



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



Crecimiento, productividad e índices silviculturales en plantaciones juveniles de *Tectona grandis* L. f. en Perú

Growth, Productivity, and Silvicultural Indicators in Young Plantations of *Tectona grandis* L.f. in Peru

Claudia Vasquez-Miño^{1*} , Kevin Sulca-Gamboa¹ , Eloy Cuellar-Bautista¹ 

Vasquez-Miño, C., Sulca-Gamboa, K., Cuellar-Bautista, E. (2023). Crecimiento, productividad e índices silviculturales en plantaciones juveniles de *Tectona grandis* L. f. en Perú. *Colombia Forestal*, 26(1), 79-91.

Recepción: 3 de marzo 2022

Aprobación: 28 de septiembre 2022

Resumen

Se realizó un estudio en plantaciones de *Tectona grandis* de cinco años ubicadas en la región amazónica del Perú, con el objetivo de evaluar la respuesta en crecimiento, productividad, índices silviculturales y calidad. Se evaluaron 19 parcelas permanentes de monitoreo en 20.7 ha, distribuidas en cuatro zonas. Los parámetros dasométricos determinaron las variables cuantitativas, mientras que la ponderación de las variables cualitativas determinó la calidad inicial de la plantación. Los resultados muestran una plantación de buena calidad y espesura estable, con valores elevados de crecimiento y productividad, reportando diámetros de 16.93 cm y alturas de 13.27 m. Los incrementos medios anuales del diámetro y la altura fueron de 3.39 cm.año⁻¹ y 2.66 m.año⁻¹ respectivamente. Asimismo, se obtuvo un incremento medio anual volumétrico de 16.109 m³.ha⁻¹.año⁻¹. Este estudio contribuye a la toma de decisiones para la planificación de actividades silvícolas y muestra el comportamiento de la especie para futuras plantaciones en la región.

Palabras clave: monitoreo, parámetros dasométricos, parcelas permanentes, silvicultura, sitio, teca.

Abstract

A study was carried out in five-year-old plantations of *Tectona grandis* located in the Amazon region of Peru, in order to evaluate the response in growth, productivity, silvicultural indices, and quality. Nineteen permanent monitoring plots in 20.7 ha distributed in four zones were evaluated. The dasometric parameters determined the quantitative variables, while the weighting of the qualitative variables determined the initial quality of the plantation. The results show a plantation of good quality and stable thickness, with high growth and productivity values, reporting diameters of 16.93 cm and heights of 13.27 m. The mean annual increases in diameter and height were 3.39 cm.yr⁻¹ and 2.66 m.yr⁻¹, respectively. Moreover, a mean annual volumetric increase of 16.109 m³.ha⁻¹.yr⁻¹ was obtained. This study contributes to decision-making for the planning of silvicultural activities, and it shows the behavior of teak for future plantations in the region.

Keywords: monitoring, dasometric parameters, permanent plots, silviculture, site, teak.

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las plantaciones forestales han aumentado de manera acelerada a nivel mundial, (en promedio 4 millones ha.año⁻¹ desde 1990) las cuales representan el 3 % de los bosques del mundo, con una superficie aproximada de 131 millones de hectáreas (FAO, 2020). Asimismo, durante los último 60 años, América Latina y el Caribe se han convertido en un centro importante para el mercado mundial de la madera. Parte de este crecimiento se debe a que, en la década de 1970, países como Brasil, Chile y Uruguay apostaron por la expansión de plantaciones forestales maderables a través de la implementación de tecnología y políticas públicas (Sohngen, 2020; Muñoz, 2014).

El Gobierno Peruano, a través del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), buscó fortalecer la gobernanza e institucionalidad del sector (Llerena *et al.*, 2014), debido a que la participación en el mercado mundial de productos forestales procedente de bosques nativos del Perú fue menos del 1 % (Guariguata *et al.*, 2017). Como respuesta a esta problemática, se comenzó a desarrollar una industria forestal, reconociendo en las plantaciones forestales una oportunidad de negocio para la generación de empleo y abastecimiento de madera (Guariguata *et al.*, 2017; Ramírez, 2017). Según Gorbitz *et al.* (2020), la actividad de plantaciones forestales en Perú ha aumentado significativamente, a pesar del deficiente manejo silvicultural y la falta de criterios sólidos (Guariguata *et al.*, 2017).

La teca (*Tectona grandis* L.f.) es una especie frondosa originaria de la India, Myanmar, República Democrática de Lao y Tailandia, establecida también en la zona tropical de Asia, África tropical y América Latina (Pandey & Brown, 2000). Por iniciativa privada en la región amazónica peruana, esta especie ha sido difundida con el objetivo de incursionar en el mercado mundial de las maderas duras (Chuquicaja *et al.*, 2020). Esto, debido a que

es una especie con gran tradición de manejo y dispersión a nivel tropical (Camino, 2013). Además, su madera es reconocida a nivel internacional por su finura, alta durabilidad natural, estabilidad dimensional y trabajabilidad, lo cual ha permitido su empleo en una gran variedad de aplicaciones (Camino, 2013; Zevallos, 2017). En países latinoamericanos, la especie cuenta con información de manejo y aprovechamiento. Sin embargo, en Perú, la respuesta silvicultural ha sido poco evaluada y difundida (Dionisio, 2021). Existe escasez de literatura de rendimientos y comportamiento de la especie en diferentes condiciones (Torres, 2018). Esto hace necesario contar con estudios de productividad e indicadores que determinen el crecimiento de la especie, la selección de lugares adecuados y los parámetros para establecer plantaciones competitivas bajo condiciones óptimas.

