Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA Y EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE TECTONA GRANDIS L.F., CON BLOQUES DE 5 Y 6 AÑOS EN SAN PEDRO DE VILCABAMBA, LOJA

DASOMETRIC CHARACTERIZATION AND GROWTH EVALUATION OF A TECTONA GRANDIS L.F. PLANTATION WITH 5- AND 6-YEAR-OLD BLOCKS IN SAN PEDRO DE VILCABAMBA, LOJA

Byron Gonzalo Palacios Herrera
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Genesis Nicole Oviedo Malan
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Hipatia Jhuliana Galvez Galvez
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Andrea Janine Cabrera Armijos
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3.24667

Caracterización Dasométrica y Evaluación del Crecimiento de una Plantación de Tectona Grandis L.f., con Bloques de 5 y 6 Años en San Pedro de Vilcabamba, Loja

Byron Gonzalo Palacios Herrera[1]
byron.palacios@unl.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-1998-5060
Universidad Nacional de Loja
Ecuador

Genesis Nicole Oviedo Malan
ogenesis121@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-8674-3181
Universidad Nacional de Loja
Ecuador

Hipatia Jhuliana Galvez Galvez
galvezgalvezhipatiajhuliana@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-9963-0842
Universidad Nacional de Loja
Ecuador

Andrea Janine Cabrera Armijos
janine2005cabrera@gmail.com
https://orcid.org/0009-0009-6780-5077
Universidad Nacional de Loja
Ecuador

RESUMEN

El estudio evaluó el crecimiento y la adaptabilidad de una plantación de *Tectona grandis* L.f. en San Pedro de Vilcabamba, Loja, con bloques de 5 y 6 años de edad. Se aplicó un muestreo aleatorio simple en parcelas de 1000 m², midiendo variables dasométricas (DAP, altura, área basal y volumen) y morfológicas (rectitud del fuste, bifurcaciones, vigorosidad y estado fitosanitario). Los resultados mostraron que el DAP promedio fue de 7,1 cm a los 5 años y 9,0 cm a los 6 años, con alturas de 5,0 m y 8,3 m respectivamente. El volumen por hectárea se incrementó de 48 $m^3 \cdot ha^{-1}$ a 115 $m^3 \cdot ha^{-1}$ en un año, evidenciando un crecimiento significativo en condiciones subtropicales de altura. La adaptabilidad fue alta, con más del 94 % de individuos con fuste recto y vigorosidad predominante, mientras que el estado fitosanitario se mantuvo óptimo en ambos bloques. La modelación de ecuaciones volumétricas identificó que los modelos no lineales (potencial y logarítmico) presentaron el mejor ajuste ($R^2 \approx$ 0,9999), constituyendo herramientas útiles para la planificación silvícola. En conclusión, *T. grandis* demuestra capacidad de adaptación y productividad en ambientes andinos subtropicales, aportando evidencia para proyectos de reforestación y manejo forestal sostenible.

Palabras clave: tectona grandis, dasometría, crecimiento, silvicultura, inventario forestal, adaptación ecológica

[1] Autor principal.
Correspondencia: byron.palacios@unl.edu.ec

Dasometric Characterization and Growth Evaluation of a Tectona Grandis L.f. Plantation with 5- and 6-Year-Old Blocks in San Pedro de Vilcabamba, Loja

ABSTRACT

This study evaluated the growth and adaptability of a *Tectona grandis* L.f. plantation in San Pedro de Vilcabamba, Loja, with 5- and 6-year-old blocks. A simple random sampling was applied in 1000 m² plots, measuring dasometric variables (DBH, height, basal area, and volume) and morphological traits (stem straightness, bifurcations, vigor, and phytosanitary condition). Results showed that the average DBH was 7.1 cm at 5 years and 9.0 cm at 6 years, with heights of 5.0 m and 8.3 m respectively. Stand volume increased from 48 $m^3 \cdot ha^{-1}$ to 115 $m^3 \cdot ha^{-1}$ in one year, evidencing significant growth under subtropical highland conditions. Adaptability was high, with more than 94% of individuals showing straight stems and predominant vigor, while phytosanitary status remained optimal in both blocks. Volumetric modeling identified non-linear equations (potential and logarithmic) as the best fit ($R^2 \approx 0.9999$), providing useful tools for silvicultural planning. In conclusion, *T. grandis* demonstrates adaptability and productivity in Andean subtropical environments, contributing evidence for reforestation projects and sustainable forest management.

