45 \pm 8.05bc	5.66 \pm 0.94d	3.60 \pm 0.77b	1.10 \pm 0.20b	4.70 \pm 0.80b	0.39 \pm 0.08b	3.14 \pm 0.54bc	0.59 \pm 0.07b

[¶]APA: altura de la parte aérea; DCR: diámetro al cuello de la raíz; PSA: peso seco aéreo; PSR: peso seco de raíz; PST: peso seco total; ICD: índice de calidad de Dickson; R: PA/R: relación parte aérea/raíz; TAN: tasa de asimilación neta. ^{¶¶}R1= 4 g de FLC+ 0 mg de FHS; R2= 4 g de FLC+ 375 mg de FHS; R3= 4 g de FLC+ 750 mg de FHS; R4= 6 g de FLC+ 0 mg de FHS; R5= 6 g de FLC+ 375 mg de FHS; R6=6 g de FLC+ 750 mg de FHS; R7=8 g de FLC+ 0 mg de FHS; R8=8 g de FLC+ 375 mg de FHS; R9=8 g de FLC+ 750 mg de FHS. FLC= fertilizante de liberación controlada Multicote (B)[®] 18-6-12; FHS= fertilizante hidrosoluble 20-20-20 (Peters Professional[®] Special Purpose). Valores con una letra común no son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$).

En lo referente al estado nutricional, los valores de concentración no presentaron diferencias estadísticas y oscilaron entre 3% y 4% para N, 0.2% y 0.5% para P y 1.1% y 1.5% para K. En el contenido de los nutrientes, donde sí se presentaron diferencias (N, $p = 0.0021$; P, $p = 0.0018$; K, $p = 0.0021$), los valores mayores fueron obtenidos en el R9 para N (184.2 mg por planta), el R4 para P (17.9 mg por planta) y el R7 para K (57.2 mg por planta) (Fig. 1). En general, en esos regímenes de fertilización las plantas presentaron más del doble en cantidad de nutrientes en comparación con las plantas tanto del tratamiento testigo y de los tratamientos R2 y R3 (Fig. 1).

En los nomogramas de vectores destacaron dos tipos de respuestas: 1) un incremento en el contenido del nutriente y en la formación de biomasa, pero manteniéndose estable la concentración del elemento y 2) un aumento de biomasa, pero sin incrementos en la concentración y contenido del nutriente (Fig. 2; A, B, C). Para el caso del N, la primera respuesta se tuvo con los

regímenes 4 y 9, mientras que la segunda con los regímenes 5, 6, 7 y 8 (Fig. 2 A). En P y K, todos los regímenes, excepto el 2, causaron la segunda respuesta, aunque en diferente magnitud (Fig. 2 B y C).

Prueba de calidad de planta

Los resultados obtenidos en la prueba de calidad presentaron diferencias significativas en el número de rebrotes ($p = 0.0072$) y en la tasa de crecimiento absoluto en diámetro solo durante los primeros cuatro meses después de plantado ($p = 0.0156$). Las plantas con capacidad mayor de rebrote fueron las del R8, con un número promedio de 14.67 rebrotes; por el contrario, el régimen con número menor de rebrotes fue el R2, cuyo valor promedio fue de 6.17 (Fig. 3). El crecimiento mayor en diámetro se tuvo en plantas del R4 con 0.88 mm por mes, siendo este valor 115% superior a los 0.41 mm por mes registrado por el R2, cuyo crecimiento fue mínimo (Fig. 4).