Esta investigación tuvo como finalidad evaluar la respuesta en crecimiento, productividad, índices silviculturales y calidad de plantaciones de teca (*T. grandis*) de cinco años de edad ubicadas en Huánuco, Perú. Los datos obtenidos servirán como referencia para la planificación de futuras plantaciones forestales de teca en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en enero del 2019 en plantaciones comerciales de teca ubicadas en la región amazónica del centro-oriental del país, correspondiente a la región Huánuco, provincia y distrito de Puerto Inca, centro poblado Puerto Sungaro (Figura 1). Se distinguen unidades fisiográficas con paisajes ondulados, colinas medias a bajas y presencia de terrazas (Aguilar, 2019), pues el área se encuentra en la zona de transición con la llanura amazónica.

La zona de vida, de acuerdo a la clasificación establecida por Holdridge en 1978, corresponde

a un bosque húmedo tropical (bh-T). El rango altitudinal varía entre los 222 y 248 m, y el clima se caracteriza por presentar una temperatura media de 23.5 °C, con temperaturas máximas y mínimas promedio de 33 y 11°C respectivamente (Aguilar, 2019), y una precipitación promedio de 2317 mm, distribuida por ocho meses de temporada húmeda y cuatro meses (junio-septiembre) de temporada seca (Torres, 2018). Los suelos son ultisoles, arcillosos, ácidos, con bajo contenido de saturación de bases y baja fertilidad (Serrano, 2008 citado en Torres, 2018).

Plantación evaluada

La plantación se estableció en el año 2014, abarcando una superficie de 20.7 ha, delimitada en cuatro zonas o bloques con características propias (pendiente, clase textural, fertilidad y uso del suelo). El material genético empleado procede de semillas importadas del CATIE (Costa Rica), las cuales se utilizaron para la propagación y producción de plántones empleando bolsas de polietileno.

Para la preparación del terreno, se realizó el desbrozado, limpiado y habilitado del lugar. Se llevó a cabo una fertilización directa en mezcla de 100 g de NPK-20-20-20 (50 kg. ha⁻¹) y 50 g de roca fosfórica (25 kg. ha⁻¹) por planta, utilizados en la zona como formulación estándar para plantaciones forestales. El distanciamiento de la plantación fue de 4 x 5 m, con una densidad inicial de 500 árboles.ha⁻¹.

Durante el crecimiento de los árboles, se realizó el desmalezado manual, tres veces al año durante los dos primeros años. Debido al crecimiento acelerado de la especie, las actividades silvícolas iniciaron seis meses después de la instalación mediante podas de formación. Al tercer año se realizó la primera poda de la totalidad de los árboles para la producción de madera libre de nudos hasta los dos metros de altura, y al quinto año la segunda poda de árboles sanos, rectos y vigorosos en función del diámetro, representando una intensidad del 65 %, lográndose podar hasta los 4.5 m.

Tamaño de la muestra

Se realizó un diseño de bloques completos al azar, con una intensidad de muestreo de 7.71 %, instalando 19 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) con diseño rectangular de 28 x 30 m (840 m²) y comprendiendo un total de 798 árboles (Figura 1). El número de parcelas distribuidas aleatoriamente estuvo en función de la superficie plantada: las zonas 1 y 2 presentaron cuatro parcelas, mientras que las zonas 3 y 4 presentaron cinco y seis respectivamente.

La zona 1 se caracterizó por presentar pastizales abandonados, una menor pendiente, clases texturales franco-arcillosa y arcillosa, problemas de compactación y bajo nivel de fósforo. La zona 2, caracterizada por bosques secundarios tempranos, presentó una mayor pendiente, suelos más ácidos, clases texturales franco-arcillosa y arcillosa y bajos niveles de materia orgánica (MO) y fósforo. La zona 3 se caracterizó por bosques secundarios tempranos, una clase textural arcillosa, problemas de compactación y drenaje y adecuados niveles de materia orgánica y potasio. Finalmente, la zona 4, de clase textural arcillosa, presentó menores niveles de compactación, pH óptimo y buenos niveles de materia orgánica (Tabla 1).

Evaluación de crecimiento, productividad y parámetros silviculturales

Se empleó una cinta diamétrica para medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.3 m de la base. Asimismo, se estimaron las alturas total y comercial (m) utilizando el hipsómetro Suunto. El área de la copa se determinó midiendo dos diámetros perpendiculares de la proyección de la copa en cuatro puntos sobre el suelo.

La productividad estuvo en función de las siguientes variables indirectas: incrementos medios anuales (IMA) en DAP, altura total, área basal y volumen. El área basal (g) fue calculada mediante la Ecuación (1), y el volumen maderable con la Ecuación (2) (Prodan et al., 1997).

