



Propiedades del suelo y nitrógeno como indicadores del crecimiento en plantaciones comerciales de teca

Soil properties and nitrogen as indicators of growth in teak commercial stands

Eduardo Salcedo-Pérez¹, Bayron Alexander Ruiz Blandon^{1,3}, Efrén Hernández Álvarez^{2*}, Ricardo González Cruz³, Antonio Bernabé-Antonio³, Eulogio Orozco-Guareño⁴, César Bonifacio Ramírez-López³, José Anzaldo Hernández³ y Ezequiel Delgado-Fornué³

Abstract:

Teak is an important species in the forest markets, due to the value of the timber which, it has increased the interest to establish stands in Mexico. However, the influence of properties soil and nitrogen on plantations have been poorly evaluated. The aim of the study was to measure quality soil in 6-yr-old commercial teak plantations in Nayarit, Mexico. 30 days before planting, were applied to fertilizers soils 50- 120 - 75 (NPP), 3 t ha⁻¹ Ca hydroxide, 250 kg ha⁻¹ of diammonium phosphate, 63 kg ha⁻¹ of potassium chloride and 75 kg ha⁻¹ Potassium sulfate to improve your fertility. After 6 yrs-old, the diameter, height, basal area and volume were measured in order to contrast the growth and productivity between stands. Soil samples, the texture, bulk density (BD), cation exchange capacity (CEC), pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM) and C:N ratio were determined to know the OM mineralization, as well as nitrogen in biomass. The ANOVA and Tukey test showed that soils with pH > 6 < 7, CEC > 30 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹, OM > 2.5 % and C:N ratio > 15 of 0 - 10 cm, were associated with the best stand productivity, as well as the highest nitrogen concentration in leaves. It is concluded that the success in the stand's productivity with exotic species in Mexico, will depend essentially on the health of the soil.

Keywords: Growth, average annual increase, nitrogen, soil properties, *Tectona grandis* L.f., volume.

Resumen:

La teca es una especie importante en los mercados forestales, debido al valor de su madera, lo cual en México ha incrementado el interés de establecer plantaciones. Sin embargo, la influencia de las propiedades del suelo y nitrógeno bajo esas condiciones han sido poco evaluadas. El objetivo del presente estudio fue medir la calidad del suelo en plantaciones comerciales de teca en Nayarit, México. Antes de plantar (30 días), se aplicaron fertilizantes 50 - 120 - 75 (NPK), 3 t ha⁻¹ de hidróxido de Ca, 250 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, 63 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y 75 kg ha⁻¹ de sulfato de potasio. A la edad de 6 años, se midieron el diámetro, altura, área basal y se calculó el volumen, con el propósito de contrastar el crecimiento y productividad entre plantaciones. En muestras de suelo, se determinó la textura, densidad aparente (Da), capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y relación C/N para conocer la mineralización de la MO, así como el nitrógeno en la biomasa. El ANOVA y prueba de *Tukey* demostraron que los suelos con pH > 6 < 7, CIC > 30 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹, MO > 2.5 % y relación C/N > 15 de 0 - 10 cm, se asociaron a la plantación de mejor productividad, así como la mayor concentración de nitrógeno en hojas. Se concluye que en México, el éxito en la productividad de plantaciones con especies exóticas dependerá, esencialmente, de las propiedades del suelo.

Palabras clave: Crecimiento, incremento medio anual, nitrógeno, propiedades del suelo, *Tectona grandis* L.f., volumen.

Fecha de recepción/Reception date: 25 de julio de 2018

Fecha de aceptación/Acceptance date: 06 de noviembre de 2018

¹ Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Botánica y Zoología, Universidad de Guadalajara. México.

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Producción Forestal, Universidad de Guadalajara. México. Correo-e: efren.hernandez@academicos.udg.mx

³ Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara. México.

⁴ Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Química, Universidad de Guadalajara. México.

Introducción

Tectona grandis L.f. (teca), por la calidad de su madera se le confiere gran importancia en los mercados forestales; se planta en aproximadamente 70 países, los principales productores son India, Indonesia, Myanmar y Tailandia (Bohre *et al.*, 2013; Sreejesh *et al.*, 2013). La teca es una especie de rápido crecimiento perteneciente a la familia Lamiaceae, que en su lugar de origen puede alcanzar más de 50 m de altura y 2 m de diámetro. Es considerada una de las especies maderables más conocidas en el mundo y con mayor superficie de plantación (Fonseca, 2004; Espitia *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2012; Ruiz, 2016; GRIN, 2017).

En 2005, se estimó que 74 % de las plantaciones con especies de maderas duras en zonas tropicales correspondió a *T. grandis* (FAO, 2009), cuyo valor comercial de la madera sin aserrar es de US\$ 717 m³ (De Camino y Morales, 2013). Además, de su potencial económico las condiciones edafoclimáticas en México han influido para que se presente un aumento progresivo del interés por su cultivo, principalmente en el sur y el oeste del país (Jayaraman, 2011; Conafor, 2013a; Hernández *et al.*, 2017).