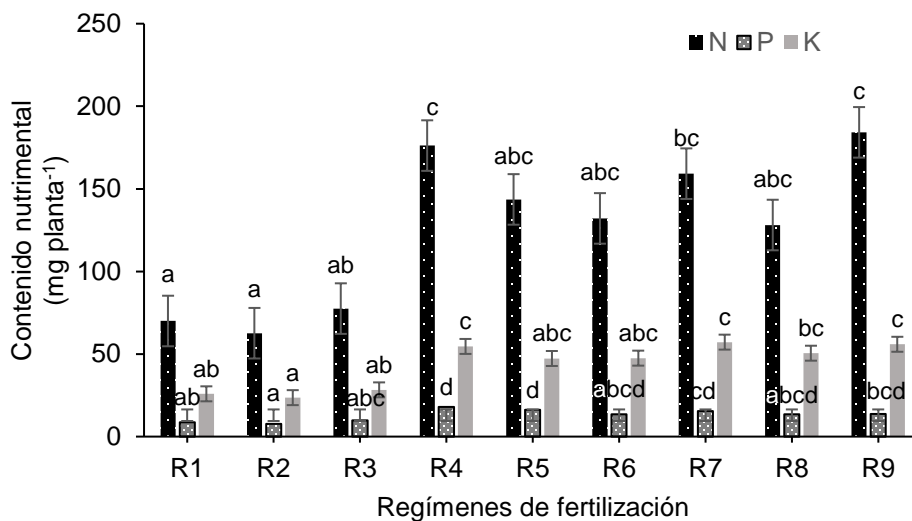


FIGURA 1. Contenido (valores promedio \pm desviación estándar) de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en plantas de *Pithecellobium dulce* de cuatro meses de edad, en respuesta a nueve regímenes de fertilización en vivero.

R1 = 4 g de FLC + 0 mg de FHS; R2 = 4 g de FLC + 375 mg de FHS; R3 = 4 g de FLC + 750 mg de FHS; R4 = 6 g de FLC + 0 mg de FHS; R5 = 6 g de FLC + 375 mg de FHS; R6 = 6 g de FLC + 750 mg de FHS; R7 = 8 g de FLC + 0 mg de FHS; R8 = 8 g de FLC + 375 mg de FHS; R9 = 8 g de FLC + 750 mg de FHS. FLC = fertilizante de liberación controlada Multicote (8)® 18-6-12; FHS = fertilizante hidrosoluble 20-20-20 (Peters Professional® Special Purpose). Barras con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