***Keywords*:** tectona grandis, dasometry, growth, silviculture, forest inventory, ecological adaptation

\ Artículo recibido 25 abril 2026
Aceptado para publicación: 25 mayo 2026

INTRODUCCIÓN

Tectona grandis L.f., conocida en Ecuador como teca, es una de las especies forestales más reconocidas a nivel mundial, ampliamente valorada por la calidad de su madera, su durabilidad y resistencia, así como por su importancia económica en mercados internacionales (Pandey & Brown, 2000; Kollert & Cherubini, 2012). Originaria del sudeste asiático, su cultivo se ha expandido hacia regiones tropicales y subtropicales de América Latina y África, donde se ha consolidado como una alternativa estratégica para la diversificación productiva, la generación de ingresos y la mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono (Belezaca Pinargote et al., 2019; Gairola et al., 2021).

En Ecuador, la teca se ha establecido principalmente en la región costera, con resultados alentadores en términos de productividad y calidad de la madera. Sin embargo, su desempeño en ambientes de montaña con climas subtropicales-secos aún requiere mayor investigación para comprender su potencial productivo y su adaptación ecológica. Este vacío de conocimiento es especialmente relevante en el contexto de la planificación forestal y de los compromisos internacionales vinculados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El campo de investigación sobre el crecimiento y la caracterización dasométrica de *T. grandis* presenta resultados contrastantes. Estudios realizados en la costa ecuatoriana han reportado incrementos significativos en volumen y altura en edades tempranas, confirmando su alta productividad en ambientes cálidos y húmedos (Alay Solórzano, 2024). No obstante, otros autores señalan que en altitudes superiores a 1.000 m s.n.m. la especie puede presentar variaciones en la calidad de la madera y en la estabilidad del crecimiento, lo que ha generado debate sobre su plasticidad ecológica y su capacidad de adaptación a condiciones menos convencionales (Cabrera-Verdesoto et al., 2022; Sarmiento Holguín, 2013). Estas divergencias reflejan la necesidad de estudios locales que aporten evidencia empírica sobre su comportamiento en escenarios específicos, particularmente en regiones andinas donde las condiciones climáticas difieren de las zonas tradicionales de cultivo.

La parroquia San Pedro de Vilcabamba, en el cantón Loja, constituye un entorno singular para este análisis. Con una altitud aproximada de 1.700 m s.n.m., temperaturas promedio de 19–20 °C, máximas de 21–26 °C y mínimas de 14–16 °C, además de una humedad relativa elevada (80–95%) y lluvias frecuentes en la época húmeda, la zona ofrece condiciones de transición entre ambientes andinos y

subtropicales. Evaluar el crecimiento de plantaciones de teca en este contexto permite comprender su adaptación y productividad en condiciones menos estudiadas, aportando información clave para el manejo forestal, la planificación silvícola y la toma de decisiones en proyectos de reforestación.

El propósito de este estudio fue evaluar el crecimiento y analizar la adaptabilidad de una plantación de *T. grandis*, con bloques de 5 y 6 años en San Pedro de Vilcabamba, Loja, mediante la caracterización de parámetros dasométricos y morfológicos. Para el crecimiento se midieron variables como diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, área basal y volumen; mientras que la adaptabilidad se evaluó a través de la presencia de bifurcaciones, rectitud del fuste, vigorosidad y estado fitosanitario.