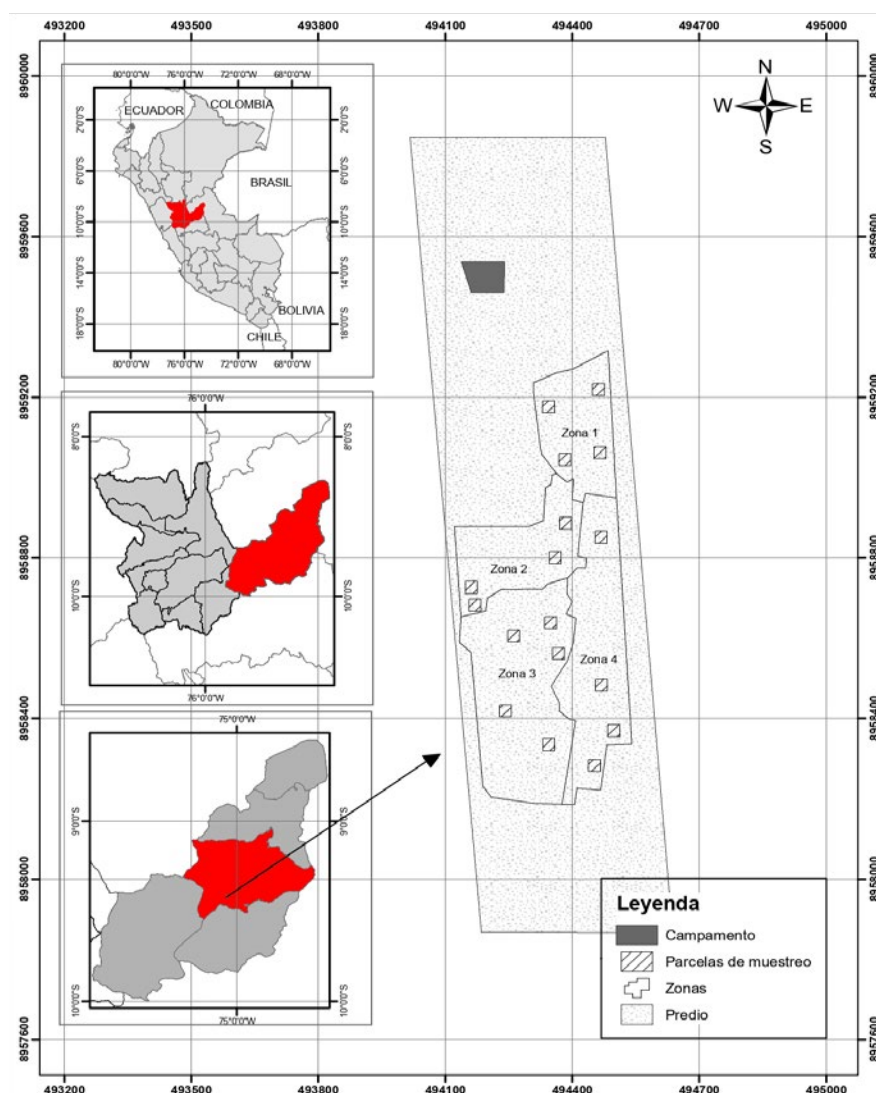


Figura 1. Ubicación de la plantación de *Tectona grandis* en Puerto Sungaro, Perú

Tabla 1. Características edáficas de las zonas de la plantación evaluada

Zona	Pendiente (%)	DA (g/cc)	Clase textural	pH (1:1)	MO (%)	P ppm	K Ppm	CIC (meq/100g)	Uso del suelo
Zona 1	9.7	1.41	Ar.-Fr. Ar.	5.87	2.43	4.8	153	24.80	Pastizal y bosque secundario
Zona 2	18.8	1.43	Ar.-Fr. Ar.	5.72	1.33	3.9	158	24.56	Bosque secundario
Zona 3	12.4	1.39	Ar.	6.28	2.88	6	179	26.80	Bosque secundario
Zona 4	13.4	1.43	Ar.	6.07	2.59	4.2	112	31.20	Bosque secundario

DA: Densidad aparente; **pH:** Potencial de hidrogeniones; **MO:** materia orgánica; **CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico.

Área basal (m^2)

$$g = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{DAP}{100} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

g: Área basal por árbol (m^2)

DAP: Diámetro altura al pecho en centímetros (cm)

Volumen (m^3)

$$V = hc * g * fm \quad (2)$$

Donde:

V: Volumen por árbol (m^3)

hc: Altura comercial del árbol (m)

g: Área basal (m^2)

fm: Factor de forma del árbol 0.55 (tomado de Aguilar et al., 2017) de plantaciones de 5 años

Los parámetros silviculturales fueron evaluados a través del índice de fracción de cubida de cubierta (Fcc) de Schütz (1990) y Lanier (1986, la relación de espaciamiento (E) de Ramos (1979), el índice de copa (I_{copa}) y el coeficiente de esbeltez (CE) o factor de estabilidad (Celeforestal, 2020).

Fracción de cubida de cubierta (Fcc)

$$FCC (\%) = \frac{\sum n_i * S_{ci}}{S_{\text{terreno}}} * 100 \quad (3)$$

Donde:

S_{ci} : Superficie proyectada por la copa de un árbol

S_{terreno} : Superficie del terreno

Relación de espaciamiento (E)

$$E \text{ masa} = \sqrt{\frac{100 * FCC (\%) * \frac{\pi}{4}}{G}} \quad (4)$$

Donde:

G: Área basimétrica ($m^2 \cdot ha^{-1}$)

Fcc (%): Fracción de cubida de cubierta

Índice de copa viva

$$I_{\text{copa}} = \frac{H_{\text{media copa}}}{H_{\text{media}}} \quad (5)$$

Coeficiente de esbeltez

$$CE \text{ masa} = \frac{H_{\text{media}}}{D_{\text{medio}}} \quad (6)$$

La calidad inicial de la plantación se determinó mediante variables cualitativas adaptadas de la metodología para plantaciones de teca de Murillo (2003): presencia de bifurcación (1 = bifurcado, 2 = no bifurcado); inclinación del fuste (1 = inclinación en un ángulo mayor a 30° pero menor a 60° con respecto al eje vertical imaginario, 2 = inclinación en un ángulo mayor a 60° pero menor que 90°, 3 = árbol recto); rectitud del fuste (1 = fuste curvo, 2 = fuste sinuoso, 3 = fuste semi-sinuoso con una ligera desviación, 4 = fuste recto); forma de la base (1 = base con presencia de aletones o proyecciones, 2 = base con ligera presencia de irregularidades, 3 = base circular); y estado fitosanitario (1 = ligeramente afectado, 2 = sano). Todos los parámetros mencionados y sus puntuaciones respectivas conformaron una nueva variable de calidad a través de la sumatoria de sus valores. Acto seguido, esta variable fue clasificada en tres categorías: calidad 1 (buena), para valores con sumatoria de 14 hasta 16; calidad 2 (regular), de 11 a 13; y calidad 3 (mala), de 5 a 10.