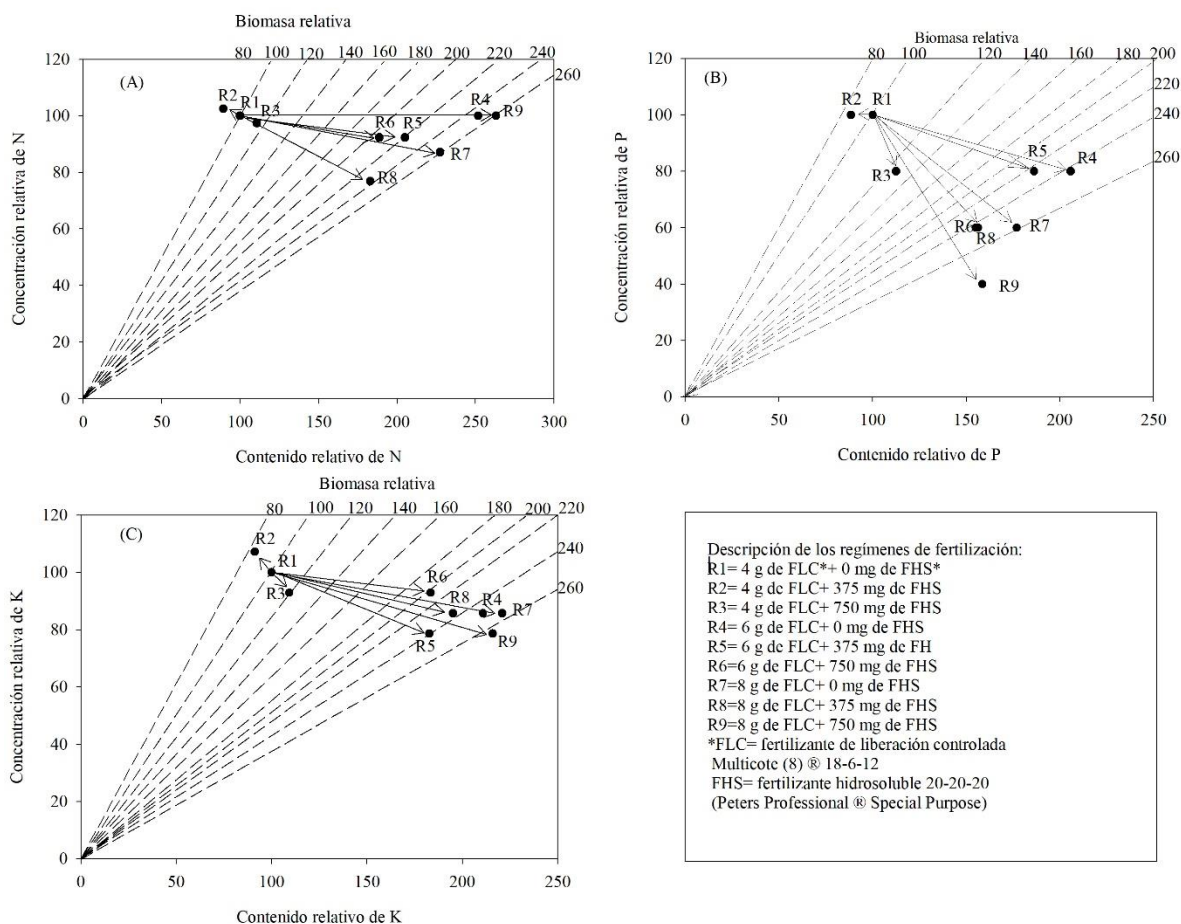


FIGURA 2. Nomogramas de vectores del estado nutrimental de nitrógeno (A), fósforo (B) y potasio (C) en plantas de *Pithecellobium dulce* de cuatro meses de edad, en respuesta a nueve regímenes de fertilización en vivero.

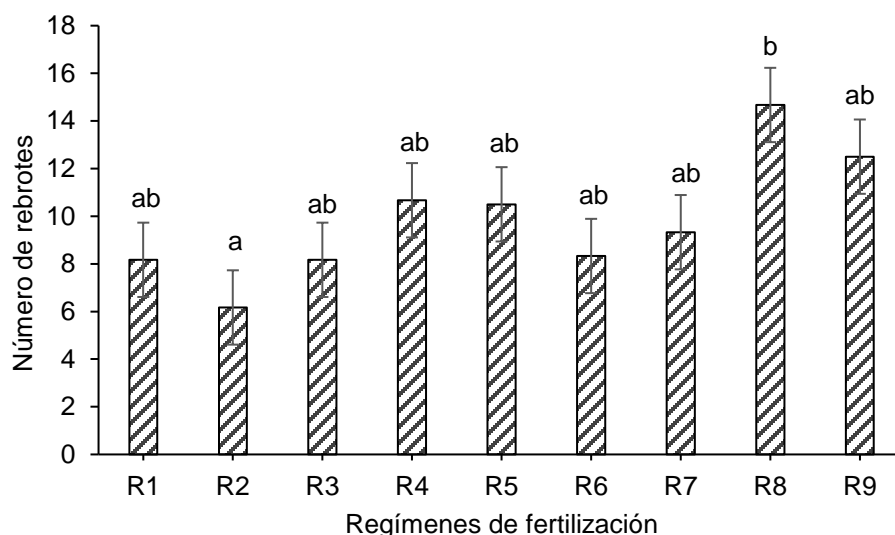


FIGURA 3. Número de rebrotes (valores promedio \pm desviación estándar) de plantas de *Pithecellobium dulce* trasplantadas en un medio infértil y sometidas a pérdida de biomasa aérea (poda severa) como prueba para evaluar su calidad en respuesta a nueve regímenes de fertilización en vivero.

R1 = 4 g de FLC + 0 mg de FHS; R2 = 4 g de FLC + 375 mg de FHS; R3 = 4 g de FLC + 750 mg de FHS; R4 = 6 g de FLC + 0 mg de FHS; R5 = 6 g de FLC + 375 mg de FHS; R6 = 6 g de FLC + 750 mg de FHS; R7 = 8 g de FLC + 0 mg de FHS; R8 = 8 g de FLC + 375 mg de FHS; R9 = 8 g de FLC + 750 mg de FHS. FLC = fertilizante de liberación controlada Multicote (8)[®] 18-6-12; FHS = fertilizante hidrosoluble 20-20-20 (Peters Professional[®] Special Purpose). Barras con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