En México, la teca ocupa el quinto lugar de importancia económica entre las especies latifoliadas, con alrededor de 18 000 ha de plantaciones establecidas en los estados de Chiapas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Quintana Roo (López y González, 2005; Conafor, 2011, 2013a); es una especie exótica, por lo que se desconocen los parámetros que afectan su crecimiento y productividad, cuando se planta en áreas de similares condiciones hidroclimatológicas. Al comparar la productividad de plantaciones comerciales de teca con 7 años de edad, en Ecuador registraron 153.10 m³ ha⁻¹ y en México, 89.2 m³ ha⁻¹ (SAF, 2009; Conafor, 2013a), dicha variabilidad es altamente significativa. Zhou *et al.* (2012) mostraron que los suelos severamente ácidos y deficientes en nutrientes decrecen su crecimiento.

Por otro lado, existen factores abióticos que también limitan su crecimiento, como las altas precipitaciones, bajas temperaturas, pendiente del suelo superior a 50 %, altitud de las plantaciones y mal drenaje (Pérez y Kanninen, 2005; Upadhyay y Sankhayan, 2005; Watanabe *et al.*, 2009; Salcedo *et al.*, 2014).

El presente estudio planteó como hipótesis que la teca plantada en condiciones hidroclimatológicas idóneas, suelos con pH cercanos a la neutralidad, concentración de materia orgánica (MO) superior a 1 % y alta concentración de nitrógeno (N) en las hojas favorecen su crecimiento.

Esta investigación generó información actualizada sobre el comportamiento de *T. grandis*, lo cual corroboró que cambios significativos en las propiedades del suelo y disponibilidad de N, condicionó su crecimiento en el área estudiada. El objetivo del estudio fue medir la calidad del suelo en torno a sus propiedades básicas y concentración de N, como indicadores del crecimiento en plantaciones comerciales de teca a los 6 años, ubicadas en Nayarit, México.

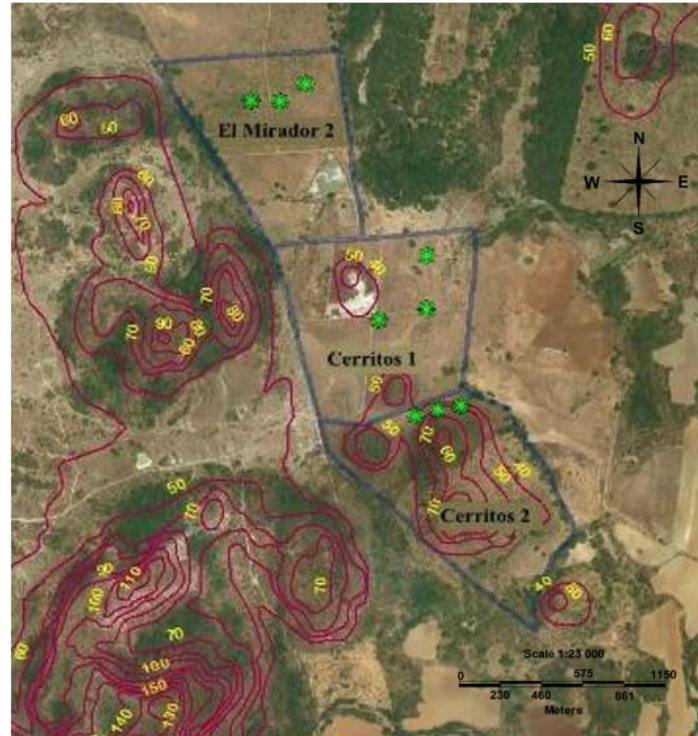
Materiales y Métodos

El área de estudio

Se estudiaron tres plantaciones comerciales de teca (PCT): Cerritos 1, Cerritos 2 y El Mirador 2, establecidas en el municipio Ruíz, Nayarit, México en julio de 2008 (Figura 1). Las PCT en propiedad de la empresa Agroforestal Nayarita S.A. fueron manejadas bajo los lineamientos de la Conafor (Figura 2). El área de influencia de las PCT se caracteriza por tener un ambiente cálido subhúmedo con lluvias en verano, altitud de 25 m, precipitación anual de 1 496.7 mm (promedio histórico desde 1946 a 2016) y temperatura promedio anual de 23.5 °C (promedio histórico desde 1978 a 2016) (Figura 1) (Inegi, 2017).

Antes de establecer las PCT se había determinado que los suelos tenían pH moderadamente ácidos (5.3), MO < 0.5 %, bajos en concentración de N (< 0.02 %), fósforo disponible (P) (0.001 %), potasio (K) (< 3 %), manganeso (Mn) (0.0003 %), magnesio (Mg) (0.017 %) y cobre (Cu) (0.00004 %); medianamente alto en calcio (Ca) intercambiable (67 %), así como elevados en hierro (Fe) (> 0.06 %). A partir de lo anterior, 30 días antes de plantar se aplicaron a los suelos como correctivo: fertilizante de formulación 50 – 120 - 75 (NPK), 3 t ha⁻¹ de hidróxido de Ca, 250 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, 63 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y 75 kg ha⁻¹ de sulfato de potasio. Cuando las plántulas tuvieron 8 meses en vivero (~ 20 cm de altura y 8 mm de diámetro), se trasplantaron a los sitios definitivos bajo el sistema de marco real en disposición espacial de 3.5 × 3.5 m (918 plantas ha⁻¹). Se consideraron como tratamientos la posición dentro de los lotes de crecimientos.





Arriba = El Mirador 2 ($21^{\circ}54'28.4''$ N, $105^{\circ}03'43.3''$ O, 41 msnm);
Centro = Cerritos 1 ($21^{\circ}54'10.8''$ N, $105^{\circ}03'29.2''$ O, 39 msnm);
Abajo = Cerritos 2 ($21^{\circ}54'00.0''$ N, $105^{\circ}03'27.7''$ O, 39 msnm) (INEGI, 2016).