Finalmente, para el cálculo estadístico se empleó el software IBM SPSS Statistics (IBM Corporation, 2017).

RESULTADOS

Variables de crecimiento de la plantación de teca

La mortalidad promedio de la plantación fue de 9.77 %, con una variación entre 5.16 y 16.07 % en las cuatro zonas. El DAP promedio obtenido fue de 16.93 cm, presentando valores mínimos de 16.27 cm en la zona 1 y máximos de 17.48 cm en

la zona 4. La altura total media de los árboles fue de 13.27 m, con rangos que se sitúan entre los 12.17 m en la zona 1 y 14.0 m en la zona 2 (Tabla 2).

Las características iniciales y el uso del suelo descritos en la Tabla 1 han tenido influencia sobre el DAP y la altura total de la plantación. Las medidas de tendencia central y variación indican que el DAP de la zona 2 presentó menor desviación estándar (3.01) y coeficiente de variación (17.86 %) en comparación con la zona 1, que registró una mayor variabilidad. En cuanto a la altura total, se encontró mayor variación en la dispersión de los datos en la zona 1, con un coeficiente de variación de 20.25 %. Por el contrario, la zona 2 presentó una reducción significativa, con 1.57 de desviación estándar y 11.23 % de coeficiente de variación (Tabla 2).

Las Figuras 2a y 2b muestran el diagrama de cajas y bigotes de los diámetros y alturas totales de la plantación. No se encontraron diferencias entre las medianas de los diámetros obtenidos en las cuatro zonas. Sin embargo, la zona 1 presentó un mayor rango intercuartil, a diferencia de la zona 3, que exhibió mayor cantidad de valores atípicos (DAP menores a los 10 cm asociados a rebrotes y árboles próximos a los 30 cm). En cuanto a la altura total (Figura 2b), se presentó una mayor variación entre las medianas: las zonas 2 y 4 con valores de 14 m, la zona 1 con 11.5 m y la zona 3 con 13.25 m.

Productividad de las plantaciones de teca

La media del IMA DAP fue de 3.39 cm.año⁻¹, con un valor máximo de 3.50 cm.año⁻¹ en la zona 4 y uno mínimo de 3.25 cm.año⁻¹ en la zona 1 (Tabla 3). Asimismo, se registró un IMA de altura promedio de 2.66 m.año⁻¹, con un máximo de 2.80 m.año⁻¹ en la zona 2 y un mínimo de 2.43 m.año⁻¹ en la zona 1. La plantación registró valores promedios de IMA de área basal de 2.129 m².ha⁻¹.año⁻¹ e IMA volumétrico de 16.109 m³.ha⁻¹.año⁻¹. El mayor valor de 18.209 m³.ha⁻¹.año⁻¹ se obtuvo en la zona 4, y el menor valor de 13.606 m³.ha⁻¹.año⁻¹ en la zona 1; mientras que el volumen total siguió la misma tendencia, con 91.046 m³.ha⁻¹ y 68.028 m³.ha⁻¹ respectivamente.

Parámetros silviculturales

En la Tabla 4 se observa el área basal promedio de 10.65 m².ha⁻¹ para los cinco años. La fracción de cabida cubierta (Fcc%) se encuentra alrededor del 86.81 %, y la espesura de masa presentó valores medios de 25.38. Asimismo, se evidenció un índice de copa viva de 0.65, siendo 4.5 m la altura de la segunda poda realizada. El coeficiente de esbeltez obtenido mostró una variación entre 74.79 y 83.14, con un valor promedio de 78.37.

Tabla 2. Resumen de las variables dasométricas para plantaciones de *T. grandis* a los 5 años de edad

Zona	Nº de árboles evaluados	Sobrevivencia (%)	Mortalidad (%)	DAP (cm)				Altura total (m)			
				Media	S _x	CV (%)	EEM	Media	S _x	CV (%)	EEM
1	168	83.93	16.07	16.27	4.61	28.37	0.39	12.17	2.46	20.25	0.21
2	168	89.29	10.71	16.84	3.01	17.86	0.25	14.00	1.57	11.23	0.13
3	210	90.48	9.52	16.88	3.37	19.95	0.24	13.08	1.99	15.20	0.14
4	252	94.84	5.16	17.48	3.44	19.70	0.22	13.69	1.76	12.88	0.11
Prom		90.23	9.77	16.93	3.58	21.20	0.27	13.27	1.93	14.69	0.14

DAP: Diámetro a la altura de pecho; S_x: Desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación; EEM: Error estándar de la media; Prom: Promedio ponderado.