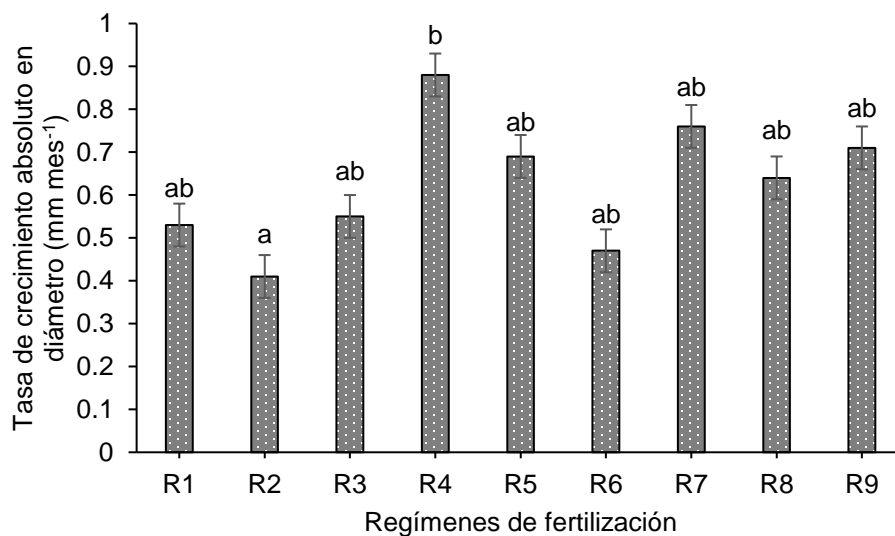


FIGURA 4. Crecimiento en diámetro (valores promedio \pm desviación estándar) de plantas de *Pithecellobium dulce* trasplantadas en un medio infértil y sometidas a pérdida de biomasa aérea (poda severa) como prueba para evaluar su calidad en respuesta a nueve regímenes de fertilización en vivero.

R1 = 4 g de FLC + 0 mg de FHS; R2 = 4 g de FLC + 375 mg de FHS; R3 = 4 g de FLC + 750 mg de FHS; R4 = 6 g de FLC + 0 mg de FHS; R5 = 6 g de FLC + 375 mg de FHS; R6 = 6 g de FLC + 750 mg de FHS; R7 = 8 g de FLC + 0 mg de FHS; R8 = 8 g de FLC + 375 mg de FHS; R9 = 8 g de FLC + 750 mg de FHS. FLC = fertilizante de liberación controlada Multicote (8)[®] 18-6-12; FHS = fertilizante hidrosoluble 20-20-20 (Peters Professional[®] Special Purpose). Barras con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha = 0.05$).



DISCUSIÓN

La fertilización en vivero es necesaria para el crecimiento y desarrollo de las plantas, principalmente cuando se producen en contenedores que limitan el desarrollo radical y con sustratos en los que el aporte de nutrimentos puede ser bajo o nulo y no cubren sus necesidades metabólicas. Por lo tanto, la fertilización como práctica cultural tiene potencial para modificar positivamente las características morfológicas y fisiológicas como lo señala Cortina *et al.* (2013). Los resultados de este trabajo ratifican lo anterior, ya que los regímenes de fertilización afectaron los índices morfológicos y fisiológicos de calidad de planta de *P. dulce* durante su producción en vivero. En general, un incremento de las características de calidad evaluadas estuvo asociada con los regímenes cuyo aporte de nutrimentos fue mayor (Tabla 2, Fig. 1). Este efecto coincide con resultados obtenidos en otros trabajos, en donde la práctica de fertilización ha tenido un efecto positivo en mejorar la calidad de planta de otras especies tropicales como *Cassia grandis* L. f., *Peltophorum dubium* Spreng. Taub. (Soares *et al.*, 2017) y *Plathymenia foliolosa* benth. (Freitas *et al.*, 2017).

Resultados con fertilizantes de liberación controlada ya se han registrado en algunas especies por ejemplo *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, *Schinus terebinthifolius* Raddi (Rossa *et al.*, 2015), *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart. (Carpenedo Aimi *et al.*, 2016) y *Tectona grandis* L. f. (Escamilla-Hernández *et al.*, 2015). En las dos primeras especies, se evaluó el efecto de la aplicación de Basacote® 6 M (13-6-16) en un intervalo de 0 kg m⁻³ - 10 kg m⁻³, y se encontró que dosis de 6 kg m⁻³- 10 kg m⁻³ favorecen un crecimiento mayor de las plantas durante 189 días de producción en vivero. Los resultados de Rossa *et al.* (2015), coinciden con los de este trabajo, ya que en el intervalo evaluado (4 g L⁻¹-8 g L⁻¹), los regímenes con las dosis mayores en general derivaron en plantas de calidad mejor (Tabla 2). En contraste, las plantas de las dos últimas especies mejoraron su calidad, pero con dosis que están por encima de las aplicadas en las plantas de *P. dulce* y en las de *Anadenanthera peregrina* y *Schinus terebinthifolius*. En *Tectona*