Figura 1. Geolocalización de las plantaciones comerciales de teca (PCT).



a) Cerritos 1 (10.66 ha); b) Cerritos 2 (23.34 ha) y c) El Mirador 2 (19.95 ha).

Figura 2. Plantaciones comerciales de teca (PCT) bajo manejo silvícola.

Dendrometría y estereometría

En cada PCT se construyeron tres parcelas experimentales de 7×25.4 m (533.6 m² muestreados por plantación), distribuidas al azar. Las variables dendrométricas y dasométricas fueron: (a) diámetro del árbol, a la altura del pecho (DAP), medido a 1.30 m desde la base del fuste con cinta diamétrica; y (b) altura total (h), medida aproximadamente a 15 m de distancia del árbol con un hipsómetro *Haga*. Se consideraron 25 árboles de cada unidad de muestreo, las mediciones se hicieron en julio de 2014 según las técnicas recomendadas por Arteaga y Castelán (2008).

El volumen de los árboles en pie se estimó a partir del área basal (AB), con la siguiente ecuación (1):

$$AB = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 \quad (1)$$

Donde:

AB = Área basal (m²)

D = Diámetro de ambos extremos de cada cilindro (m)

El volumen de árboles en pie se calculó mediante la siguiente expresión (2):

$$V = (AB)(h)(Cm) \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen del fuste (m^3)

AB = Área basal (m^2)

h = Altura (m)

Cm = Coeficiente mórfo de 0.5 (Arteaga y Castelán, 2008)

Para calcular el volumen de árboles derribados, se talaron tres de diferentes tamaños por parcela, se cubicó el fuste y el volumen se calculó según Smaliam (Cancino, 2006).

$$V = \frac{A_b + A_s}{2L} \quad (3)$$

Donde:

V = Volumen de la troza (m^3)

A_b = Diámetro basal (mayor) de la troza (m)

A_s = Diámetro en el extremo menor de la troza (m)

L = Longitud del tronco del solido $L = L_2 - L_1$ (m)

También se estimó el incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro, el cual se obtuvo dividiendo el promedio obtenido de las variables mencionadas por la edad de la plantación:

$$IMA = \frac{DDV}{Edad} \quad (4)$$

Donde:

IMA = Incremento medio anual

DDV = Valores dendrométricos y estereométricos (cm, m, m³)

Se recolectaron muestras de suelo a 0-10 y 10- 30 cm en *zig-zag* en cada parcela de muestreo. El muestreo se llevó a cabo en julio de 2014. Las propiedades de los suelos se determinaron con base en la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002): textura (Hidrómetro de Bouyoucos), densidad aparente (*Da*) (método del terrón), pH en agua (1:2), capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Acetato de Amonio), conductividad eléctrica (CE) (conductimetría eléctrica), carbono orgánico (C %) (Shimadzu TOC 5050-A), y este se convirtió a MO multiplicando el porcentaje de C promedio en la MO (58 %), respectivamente. La concentración de N total se determinó por análisis elemental (analizador *Leco TruSpec® Micro*), a partir de 2 mg de muestra tanto de biomasa como de suelo, y la relación C/N en suelo como lo indica su expresión.