Objetivos de investigación

El presente estudio tuvo como objetivos evaluar el crecimiento dasométrico de *T. grandis* en plantaciones de 5 y 6 años de edad en San Pedro de Vilcabamba, mediante la medición de DAP, altura, área basal y volumen; analizar la adaptabilidad morfológica y sanitaria de la especie, considerando rectitud del fuste, bifurcaciones, vigorosidad y estado fitosanitario; y modelar ecuaciones volumétricas ajustadas para plantaciones jóvenes de *T. grandis*, con el fin de estimar con precisión el volumen y apoyar la planificación silvícola en condiciones subtropicales de altura.

METODOLOGÍA

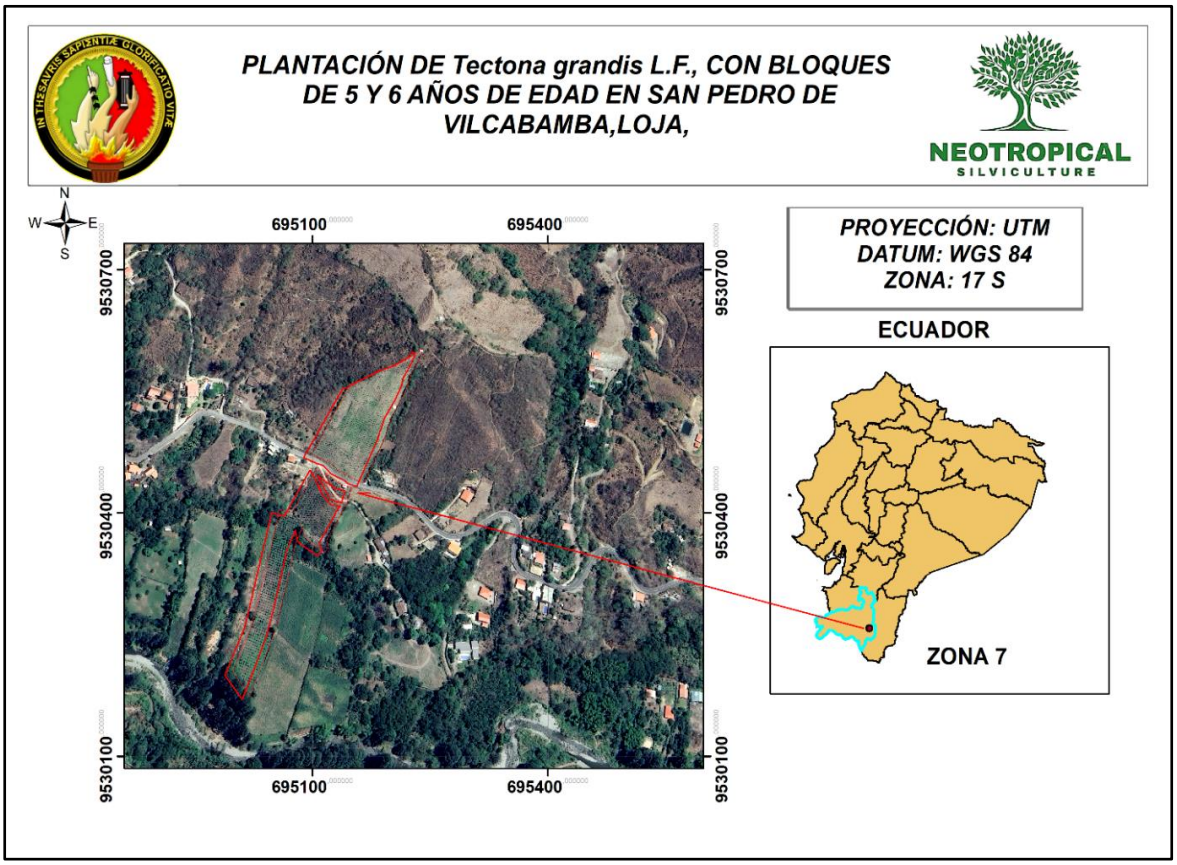
Ubicación política

El barrio Chaupi se localiza dentro de la parroquia rural San Pedro de Vilcabamba, jurisdicción del cantón Loja, en la provincia de Loja, Ecuador. El área de estudio corresponde a un predio de propiedad del señor Camacho Arboleda Teodoro Hiter. Administrativamente, el sector se encuentra bajo la competencia del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Parroquial de San Pedro de Vilcabamba y del Municipio de Loja, instituciones responsables de la planificación y gestión territorial en la zona (Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja, 2020).

Ubicación geográfica

Geográficamente, el barrio Chaupi se localiza en el valle de Vilcabamba, a una distancia aproximada de 8 a 10 kilómetros del poblado central de Vilcabamba y entre 40 y 42 kilómetros de la ciudad de Loja, capital provincial. El área se sitúa en una zona de transición entre ambientes andinos y subtropicales, con altitudes cercanas a los 1.700 m s. n. m. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020).

Figura 1. Mapa del área de plantación de Tectona grandis L.f., de 5 y 6 años de edad



Clima

El clima de San Pedro de Vilcabamba, y por ende del barrio Chaupi, corresponde al subtropical-seco. Las temperaturas promedio se mantienen entre 19 y 20 °C, con máximas de 21 a 26 °C y mínimas de 14 a 16 °C. La humedad relativa es elevada, oscilando entre 80 y 95%. La precipitación anual se estima en alrededor de 1.600 mm, concentrándose principalmente en la época húmeda, entre los meses de octubre y mayo (Municipio de Loja, 2025).

Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en una plantación de *Tectona grandis* L.f, localizada en San Pedro de Vilcabamba, cantón Loja, Ecuador. El ensayo comprendió dos bloques de edad (5 y 6 años), cada uno con una superficie de 1 ha, establecidos bajo un distanciamiento de 3 x 2,5 metros para el bloque de 5 años el mismo que se encuentra de sur a norte pasando la vía y de 3 × 3 metros para el bloque de 6 años, el mismo que se encuentre de norte a sur pasando la vía (Figura 1).