grandis, la morfología de plantas de dos meses de edad se mejoró con la aplicación de 20 kg m⁻³ - 30 kg m⁻³ de Osmocote® 8 M (18-6-12) y en plantas de siete meses de *Cabrlea canjerana* la mejor respuesta en variables morfológicas se consiguió con el aporte de 11.5 g L⁻¹ de Osmocote® 6 M (15-9-12). Esta discrepancia podría deberse a las diferencias en las necesidades de cada especie de acuerdo con sus ciclos de crecimiento, a la variedad de formulaciones de los fertilizantes y a las condiciones de cultivo, particularmente las del medio de crecimiento, puesto que la disponibilidad de los nutrimentos en los fertilizantes de liberación controlada es sensible a la temperatura y humedad del sustrato (Wilkinson *et al.*, 2014).

Por otro lado, el hecho de que el régimen 9 (R9=8 g de FLC+ 750 mg de FHS [20-20-20]), haya presentado los valores mayores y con significancia estadística en la mayoría de las variables morfológicas evaluadas (DCR, PSA, PST e ICD [Tabla 2]), sustenta la idea de que la adición de fertilizante hidrosoluble durante el crecimiento exponencial contribuyó a mejorar la calidad de las plantas de *P. dulce*. Esta respuesta coincide con las ventajas que se atribuyen en el diseño de rutinas fertilización involucrando tanto materiales solubles como sólidos (Rose *et al.*, 2004). Al respecto, un trabajo realizado por Reyes *et al.* (2018) en plantas de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl ex Wild. M. C. Johnst. confirma que una mejora de las características morfológicas de plántulas de cuatro meses se logra combinando 6 g L⁻¹ de un FLC Multicote® 8-9 M (18-6-12) con un hidrosoluble 19-19-19 en dosis constante de 100 mg L⁻¹. La respuesta positiva documentada con el estudio de Reyes *et al.* (2018) y con lo registrado en este trabajo en cuanto al uso de ambos tipos de materiales, podría derivarse de la complementariedad entre las ventajas y desventajas que presentan ambos fertilizantes en factores tales como: tasa de liberación de nutrientes, uniformidad de aplicación, ajuste de tasas y relaciones de nutrientes, y eficiencia en el consumo de nutrientes (Oliet *et al.*, 2008; Wilkinson *et al.*, 2014), los cuales son aspectos que convendría fueran analizados más a detalle en trabajos de este tipo.

En relación con las variables fisiológicas, las plantas del R5 tuvieron la eficiencia fotosintética mayor al tener un valor de TAN de $0.62 \text{ mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$; no obstante, este valor no difirió estadísticamente con las cifras presentadas por los regímenes 4 a 9 con valores superiores (Tabla 2). La respuesta en TAN ejercida por los regímenes en los que el aporte de fertilizante fue más elevado, ratifica la importancia, ampliamente aceptada que tienen los nutrientes minerales en los procesos fisiológicos de las plantas, especialmente la fotosíntesis, tanto en ambientes de vivero (Luis *et al.*, 2009) como de campo (Pasquini y Santiago, 2012). Tasas altas de fotosíntesis derivan en una ganancia mayor de carbono que propician la producción de plantas grandes, las cuales según Luis *et al.* (2009) y Villar-Salvador *et al.* (2012) tienen oportunidad mayor de sobrevivir en campo. Sin embargo, para tener un crecimiento elevado las plantas deben destinar los suficientes recursos para soportar el continuo crecimiento tanto de raíces como de biomasa aérea, y esto se consigue con niveles suficientes de reservas nutrimentales que deben ser generadas por un adecuado aporte de nutrientes (Villar-Salvador *et al.*, 2012; Basave Villalobos *et al.*, 2014), ya que la formación de reservas compite por recursos con el crecimiento (Berendse *et al.*, 2007). En este trabajo se observó que los contenidos de reservas nutrimentales mayores en las plantas de *P. dulce* se lograron con el R9 para el caso del nitrógeno, con el R4 para fósforo y con el R7 para potasio (Fig. 1); no obstante, al observar los nomogramas de vectores, las condiciones que en general presentaron las plantas fueron de suficiencia y dilución (Fig. 2 A, B, C). La suficiencia se registró en N con los regímenes 4 y 9. Un aporte extra de este nutrimento podría haber derivado en un consumo de lujo, lo cual a menudo se trata de propiciar con los programas de fertilización (Timmer, 1997; Oliet *et al.*, 2013; Uscola *et al.*, 2015), debido a las ventajas que se tienen en crecimiento de las plantas cuando estas se establecen en ambientes de escasa fertilidad (Basave Villalobos *et al.*, 2015). En cambio, la dilución manifestada en P y K por la mayoría de los regímenes sugiere que hubo un desbalance de P y K con respecto a N, en el que los nutrimentos presentaron concentraciones subóptimas en el