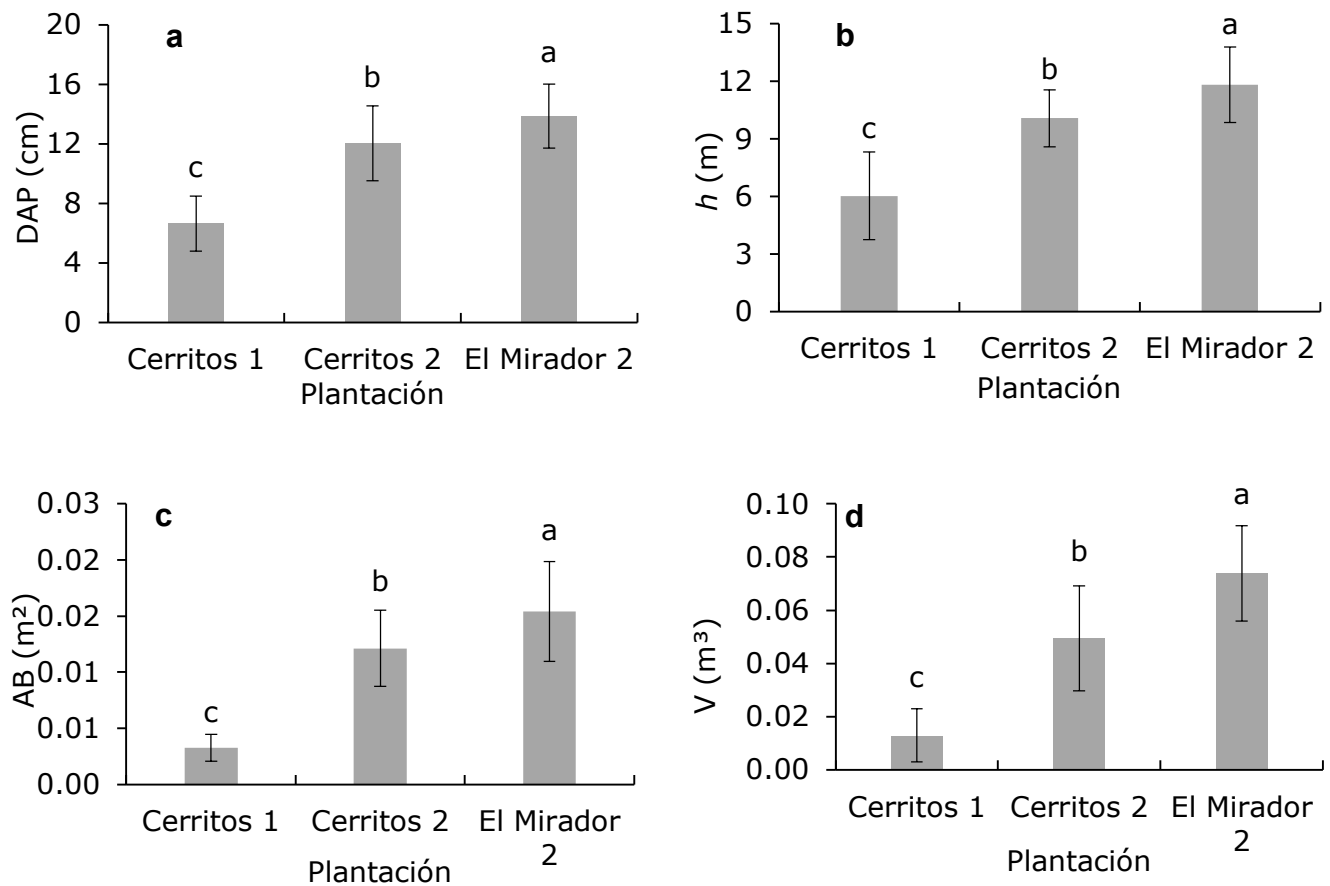
Las diferencias de crecimiento, productividad y propiedades del suelo en las PCT se analizaron mediante la ANOVA. Las medias de cada variable fueron analizadas mediante gráficos *P-P Plot*, por lo cual tuvieron una distribución normal. Las pruebas de comparaciones de medias de *Tukey* se utilizaron para examinar las diferencias entre las medias de las variables estudiadas entre las PCT ($P < 0.05$). El programa estadístico usado para todos los análisis fue SAS v9.0 (SAS Institute, 2009).



Resultados y Discusión

Crecimiento de la teca

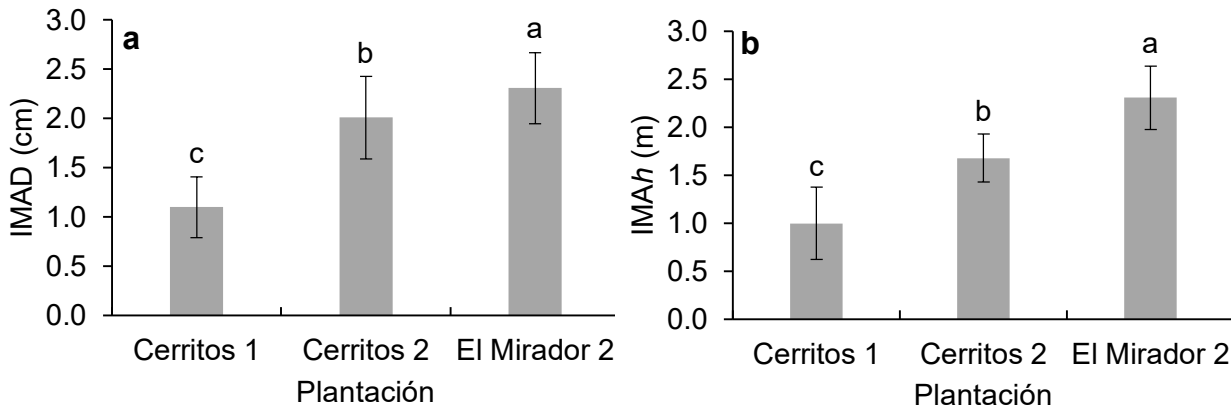
Con base en que las PCT fueron manejadas de igual forma, la Figura 3 muestra el comportamiento dendrométrico y estereométrico de El Mirador 2, Cerritos 1 y Cerritos 2.