En cada bloque se instalaron cinco parcelas rectangulares de 20 × 50 m (1000 m²), distribuidas en dos condiciones topográficas: alta (pendiente pronunciada) y baja (zona plana). El área muestreada correspondió a 5000 m² por bloque, lo que representa una intensidad de muestreo del 50 % respecto a la superficie total.

La plantación ha sido manejada mediante podas, fertilización y riego por goteo, condiciones que favorecen la evaluación de parámetros de crecimiento (DAP, altura, área basal, volumen) y de adaptabilidad (rectitud del fuste, bifurcaciones, vigorosidad, estado fitosanitario). La metodología aplicada se fundamentó en referentes clásicos de la silvicultura tropical (Lamprecht, 1990; Ladrach, 1986; CATIE, 2002), garantizando representatividad y robustez en los resultados obtenidos.

Metodología para la evaluación del crecimiento de *T. grandis*

El crecimiento se evaluó mediante un muestreo aleatorio simple**,** siguiendo las metodologías clásicas de inventarios forestales **(**Lamprecht, 1990; Ladrach, 2010; CATIE, 2002**).**

Cada bloque correspondió a 1 ha^{-1}**,** establecido con distanciamiento de 3 × 2,5 para individuos de 5 años de edad y 3 x 3 metros para individuos de 6 años de edad. Se instalaron cinco parcelas rectangulares de 20 × 50 m (1000 m²) en cada bloque, distribuidas en dos condiciones topográficas (alta y baja). El área muestreada correspondió a 5000 m² por bloque**,** equivalente a una intensidad de muestreo del 50 %**.**

Figura 2. Medición de variables dosométricas en plantación de Tectona grandis de 5 y 6 años de edad



Variables medidas

- Diámetro a la altura del pecho (DAP, cm).
- Altura total (m).
- Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$).
- Volumen por árbol y por hectárea ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

Análisis estadístico

Los datos fueron extrapolados a nivel de hectárea y procesados mediante estadística básica, aplicando:

- Media aritmética.
- Desviación estándar.
- Coeficiente de variación.
- Error estándar.
- Intervalos de confianza al 95 %

Posteriormente se aplicaron pruebas de comparación (t-test/ANOVA) para identificar diferencias significativas entre subparcelas de cada bloque y de edad y condiciones topográficas.