sustrato, que condujeron a una condición de deficiencia (López-López y Alvarado-López, 2010).

Según la prueba de calidad (Fig. 3 y 4), las reservas generadas por los regímenes en cuestión soportaron el rebrote y crecimiento de las plantas tras haber experimentado pérdida de biomasa y trasplante en un medio pobre de nutrientes, pero estas agotaron sus reservas, lo cual se explica por la ausencia de diferencias estadísticas en crecimiento a los nueve meses de evaluación. El R9 mostró un rebrote mayor pero una tasa menor de crecimiento, por el contrario, el R4 sí tuvo un crecimiento mayor, aunque a expensas de un rebrote menor (Fig. 3 y 4). Este efecto indica una competencia entre la formación de reservas para el rebrote y el crecimiento, lo cual concuerda con la ecología del almacenamiento (F. Stuart, Ernst-Detlef y Harold A., 1990). A menudo, las plantas no acumulan la suficiente cantidad de reservas debido a que el aporte de nutrientes no excede las demandas del crecimiento, y esto puede darse cuando las raíces tienen una capacidad alta de absorción y la disponibilidad de nutrientes en el medio es baja o hay pérdidas de nutrientes a través de abscisión o herbivoría y no se aprovechan por retraslación (F. Stuart Chapin III, 1980; Berendse *et al.*, 2007). Experimentalmente, este fenómeno se presentó en una plantación de *Cedrela odorata* L. en donde se evaluó la influencia de la fertilización en el crecimiento y susceptibilidad de la especie en presencia del barrenador *Hypsipyla grandella* Zeller (Calixto *et al.*, 2015). Probablemente, las condiciones simuladas a las que fueron sometidas las plantas de *P. dulce* en la prueba de calidad ejercieron un efecto similar de poca disponibilidad y pérdida de nutrientes, y de ahí las limitaciones presentadas en crecimiento o rebrote.

Finalmente, dado que el establecimiento de plantas con características de alta calidad incrementa la oportunidad de un mejor desempeño en campo como lo puntualizan Grossnickle y MacDonald (2018), los valores obtenidos en los índices de calidad determinados, son una base referencial para proyectos de producción o de investigación con la especie, principalmente por la falta de antecedentes como los hay en otras especies forestales,



varias de ellas incluidas en la norma NMX-AA-170-SCFI-2016 "Certificación de la operación de viveros forestales" (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2016), donde numéricamente se pretenden definir las características que una planta debe reunir para ser consideradas como de calidad buena para proyectos de reforestación o restauración.

CONCLUSIONES

Los regímenes de fertilización diseñados a partir de materiales de liberación controlada e hidrosoluble muestran potencial para modificar las características morfológicas y fisiológicas en plantas de *P. dulce* durante la etapa de vivero. Particularmente, la adición de 8 g de fertilizante de liberación controlada Multicote (8)[®] 18-6-12 y fertilizante hidrosoluble 20-20-20 (Peters Professional[®] Special Purpose) en una concentración base de nitrógeno de 150 mg L⁻¹, promueve en general la producción de plantas con las mejores respuestas en índices morfológicos de calidad evaluados. Fisiológicamente, también en ese nivel de fertilización las plantas presentan mejoras en su eficiencia fotosintética y estado nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, aunque en este último caso únicamente se tiene un efecto de suficiencia en nitrógeno y de dilución en el resto de los nutrimentos, condición que podría mejorarse con un aporte extra de fertilizante. En la prueba de calidad donde las plantas fueron sometidas a estrés por pérdida de biomasa y trasplante en un medio con disponibilidad limitada de nutrientes, las reservas nutrimentales generadas por los niveles de fertilización no son suficientes para cubrir ambas demandas del rebrote y crecimiento.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap).