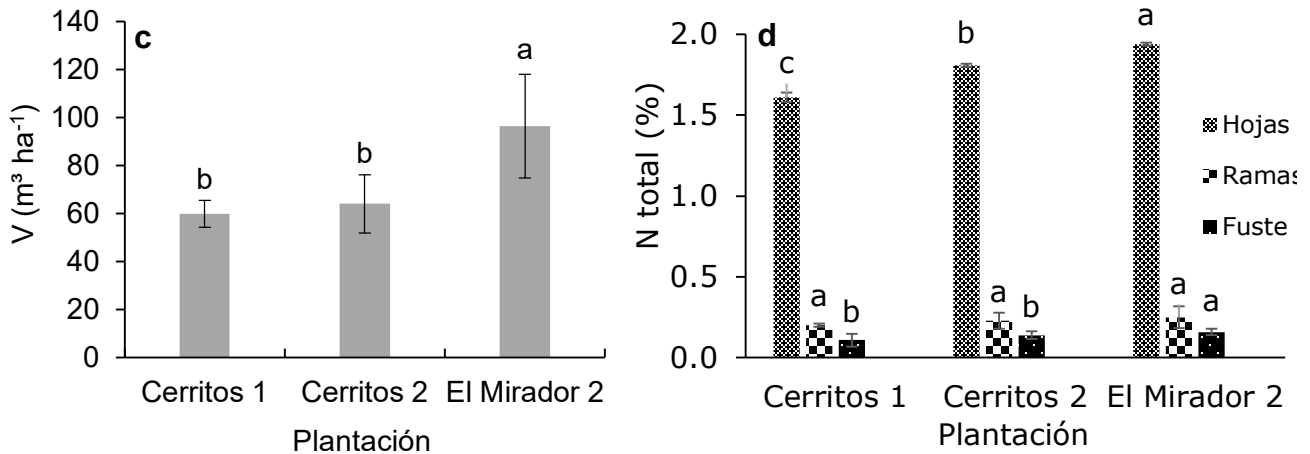


Los datos son medias de 75 repeticiones. Medias con distintas letras en cada barra (desviación estándar) son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Figura 3. Comportamiento dendrométrico y estereométrico de las plantaciones comerciales de teca (PCT) a los 6 años en Nayarit, México.

La ANOVA mostró diferencias significativas en el DAP ($P = 0.0061$; Figura 3a), h ($P = 0.0080$; Figura 3b), AB ($P = 0.0027$; Figura 3c) y V ($P = 0.0008$; Figura 3d) promedio árbol entre las PCT muestreadas. La prueba de *Tukey* corroboró que El Mirador 2 fue la plantación que mayor DAP (50 %), h (45 %), AB (78 %) y V (80 %) tuvo en promedio árbol, con respecto a Cerritos 1, y esta fue la plantación de menor crecimiento. Igualmente, la PCT El Mirador 2 registró el más alto IMA dendrométrico (Figura 4ab), productividad (Figura 4c) y concentración de N en la biomasa (Figura 4d) en comparación con Cerritos 1 y Cerritos 2, respectivamente. La productividad de El Mirador 2 fue $36.73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ superior que la de Cerritos 1 ($P < 0.0001$; Figura 4c). La mayor concentración de N se presentó en las hojas de las PCT (alrededor de 80 % de la biomasa aérea del árbol; $P < 0.0001$), la cual fue para El Mirador, aproximadamente 10 % superior en cada componente de los árboles (Figura 4d).





IMAD = Incremento Medio Anual del Diámetro; $IMAh$ = Incremento Medio Anual en Altura. Los datos son medias de 75 repeticiones. Medias con distintas letras en cada barra (desviación estándar) son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Figura 4. Incremento medio anual (IMA), productividad y concentración de N en las plantaciones comerciales de teca (PCT) de 6 años en Nayarit, México.

Referente al comportamiento dasométrico e incrementos de PCT, Mollinedo *et al.* (2005) documentaron que la calidad de los sitios condiciona el crecimiento de *T. grandis*, ya que plantaciones de 3.6 años establecidas en Panamá registraron una altura promedio árbol de 13.43 m (h), $IMAh$ de 1.81 m año⁻¹ e $IMAD$ de 1.99 cm año⁻¹ en sitios de calidad baja; h de 15.38 m, $IMAh$ de 2.77 m año⁻¹ y el $IMAD$ de 2.77 cm año⁻¹ en los de calidad media; y h de 17.14 m, un $IMAh$ de 3.72 m año⁻¹ y el $IMAD$ de 3.67 cm año⁻¹ en los de calidad alta; valores comparables a El Mirador 2 y Cerritos 2. En cuanto a la productividad de PCT, la SAF (2009) citó rendimientos de 153.10 m³ ha⁻¹ a los 7 años y la Conafor (2013ab) de 73.3 m³ ha⁻¹ a los 6 años en México; este último, fue aproximadamente 14 % inferior a lo que se obtuvo en El Mirador 2. La productividad de Cerritos 2 y El

Mirador 2, fueron similares a los registros en PCT de 10 años evaluadas por Derwisch *et al.* (2009) en Panamá.

Musálem (2007), Arteaga y Castelán (2008) y De Camino y Morales (2013) señalaron que el manejo silvícola de las plantaciones, los espaciamientos (árbol - árbol), los sistemas de plantación y la edad, pueden acelerar o desacelerar el crecimiento y productividad de la teca. Entre los 3 y 5 años, la progresión en crecimiento en altura es acelerada (3 a 15 m promedio árbol), lo que favorece rápidos incrementos en AB y V; aunque en edades superiores a los 15 años, dicha progresión se desacelera.

Se ha documentado que el N se concentra, principalmente, en las hojas de algunas plantas, lo cual propicia la formación de la biomasa derivada de su disponibilidad, ya que existe una correlación positiva del nutriente con el crecimiento de las especies vegetales (Salisbury y Ross 1994; Alcántar y Trejo, 2007; Shrawat *et al.*, 2008; Salcedo *et al.*, 2014; Balám-Che *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2017). La concentración de N en hojas determinada en el presente estudio, es comparable con la indicada por Ypushima-Pinedo *et al.* (2014) en PCT de 9 años en Veracruz y Nayarit, México; al igual que con los valores de Murillo *et al.* (2015) en PCT de 3 a 18 años, ubicadas en Panamá.