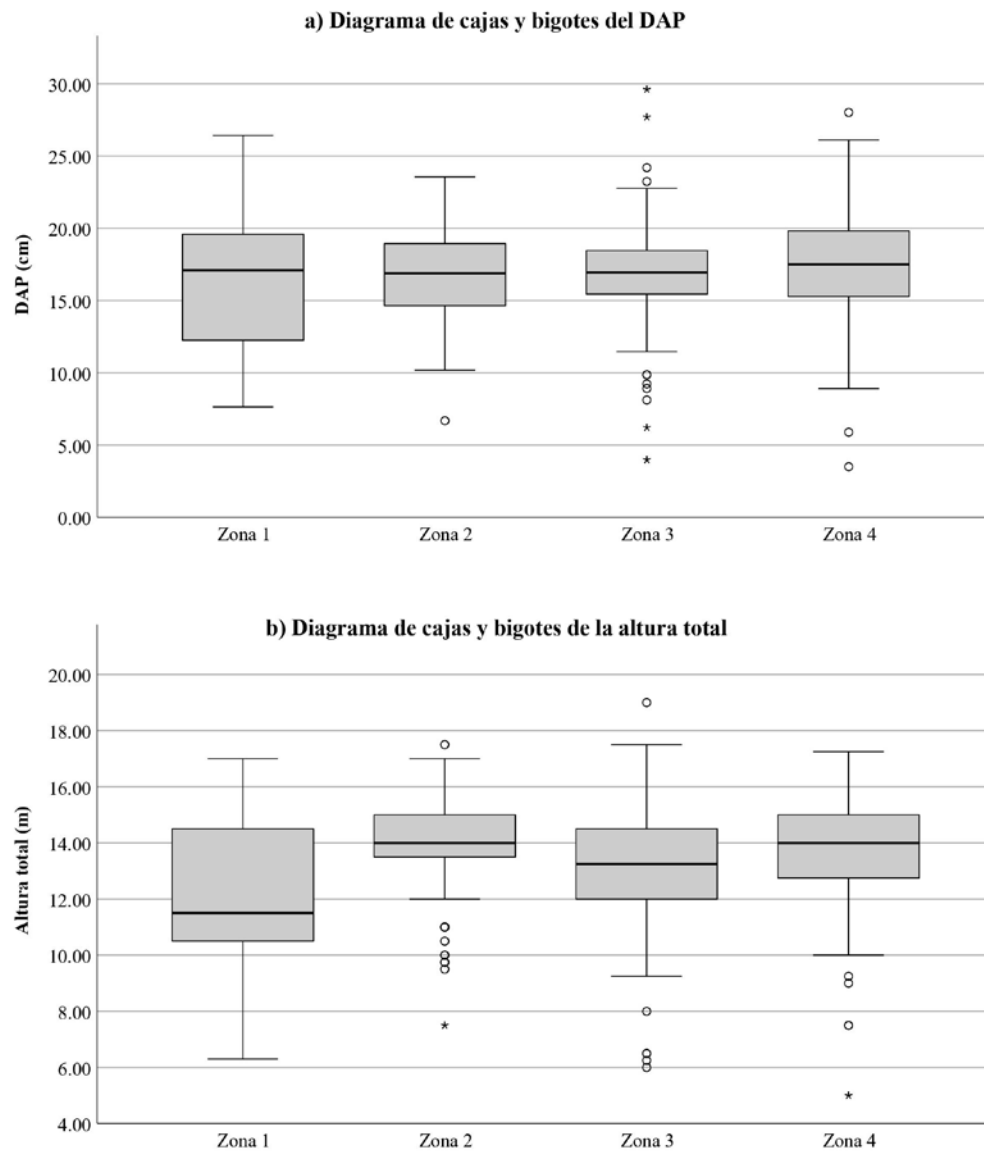


Figura 2. Diagrama de *boxplot* de los DAP y alturas de los árboles en las diferentes zonas de evaluación

Tabla 3. Resumen de productividad para plantaciones de *T. grandis* a los 5 años de edad

Zona	IMA DAP (cm.año ⁻¹)	IMA altura (m.año ⁻¹)	IMA área basal (m ² .ha ⁻¹ .año ⁻¹)	IMA volumen (m ³ .ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Volumen comercial (m ³ .ha ⁻¹)	Volumen total (m ³ .ha ⁻¹)
1	3.25	2.43	1.884	13.606	25.200	68.028
2	3.37	2.80	2.052	16.197	27.794	80.985
3	3.38	2.62	2.106	15.520	26.222	77.600
4	3.50	2.74	2.364	18.209	28.879	91.046
Prom	3.39	2.66	2.129	16.109	27.177	80.544

IMA: Incremento Media Anual; Prom: Promedio ponderado.

Tabla 4. Resumen de parámetros silviculturales para plantaciones de *T. grandis* a los 5 años

Zona	G (m ² .ha ⁻¹)	Fcc (%)	E árbol	E masa	I copa	CE
1	9.42	89.38	30.95	27.30	0.60	74.79
2	10.26	87.21	29.53	25.84	0.65	83.14
3	10.53	88.53	29.65	25.70	0.66	77.46
4	11.82	83.39	26.95	23.54	0.69	78.33
Prom	10.65	86.81	29.05	25.38	0.65	78.37

G: Área basimétrica; **Fcc (%)**: Fracción de cabida de cubierta; **E árbol**: Relación de espaciamiento promedio de árboles individuales; **E masa**: Relación de espaciamiento de la masa; **I copa**: Índice de copa viva; **CE**: Coeficiente de esbeltez; **Prom**: Promedio ponderado.

Calidad de la plantación de teca

El 64.5 % de los árboles en pie fueron clasificados dentro de la calidad 1 (Tabla 5), i.e., árboles con buenas dimensiones, fuste recto, ausencia de bifurcaciones y aletones en la base, buen estado fitosanitario, adecuados para producción de madera y buenas características aserrables. Por otro lado, se registró un 33.5 % de árboles de calidad intermedia (calidad 2), con algunos defectos. Asimismo, se obtuvo un pequeño porcentaje (2%) de árboles con características no deseables (calidad 3). Estas últimas calidades fueron identificadas para el raleo.

Tabla 5. Obtención de calidades en árbol en pie en plantaciones de teca

Zona	Calidad 1 (%)	Calidad 2 (%)	Calidad 3 (%)
1	71.6	27.0	1.4
2	75.3	24.0	0.7
3	54.5	40.7	4.8
4	60.9	38.2	0.8
Prom	64.5	33.5	2.0

Prom: Promedio ponderado.