REFERENCIAS

- Basave Villalobos, E., Cetina Alcalá, V. M., López López, M. A., Aldrete, A., & Del Valle Paniagua, D. H. (2015). Nursery practices increase seedling performance on nutrient-poor soils in *Srietenia bumilis*. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 8(4), 552–557. doi: 10.3832/ifor1179-007
- Basave Villalobos, E., López López, M. Á., Cetina Alcalá, V. M., Aldrete, A., & Almaraz Suárez, J. J. (2014). Prácticas culturales en vivero que influyen en la calidad de planta de *Enterolobium cyclocarpum*. *Bosque (Valdivia)*, 35(3), 301–309. doi: 10.4067/S0717-92002014000300005
- Berendse, F., de Kroon, H., & Braakhekke, W. G. (2007). Acquisition, use, and loss of nutrients. En F. Pugnaire & F. Valladares (Eds.), *Functional Plant Ecology* (2 nd ed., pp. 259–283). Boca Raton FL: CRC Press/Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420007626.ch8
- Birchler, T., Rose, R., Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 7, 1–10.
- 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
- Calixto, C. G., López, M. A., Equihua, A., Lira, D. E., & Cetina, V. M. (2015). Crecimiento de *Cedrela odorata* e incidencia de *Hypsipyla grandella* en respuesta al manejo nutrimental. *Bosque (Valdivia)*, 36(2), 265–273. doi: 10.4067/s0717-92002015000200012
- Carpenedo Aimi, S., Machado Araujo, M., Benítez León, E., Gomez de Oliveira, G., & da Silva Cunha, F. (2016). Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 401–407. doi: 10.4067/S0717-92002016000200018
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Cortina, J., Valdecantos, A., Fuentes, D., Trubat, R., ..., & Vallejo, V. R. (2009). Ecological restoration in degraded drylands: the need to improve the seedling quality and site conditions in the field. En S. P. Grossberg (Ed.), *Forest Management* (pp. 85–158). Hauppauge, N.Y.: Nova Science Publishers.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2014). *Monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva 2014*. Comisión Nacional Forestal.
- Cortina, J., Vilagrosa, A., & Trubat, R. (2013). The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. *New Forests*, 44(5), 719–732. doi: 10.1007/s11056-013-9379-3
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. 2016. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI2016. Certificación de la Operación de Viveros Forestales. Secretaría de Economía. Comisión Nacional Forestal. México, D.F., México. 172 p. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464460&fecha=07/12/2016