Propiedades físicas y químicas del suelo

El presente estudio demostró que los suelos donde las PCT se desarrollaron mejor fueron los de textura franco arcillosa, Da entre 0.9 y 1 g cm³ ($P < 0.0001$), CIC mayor a 37 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ ($P < 0.0001$), pH más cercano a la neutralidad ($> 6 < 7$; $P < 0.0001$), MO > 1 % ($P < 0.0001$), y relación C/N entre 15 y 30 de 0 - 10 y 10 - 30 cm ($P < 0.0001$), lo cual se evidenció en El Mirador 2. La CE resultó estadísticamente similar entre las tres plantaciones ($P = 0.0994$) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características del suelo mineral de tres plantaciones comerciales de teca (PCT) en Nayarit, México.

Profundidad(cm)	Plantación Cerritos 1		Plantación Cerritos 2		Plantación El Mirador 2	
	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30
Textura	Fa		Fr		Fr	
Da (g cm ³)	0.87 c ± 0.02	1.14 a ± 0.01	0.95 b ± 0.03	1.12 a ± 0.01	0.99 b ± 0.05	1.13 a ± 0.01
CIC (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	28.70 e ± 0.004	28.13 f ± 0.02	38.85 a ± 0.01	38.07 b ± 0.03	37.80 c ± 0.02	37.06 d ± 0.004
CE (dS m ⁻¹)	0.06 a ± 0.002	0.05 a ± 0.01	0.04 a ± 0.003	0.04 a ± 0.01	0.05 a ± 0.004	0.05 a ± 0.01
pH	6.22 b ± 0.003	5.37 f ± 0.002	5.58 e ± 0.004	5.72 d ± 0.01	6.31 a ± 0.01	6.06 c ± 0.003
MO (%)	2.24 b ± 0.01	0.62 f ± 0.01	1.48 c ± 0.002	0.92 e ± 0.003	2.64 a ± 0.01	1.30 d ± 0.004
C (%)	1.29 b ± 0.002	0.35 e ± 0.18	0.86 c ± 0.30	0.53 d ± 0.003	1.53 a ± 0.03	1.12 b ± 0.11
N (%)	0.07 a ± 0.01	0.06 a ± 0.001	0.06 a ± 0.01	0.05 a ± 0.004	0.05 a ± 0.003	0.07 a ± 0.01
C/N	18.53 b ± 0.09	5.87 f ± 0.08	14.32 d ± 1.04	10.68 e ± 2.01	30.65 a ± 0.11	15.98 c ± 1.13

Fa = Franco arenoso; Fr = Franco arcilloso. Las medias son derivadas de tres repeticiones. Media (± desviación estándar) con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Los suelos con textura franco arcillosa benefician el crecimiento y productividad de la teca, puesto que favorecen la infiltración y retención de agua en la época seca; lo cual coincide con lo propuesto por diferentes autores (Fonseca, 2004; De Camino y Morales, 2013; Salcedo *et al.*, 2014; Ypushima-Pinedo *et al.*, 2014; Chaturvedi y Raghubanshi, 2015), y se asemeja a la productividad del El Mirador 2. Suelos con $Da > 1 \text{ g cm}^3$ interfieren en la nutrición de la teca (raíces poco expandidas en el suelo), debido al aumento de los macroporos. Normalmente, los cambios de uso

del suelo modifican la Da, y benefician la retención de MO y algunos nutrientes como el N, P y S (Balagopalan y Jose, 1997; Rodas, 2006). La teca tiene la particularidad de adaptarse a una gran variedad de suelos. Cuando el pH es muy ácido, desacelera su crecimiento y productividad (Fonseca, 2004; Zhou *et al.*, 2012; De Camino y Morales, 2013). En este sentido, Mollinedo *et al.* (2005) obtuvieron mayor volumen de madera en suelos con pH > 5.5 en plantaciones de teca establecidas en Panamá; Watanabe *et al.* (2009) en suelos con pH entre 6.5 a 7.5 en África, y Chaturvedi y Raghubanshi (2015) en pH >7, cifras comparables con las que se registraron en la plantación El Mirador 2.

Los resultados de CIC obtenidos por Balám-Che *et al.* (2015) en plantaciones de México fueron inferiores a los suelos de El Mirador 2; por lo tanto, la textura franco arcilloso resultó determinante para la retención de cationes, lo que fomentó su fertilidad química y contribuyó al desarrollo de las PCT (Mollinedo *et al.*, 2005; Salcedo-Pérez *et al.*, 2005). La aplicación de enmiendas y fertilizantes propician el incremento en *h* y *V* de la teca en más de 50 %, aunque en sus primeros meses de crecimiento es baja la demanda de nutrientes; no obstante, la actividad de la planta es inversa conforme aumenta el tamaño de la copa en función de la edad, lo cual ocasiona el incremento de los depósitos de MO en los suelos (Fonseca, 2004; Suzuki *et al.*, 2007; Ugalde, 2013; Balám-Che *et al.*, 2015).

La concentración de N en los suelos analizados en el presente estudio fue inferior a la documentada por Chaturvedi y Raghubanshi (2015) en la India. La existencia de dicho nutriente es necesaria para el crecimiento microbiano, ya que estos degradan la MO; cuando la concentración de N es baja, la velocidad de descomposición de la MO disminuye. Al ocurrir lo anterior, la mineralización del C orgánico dependerá de la adición de fuentes alternativas de N (Ferrera y Alarcón, 2001; FAO, 2017). En la plantación El Mirador 2 se obtuvieron valores muy altos en la relación C/N (aproximadamente el doble que en Cerritos 1 y Cerritos 2), lo constituye un indicador de la baja concentración de MO en los suelos analizados.