DISCUSIÓN

Variables de crecimiento de la plantación de teca

Según la FAO (2022), los requerimientos ecológicos para el óptimo crecimiento de la teca están asociados a temperaturas de 22-32 °C, precipitaciones de 1500-4000 mm, a 0-500 m de altitud, suelos profundos con un buen drenaje y pH de 6.0-7.5. Además, Kraenzel et al. (2003) mencionan que un factor climático importante para el adecuado crecimiento de la teca es el periodo seco de 3 y 5 meses. La evaluación de datos ecológicos y edáficos en la plantación de Puerto Sungaro indica que esta fue establecida bajo condiciones apropiadas para el crecimiento de la especie, la cual reporta valores de mortalidad (5-16 %) similares a los encontrados por Gonzales (2017) en plantaciones de tres años en Cuba (5-18 %).

Los resultados de este estudio presentaron diámetros de 16.27-17.48 cm y alturas totales de 12.17-14 m, valores superiores para diámetros y similares para alturas con respecto a los datos promedios establecidos por Camino (2013) en plantaciones de cinco años para Latinoamérica (12.9 cm y 12.9 m). Esto, siguiendo la misma tendencia

reportada por Solares (2014) en Guatemala para teca de 5.3 años procedente de rodales de origen clonal (13.7-18.1 cm en diámetro y 12.2 m en altura) y de semillas sexuales (12.1 cm y 12.08 m) instalados en suelos alcalinos superiores a pH 8, con bajos niveles de fósforo y similares cantidades de materia orgánica; además de lo reportado por Rivera (2015) en plantaciones de cinco años de teca en Guanacaste (Costa Rica), con valores de 13-15 cm de DAP. Asimismo, para la misma región de Huánuco, Ramírez (2017) obtuvo valores de 13.6 cm de diámetro y 12.8 m de altura en plantaciones de 5.1 años con similares características edáficas. Los valores elevados en diámetro y cercanos en altura, pueden deberse a la densidad inicial de la plantación (4 x 5 m). Nahuel et al. (2019) demostraron que, en densidades iniciales bajas (400 árboles.ha⁻¹ o menos), se promueve el crecimiento del diámetro, pero se presentan reducciones en la altura de la teca. Por su parte, Espinoza y Muñoz (2005) consideran que la altura está asociada a la calidad del sitio.

En este estudio, la zona 1, situada en áreas de pastizales, presentó menor crecimiento, producto de la baja fertilidad y compactación del suelo. Por el contrario, la zona 2, ubicada en áreas de bosques secundarios tempranos y con suelos más ácidos, presentó mayor crecimiento en altura; mientras que la zona 4, con óptimos valores de pH y mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC), obtuvo mayor crecimiento en diámetro. Confirmando lo mencionado por Schargel y Hernando (2013) y Ramírez (2017), el crecimiento en diámetro y altura de la teca están influenciados por las condiciones edáficas, con un crecimiento mayor en suelos drenados y con pH ligeramente ácido.

Productividad de las plantaciones de teca

Los valores obtenidos de IMA DAP de 3.39 cm.año⁻¹ y 2.66 m.año⁻¹ de altura (Tabla 3) fueron más elevados que los reportados en la categoría de valores altos por otros autores como Dionisio (2021), quien obtuvo un IMA DAP de 2.93 cm.año⁻¹ y una

altura de 3.66 m.año⁻¹ en plantaciones de teca en San Martín (Perú). Asimismo, Ramírez (2017) reportó valores promedio para Huánuco de IMA DAP de 2.36 cm.año⁻¹ e IMA de altura de 2.2 m.año⁻¹. Asimismo, para plantaciones de 6 años en Guatemala, Mollinedo et al. (2016) reportaron IMA DAP de 2.82 cm.año⁻¹ y una altura total de 2.03 m.año⁻¹ respectivamente, al igual que Sánchez (2021) en Ecuador, con IMA DAP y altura de 2.89 cm.año⁻¹ y 2.63 m.año⁻¹ respectivamente. Con base en estos resultados, se puede afirmar que las plantaciones registran rangos adecuados para producción maderable.

Los resultados de IMA volumétrico de 16.109 m³.ha⁻¹.año⁻¹ fueron inferiores a los obtenidos por Sánchez (2021), quien consideró valores promedios para Ecuador de IMA volumétrico de 25.9 m³.ha⁻¹.año⁻¹, con un IMA de área basal de 2.32 m².ha⁻¹.año⁻¹. Asimismo, para Guatemala, Mollinedo et al. (2016) consideraron valores elevados para un (IS₁₀) de IMA área basal de 2.48 m².ha⁻¹.año⁻¹ e IMA volumétrico de 17.22 m³.ha.año⁻¹. Los valores obtenidos en el estudio para el IMA de área basal oscilan entre 2.36 y 1.88 m².ha⁻¹.año⁻¹, con un promedio de 2.129 m².ha⁻¹.año⁻¹, resultados cercanos a los obtenidos por los mencionados autores. Sin embargo, esta ligera inferioridad se debe a la característica juvenil, la densidad de la plantación y la mortalidad natural.