- Di Rienzo, J. A., Casanoves F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2012). InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> (16/10/ 2019).
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J. J., Carrillo-Ávila, E., & Palma-López, D. J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de Teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 329–333.
- Fernández N., R., Rodríguez J., C., Arreguín S., M. L. & Rodríguez J., A. (1998). Listado florístico de la cuenca del Río Balsas, México. *Polibotánica*, 9, 1–151. Recuperado de <http://www.polibotanica.mx/pdf/pb9/ListadoBalsas.pdf>
- F. Stuart, C. I. (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11, 233–260.
- F. Stuart, C. I., Ernst-Detlef, S., & Harold A., M. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 423–447.
- Freitas, E. C. S. de, Paiva, H. N. de, Leite, H. G., & Oliveira Neto, S. N. de. (2017). Effect of phosphate fertilization and base saturation of substrate on the seedlings growth and quality of *Plathymenia foliolosa* Benth. *Revista Árvore*, 41(1), 1–9. doi: 10.1590/1806-90882017000100011
- Global Forest Watch. (2019). *Tree cover loss in Mexico*. Retrieve from www.globalforestwatch.org.
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5–6), 711–738. doi: 10.1007/s11056-012-9336-6
- Grossnickle, S., & MacDonald, J. (2018). Seedling quality: history, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 283. doi: 10.3390/f9050283
- Haase, D. L., & Rose, R. (1995). Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *Forest Science*, 41(1), 54–66.
- Hunt, R., Causton, D. R., Shipley, B., & Askew, A. P. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*, 90(4), 485–488. doi: 10.1093/aob/mcf214
- López-López, M. Á., & Alvarado-López, J. (2010). Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera Bosques*, 16(1), 99–108.
- Luis, V. C., Puértolas, J., Climent, J., Peters, J., González-Rodríguez, Á. M., Morales, D., & Jiménez, M. S. (2009). Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. *European Journal of Forest Research*, 128(3), 221–229. doi: 10.1007/s10342-009-0257-7
- Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Rojas-Hernández, S., & Castelán-Ortega, O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 739–748.
- Oliet, J. A., Puértolas, J., Planelles, R., & Jacobs, D. F. (2013). Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: A Mediterranean perspective. *New Forests*, 44(5), 649–669. doi: 10.1007/s11056-013-9382-8
- Oliet, J., Segura, M., & Dominguez, F. (2008). Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de Pinus. *Forest Systems*, (January). Recuperado de <http://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/viewArticle/2742>
- Palma García, J. M., & González-Rebeles Islas, C. (2018). *Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable*. Colima: Universidad de Colima. Recuperado de http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Recursos-arbores-y-arbustivos-tropicales_462.pdf
- Pasquini, S. C., & Santiago, L. S. (2012). Nutrients limit photosynthesis in seedlings of a lowland tropical forest tree species. *Oecologia*, 168(2), 311–319. doi: 10.1007/s00442-011-2099-5
- Reyes, G. D. J., Prieto Ruíz, J. Á., Vazquez Cisneros, I., López López, M. Á., Hernández Díaz, J. C., & Chávez Simental, J. A. (2018). Alternativas de fertilización para producir *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49). doi: 10.29298/rmcf.v9i49.175
- 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
- Rossa, Ü. B., Angelo, A. C., Westphalen, D. J., Oliveira, F. E. M. de, Silva, F. F. da, & Araujo, J. C. de. (2015). Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Angico-Vermelo) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira-Vermelha). *Ciência Florestal*, 25(4), 413–421. doi: 10.5902/1980509820582
- Soares, C. B., Freitas, E. C. S. de, Paiva, H. N. de, & Neves, J. C. L. (2017). Nitrogen sources and doses on growth and quality of seedlings of *Cassia grandis* and *Peltophorum dubium*. *Revista Árvore*, 41(2). doi: 10.1590/1806-90882017000200014



Timmer, V. R. (1997). Exponential nutrient loading: A new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests*, 13(1–3), 279–299. doi: 10.1023/A:1006502830067

Uscola, M., Salifu, K. F., Oliet, J. A., & Jacobs, D. F. (2015). An exponential fertilization dose–response model to promote restoration of the Mediterranean oak *Quercus ilex*. *New Forests*, 46(5–6), 795–812. doi: 10.1007/s11056-015-9493-5

Villar-Salvador, P., Peñuelas, J. L., Nicolás-Peragón, J. L., Benito, L. F., & Domínguez-Lerena, S. (2013). Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? *New Forests*, 44(5), 733–751. doi: 10.1007/s11056-013-9374-8

Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Peñuelas, J. L., Uscola, M., Heredia-Guerrero, N., & Rey Benayas, J. M. (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(5–6), 755–770. doi: 10.1007/s11056-012-9328-6

Wilkinson, K. M., Landis, T. D., Haase, D. L., Daley, B. F., & Dumroese, R. K. (2014). *Tropical nursery manual- a guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants*. Agriculture Handbook: 732. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Manuscrito recibido el 18 de octubre de 2019

Aceptado el 24 de abril de 2020

Publicado el 16 de diciembre de 2020

Este documento se debe citar como:

Basave-Villalobos, E., Cetina-Alcalá, V. M., López-López, M. A., Trejo, C., Ramírez-Herrera, C., & Conde-Martínez, V. (2020). Fertilización de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth en vivero: efectos en la calidad de planta. *Madera y Bosques*, 26(3), e2632059. doi: 10.21829/myb.2020.2632059



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.