Cuando la relación C/N es superior a 14, indica que la descomposición de la MO es lenta, ya que los microorganismos inmovilizan el N y se impide su aprovechamiento por las plantas (Maycotte *et al.* 2011; Porta *et al.*, 2014; Gamarra *et al.*, 2018).

Conclusiones

Aunque las tres plantaciones se establecieron bajo las mismas condiciones hidroclimáticas y de manejo silvícola, la diferenciación del crecimiento es directamente proporcional a la calidad de los suelos y concentración de N en la biomasa de las hojas. Los mayores incrementos y productividad de la teca se presenta en suelos con el pH más cercano a la neutralidad ($6 < \text{pH} < 7$), CIC $> 30 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, MO $> 2.5 \%$ de 0 – 10 cm y relación C/N > 15 . También son preponderante las altas concentración de N en las hojas, representan 83 % de la biomasa aérea del árbol. El establecimiento exitoso de PCT en áreas tropicales exóticas requiere, entre otras cosas, de darle principal atención a la salud del suelo y al N disponible; de lo contrario, la productividad se afectará significativamente.

Agradecimientos

Al Lic. Álvaro Navarro Esquivel y colaboradores por aprobar la ejecución del proyecto en sus plantaciones comerciales de teca; al Departamento de Producción Forestal por asumir parte de la financiación del proyecto mediante P3E:224301-2327924; al Departamento de Madera, Celulosa y Papel (DMCyP), a Lovren R. G. *h.*, por ser un partícipe indirecto y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por financiar los estudios al M. C. Bayron Alexander Ruiz Blandon en la Universidad de Guadalajara (UdeG).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Eduardo Salcedo-Pérez, Bayron Alexander Ruiz Blandon y Efrén Hernández Álvarez: aportación económica, trabajo de campo, trabajo de laboratorio para el componente vegetal y propiedades físicas de los suelos, análisis e interpretación de resultados y redacción del manuscrito; Ricardo González Cruz, Eulogio Orozco-Guareño, José Anzaldo Hernández y Ezequiel Delgado-Fornué: análisis e interpretación de resultados para las propiedades químicas del suelo, trabajo de laboratorio y corrección del manuscrito; Antonio Bernabé-Antonio y César Bonifacio Ramírez-López: revisión del manuscrito, redacción e interpretación estadística de los resultados.

Referencias

Alcántar, G. y L. Trejo. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi Prensa. México, D.F., México. 451 p.

Arteaga, M. B. y M. L. Castelán. 2008. Evaluación dasométrica temprana de una plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el municipio de Huehuetla, Hidalgo. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14 (2): 105-111.

Balagopalan, M. and A. I. Jose. 1997. Effect of tree species on soil properties along a transect through teak, eucalypt and rubber in Kerala. *In: Chand, S., C. Mohanan and S. Sankar. Proceedings of the international teak symposium. Thiruvananthapuram, Kerala, India. pp 236-241.*

- Balám-Che, M., A. Gómez-Guerrero, J. J. Vargas-Hernández, A. Aldrete y J. J. Obrador-Olán. 2015. Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38 (2): 205-212.
- Bohre, P., O. Chaubey and P. Singhal. 2013. Biomass accumulation and carbon sequestration in *Tectona grandis* Linn. f. and *Gmelina arborea* Roxb. *Journal of BioScience and Biotechnology* 5 (3): 153-174.
- Cancino, J. 2006. *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción, Chile. 163 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2011. *Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México*. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Posgraduados. México, D. F. México. 472 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2013a. *Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 Años de su Creación*. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Posgraduados. México, D. F., México. 472 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2013b. *Evaluación de la situación actual de proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales finiquitados*. México, D. F., México. 74 p.
- Chaturvedi, R. K. and A.S. Raghubanshi. 2015. Assessment of carbon density and accumulation in mono-and multi-specific stands in Teak and Sal forests of a tropical dry region in India. *Forest Ecology and Management* 339: 11-21.
- De Camino, R. V. y J. P. Morales. 2013. *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*. Serie Técnica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). División de Investigación y Desarrollo. Turrialba, Costa Rica. 392 p.

- Derwisch, S., L. Schwendenmann, R. Olschewski and D. Hölscher. 2009. Estimation and economic evaluation of aboveground carbon storage of *Tectona grandis* plantations in Western Panama. *New Forests* 37 (3): 227-240.
- Espitia, C., G. Murillo y P. Castillo. 2011. Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). *Colombia forestal* 14 (1): 81-93.
- Ferrera C., R y A. Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *CIENCIA Ergo-Sum* 8 (2): 175-183.
- Fonseca G., W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 115 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2009. The Future of Teak and the High-Grade Tropical Hardwood Sector: Planted Forests and Trees Working Paper FP/44E. Roma, Italia. <http://www.fao.org>. (15 de noviembre de 2016).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 76 p.
- Gamarra L, C. C., M. I. Lezcano D., M. V. de Ortíz, M. D. P. Galeano y A. J. N. Cardús C. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (46): 4-26.
- Germplasm Resources Information Network (GRIN). 2017. National Plant Germplasm System: Taxonomy for plants resources. Information network. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?id=80123>. (11 de mayo de 2017).
- Hernández A., E., B. A. Ruiz, A. Gallegos y E. Salcedo. 2017. Estimación volumétrica en una plantación. *Revista e-Cucba* 5: 23-30.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2017. México. 469 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Mapa Digital de México (versión 6.1.0), México. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>. (12 febrero 2016).