Parámetros silviculturales

El área basimétrica resultante fue de 10.51 m².ha⁻¹ (Tabla 4). Si bien se deben utilizar datos específicos para la especie para una adecuada gestión de la masa forestal, al no contar con ello, la discusión girará en torno a dos comparaciones (i.e., con resultados obtenidos en otras plantaciones y con las tablas del autor). En primer lugar, se presenta una comparación de resultados con otras plantaciones evaluadas y, en segundo lugar, una comparación con tablas de clasificación genérica proporcionadas por Celeforestal (2020). Teniendo en cuenta que la densidad de plantación inicial

afecta directamente al área basal (Pérez *et al.*, 2012), autores como Vaides *et al.* (2006) obtuvieron valores intermedios (estimados al quinto año) de 11.15 m².ha⁻¹, así como valores altos de 12.95 m².ha⁻¹ para sitios buenos y con mayor densidad. De igual forma, en Ecuador, Bravo (2020) obtuvo áreas basales de 8.61 y 11.46 m².ha⁻¹ en dos zonas de plantación de cuatro años con una densidad de 833 árboles.ha⁻¹. En ese sentido, la plantación presentó una espesura ligeramente defectiva, considerando una densidad inicial de 500 árboles.ha⁻¹. Asimismo, las tablas de clasificación genéricas describen una masa forestal clara, cercana a defectiva (4.94-13.92 m².ha⁻¹), lo cual indica que es necesario aplicar un raleo al área.

La fracción de cabida cubierta (Fcc%) o cobertura de copa de 86.81 %, según la clasificación genérica de Celeforestal (2020), muestra una masa forestal completa (85-100 %), *i.e.*, el espacio disponible que tienen los árboles para seguir creciendo es mínimo, un indicador de la necesidad pronta de raleo.

El índice de copa viva (I_{copa}) o porcentaje de copa fue de 65 %. Se evidencia que árboles cubiertos por una extensa copa se esperan en sitios de baja ocupación (Arias, 2005), contrastando este dato con los resultados obtenidos en el área basimétrica y la fracción de cabida cubierta, nos indica, la necesidad pronta de una tercera poda, la cual en el momento de la evaluación llegó hasta los 4.5 m.

Finalmente, el coeficiente de esbeltez (CE) obtenido fue de 78.37, clasificado como masa estable frente a la acción de derribo (<80), según la clasificación genérica de Celeforestal (2020), pero que pronto requerirá de un espaciamiento mayor mediante acciones de poda y raleo para mantener un crecimiento favorable.

Calidad inicial de la plantación de teca

La plantación evaluada presentó un 64.5 % de árboles de buena calidad, con trozas adecuadas para aserrío (calidad 1); 33.5 % con características

regulares (calidad 2); y 2 % de árboles no deseables (calidad 3), con gran cantidad de defectos (Tabla 5). En plantaciones de teca en Costa Rica, Rojas y Murillo (2000), considerando cuatro calidades y criterios de evaluación similares, reportaron que el 40.2 % de árboles correspondió a calidades inferiores (3 y 4), el 56.6 % presentó ligeros defectos, y el 5.52 % fue de excelente calidad. En contraste, la calidad inicial de la plantación evaluada reportó buenos resultados, y se seleccionaron a las calidades 2 y 3 como candidatas para raleo.

CONCLUSIONES

El crecimiento y la productividad de las plantaciones presentaron valores adecuados para la producción maderable: DAP promedio de 16.93 cm, altura de 13.27 m e IMA volumétrico de 16.109 m³.ha.año⁻¹. Los resultados están bajo la influencia de condiciones ecológicas –edáficas de cada zona, presentando valores mínimos (zona 1) y máximos (zona 4) asociados a la compactación y fertilidad del suelo. Las variables silviculturales definen la espesura como ligeramente defectiva, una cobertura de copa completa, un índice de copa viva excesivo y un coeficiente de esbeltez ligeramente estable, indicadores que sugieren la necesidad de actividades inmediatas de poda y raleo. Finalmente, el 64.5 % de los árboles presentó una calidad inicial buena.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

K. A. S. G. lideró la investigación. K. A. S. G. y C. T. V. M. llevaron a cabo la investigación de campo. K. A. S. G., C. T. V. M. y J. E. C. B. analizaron los datos. K. A. S. G. y C. T. V. M. realizaron la discusión y redactaron el manuscrito. J. E. C. B. comentó los borradores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Agroforestal Rancho el Gran Pecos Bills SAC y a todos los colaboradores de campo en la realización del presente estudio (Yordy Príncipe, Johoy León y Melissa Ramos).

REFERENCIAS

- Aguilar, C., Sequeira, A., & Peralta, E. (2017).** Factor de forma para la *Tectona grandis* L.F, empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Ciencia e Interculturalidad*, 21(2), 74-84.
<https://doi.org/10.5377/rci.v21i2.5602>
- Aguilar, J. (2019).** *Propiedades mecánicas de madera de raleo de 6 años provenientes de plantaciones de Guazuma crinita en Puerto Inca-Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4030>
- Arias, D. (2005).** Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Kurú: Revista Forestal*, 2(5), 19-32.
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/543>
- Bravo, C. (2020).** *Evaluación dasométrica de plantaciones de Tectona grandis L.f. en los cantones Balzar, Guaya y Pichincha, Manabí*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2655>
- Camino, R., & Morales, J. (2013).** *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Chuquicaja, C., Pereira, M., Klitzke, R., & Gonzales, H. (2020).** Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f) plantada en Chanchamayo-Perú. *Ciência da Madeira*, 11(2), 107-120.
<https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p107-120>
- Dionisio, B. (2021).** *Aplicación de tratamientos silviculturales para el establecimiento y manejo de plantaciones de Tectona grandis L. en Picota, San Martín, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/5253>
- Espinosa, M., & Muñoz, F. (2005).** *Silvicultura de plantaciones*. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción.
- Gorbitz, G., Ríos, L., Marujo, C., Cornejo, V., Medina, R., & Sáenz, L. (2020).** Estimación de la ganancia genética espera de *Pinus tecunumanii* en plantaciones forestales en Oxapampa, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 35(3), 56-64.
<https://doi.org/10.21704/rfp.v35i3.1601>
- González, E. (2017).** Evaluación del crecimiento de las plantaciones de *Tectona grandis* L.F. Unidad Silvícola Mayarí. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(3), 330-339.
<https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/180/html>
- Guariguata, M., Arce, J., Ammour, T., & Capella, L. (2017).** *Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual, y perspectivas a futuro*. Centro para la Investigación Forestal Internacional.
<http://dx.doi.org/10.17528/cifor/006461>
- Holdridge, L. (1978).** *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- IBM Corporation (2017).** *IBM SPSS statistics for Windows, version 25.0*. IBM Corporation.
- Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T., & Potvin, C. (2003).** Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management*, 173, 213-225.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00002-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00002-6)
- Lanier, L. (1986).** *Précis de Sylviculture*. École National du Génie Rural, des Eaux et des Forêts.
- López, C. (Celeforestal) (09 de junio de 2020).** *Espesura de la masa (I) fracción de cabida cubierta* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=d2iDrKaW1Ek>
- Llerena, C., Yalle, S., & Silvestre, S. (2014).** *El bosque y el cambio climático en el Perú: Situación y perspectivas*. FAO.
- Mollinedo, M., Herrera, M., & Muñoz, F. (2016).** Caracterización del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y estimación