Jayaraman, K. 2011. Report on the International Training Programme on teak Innovations in the Management of Planted Teak, Forests. 31 August - 3 September Kerala Forest Research Institute. Peechi, Kerala, India. 9 p

López, L. C. y A. González. 2005. Cultivo de la especie forestal comercial teca en el Sureste de México. Plan de negocios. Fundación mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal. México, D.F., México. 55 p.

Maycotte, C. C., C. A. Pereira, B. E. Restrepo, F. Mauro, A. Calle, M. J. Velarde. 2011. Edafología 1. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca De Soto, Hidalgo, México. 170 p.

Mollinedo, M., L. Ugalde, A. Alvarado, J. Verjans y L. Rudy. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29 (1): 67-75.

Murillo, R., A. Alvarado y J. Mark V. 2015. Concentración y acumulación de nutrimentos en la biomasa aérea de plantaciones de teca de 3 a 18 años en la cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 39 (3): 117-136.

Musálem S, M. A. 2007. Guía silvicultural de teca (*Tectona grandis* L.). *In: Musálem, M. A. Memorias del Curso Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Programa de Postgrado. Chapingo, Estado de México, México. 50 p.*

Pérez, D. and M. Kanninen. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 210: 425-441.

Porta C., J., M. López-Acevedo R. y R. M. Poch C. 2014. *Edafología: Uso y protección de suelos*. 3a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.

Rodas, C. 2006. Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) en áreas de potreros sobre características del suelo en Petén, Guatemala. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie). Turrialba, Costa Rica. 105 p.

Ruiz B, B. A. 2016. Valoración del carbono almacenado en una plantación forestal comercial de teca (*Tectona grandis*) bajo tres condiciones edáficas en Nayarit, México. Tesis de maestría. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Departamento de Madera, Celulosa y Papel Ing. Karl Augustin Grellmann. Zapopan, Jal., México. 84 p.

Salcedo-Pérez, E., A. Galvis, T. M. Hernández, R. Rodríguez, F. Zamora, R. Bugarin, R. Carrillo. 2005. La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana* 25: 419-425.

Salcedo P., E., A. L. Ypushima, R. González, J. F. Zamora, R. Rodríguez y R. Sánchez. 2014. Efecto de las propiedades edáficas y el contenido nutrimental foliar sobre el crecimiento de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (24): 80-91.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Ed. Grupo Editorial Iberoamericano. México, D.F., México. 759 p.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario oficial de la Federación. México, D. F., México. 85 p.

Shrawat, K. A., R. T. Carroll, M. DePauw, G. J. Taylor and A. Good. 2008. Genetic engineering of improved nitrogen use efficiency in rice by the tissue-specific expression of alanine aminotransferase. *Plant Biotechnology Journal* 6 (7): 722-732.

Society of American Foresters (SAF). 2009. Manejo de las plantaciones de teca para productos sólidos. STF Noticias. ISTF. *In: Actas, Convención Nacional de la SAF, Sección International Trade and Markets. Sociedad Internacional de Forestales Tropicales. Orlando, FL USA. 27 p.*

Sreejesh, K. K., T. P. Thomas, P. Rugmini, K. M. Prasanth and P. K. Kripa. 2013. Carbon sequestration Potential of Teak (*Tectona grandis*) plantations in Kerala. *Research Journal of Recent Sciences* 2: 167-170.

Statistical Analysis System (SAS). 2009. (Version 9.0) Raleigh, NC USA. s/p.

Suzuki, R., S. Takeda y H. M. Thein. 2007. Chronosequence changes in soil properties of teak (*Tectona grandis*) plantations in the Bago mountains, Myanmar. *Journal of Tropical Forest Science* 5 (24): 207-217.

Ugalde, A. L. 2013. Teak: New Trends in Silviculture, Commercialization and Wood Utilization. *International Forestry and AgroForestry and Fao. San José, Costa Rica. 552 p.*

Upadhyay, A., T. Eid, P. L. Sankhayan. 2005. Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (teak) from permanent plot data in India. *Forest Ecology and Management* 212: 14-22.

Watanabe, Y., T. Masunaga, E. Owusu-Sekyere, M. Buri, O. I. Oladele and T. Wakatsuki. 2009. Evaluation of growth and carbon storage as influenced by soil chemical properties and moisture on teak (*Tectona grandis*) in Ashanti region, Ghana. *J. Journal of Food Agriculture and Environment* 7 (2): 640-650.

Ypushima-Pinedo, A. L., E. Salcedo, R. Manríquez, J. A. Silva, J. F. Zamora y E. Hernández. 2014. Propiedades de la madera y relación del estado nutrimental con el crecimiento en teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (24): 26-39.

Zhou, Z., K. Liang, D. Xu, Y. Zhang, G. Huang and H. Ma. 2012. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. *New Forests* 43: 231–243.

Zhou, Z., S. Liu, K. Liang, H. Ma and G. Huang. 2017. Growth and mineral nutrient analysis of teak (*Tectona grandis*) grown on acidic soils in south China. *Journal of Forestry Research* 28: 503–511.