de curvas de índice de sitio en el área septentrional de la República de Guatemala. *Madera y Bosques*, 22(2), 89-103.

<https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221327>

Murillo, O. (2003, 9-11 de abril). ¿Cómo estimar la calidad de la materia prima desde el árbol en pie?: el caso de la teca en Costa Rica [Presentación en conferencia]. Seminario sobre la Industrialización y Comercialización de productos forestales en Latinoamérica, Heredia, Costa Rica.

Muñoz, F. (2014). *Presente y futuro del sector forestal peruano: el caso de las concesiones y las plantaciones forestales* [Presentación de PowerPoint].

<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Seminarios/2014/forestal/forestal-2014-munoz.pdf>

Nahuel, A., Somphanh, S., Outhai S., Maichor, L., Sianouvong, S., Jonathan, C., Bounkieng, S., Bounthan, K., & Mark, J. (2019). Initial spacing of teak (*Tectona grandis*) in northern Lao PDR: Impacts on the growth of teak and companion crops. *Forest Ecology and Management*, 435, 77-88.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.031>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2022). *Ecocrop, Database of Crop Constraints and Characteristics*. FAO.

<https://ecocrop.review.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=2054>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Principales resultados*. FAO.

<https://doi.org/10.4060/ca8753es>

Pandey, D., & Brown, C. (2000). Teak: A global overview. *Unasylva*, 51(2), 3-13.

<https://www.fao.org/3/x4565e/x4565e03.htm#TopOfPage>

Pérez, G., Domínguez, M., Martínez, P., & Etchevers, J. (2012). Caracterización dasométrica e índices de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 18(1), 7-24.

<https://doi.org/10.21829/myb.2012.181511>

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura forestal*. IICA, GTZ.

Ramos, J. (1979). *Selvicultura*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

Ramírez, M. (2017). *Incremento medio anual de teca (Tectona grandis L. f.) en plantaciones comerciales, Distrito de Puerto Inca, Huánuco-Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1718>

Rivera, M. (2015). *Análisis de la producción maderable de teca (Tectona grandis Linn. F.) en plantaciones y sistemas agroforestales de hojancha, Costa Rica, y bases para el desarrollo de un plan de incidencia política para promover su cultivo*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza]. Repositorio Institucional CATIE.

<http://hdl.handle.net/11554/7201>.

Rojas, O., & Murillo, O. (2000). Calidad de las plantaciones de teca en la península de Nicoya, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 24(2), 65-75.

<https://doi.org/10.15517/rac.v38i1.15114>.

Sánchez, N. (2021). *Determinación del incremento medio anual (IMA) de Tectona grandis L.f. proveniente de trece fuentes semilleras en la estación experimental Portoviejo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Provincia de Manabí*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6528>

Sohnngen, B. (2020). Forest management and trade for forest products. In A. Blackman (Ed.), *Latin American and Caribbean forests in the 2020s: Trends, challenges, and opportunities* (pp. 124-158). Inter-American Development Bank.

Solares, A. (2014). *Evaluación del crecimiento y desarrollo de plantas de teca (Tectona grandis L.f.) producidas mediante semilla y clones, en la Finca Colorada, Sayaxche, Peten*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar].

<http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/22/Solares-Ana.pdf>

Schargel, I., & Hernando, G. (2013). *Crecimiento Inicial de Plantaciones de teca (Tectona grandis L.F) sobre diferentes suelos en el Municipio de Guanarito*,

Estado Portuguesa, Venezuela [Presentación en conferencia]. Cuarto congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Argentina.

https://www.academia.edu/7396633/CRECIMIENTO_INICIAL_DE_PLANTACIONES_DE_TECA_Tectona_grandis_L_F_SOBRE_DIFERENTES_SUELOS_EN_EL_MUNICIPIO_GUANARITO_ESTADO_PORTUGUESA_VENEZUELA?source=swp_share

Schütz, J. (1990). *Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

Torres, M. (2018). *Descripción morfológica de progenies de teca (Tectona grandis) de diferentes procedencias, a un año de instalado en campo definitivo, en Puerto Inca – Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].

Vaides, E., Ugalde, L., & Galloway, G. (2006). Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. *Recursos Naturales y Ambiente*, 46-47, 137-145.

<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10061>

Zevallos, C. (2017). *Evaluación del mantenimiento de una plantación de Teca (Tectona grandis) en Iñapari– MDD – PERÚ* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<https://hdl.handle.net/20.500.12996/3461>