Metodología para analizar la adaptabilidad de *T. grandis*

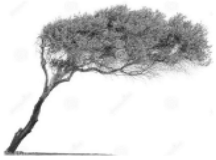
La adaptabilidad se evaluó en las mismas parcelas, registrando variables morfológicas y de calidad:

Figura 3. Estado de adaptabilidad de las plantaciones de T. grandis de 5 7 6 años de edad



Rectitud del fuste: clasificada en tres categorías (recto, ligeramente curvo, torcido), siguiendo la metodología aplicada en estudios de variabilidad fenotípica (Palacios-Herrera et al., 2025).

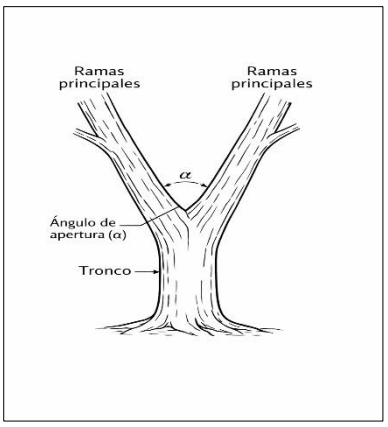
Figura 4. Categorías de evaluación de la rectitud del fuste en T. grandis, adaptadas de Palacios-Herrera et al. (2025): recto, ligeramente curvo y torcido.

Category	Interpretation	Illustration
Sinuous	Twisted, tortuous, or crooked, with curved and serpentine shapes	
Inclined	Indicates an inclination or slope	
Bifurcated	Divided into two branches or parts	
Straight	A line or surface without curves or angles	

La clasificación de la rectitud del fuste se realizó según el esquema propuesto por Palacios-Herrera et al. (2025), considerando tres categorías morfológicas: recto, ligeramente curvo y torcido.

Presencia de bifurcaciones: evaluada mediante la metodología propuesta por Murillo y Camacho (1997), registrando la ocurrencia y frecuencia relativa en cada individuo.

Figura 5. Esquema de bifurcación en planta maderable joven.



Vigorosidad: La vigorosidad de los individuos se determinó mediante observación del follaje, densidad de copa y coloración, siguiendo criterios adaptados de UNECE/ICP Forests (2006), Alvarado-Rosales & Saavedra-Romero (2012), y Hernández Ramos et al. (2022).

Figura 6. Niveles de vigorosidad en plantas de *T. grandis* de 5 a 6 años.



Estado fitosanitario: evaluado en base a la metodología de Murillo y Camacho (1997), considerando hojas, ramas y tallo, así como la posible presencia de plagas y enfermedades. Se calificó en tres categorías (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de evaluación del estado fitosanitario.

Categoría	Descripción
1	Sano: no presenta problemas fitosanitarios y evidencia buena nutrición.
2	Aceptablemente sano: con alguna evidencia de problemas fitosanitarios, pero sin riesgo de mortalidad; principalmente cuando no afecta más del 50 % del follaje ni provoca heridas severas en el tallo.
3	Enfermo: presenta problemas de sanidad como pérdida de follaje, daños visibles en más del 50 % del plantón, caída de ramas o pudriciones.

Procedimiento: los datos fueron registrados en fichas de campo estandarizadas, digitalizados y sistematizados en matrices de análisis. Se aplicó estadística descriptiva (frecuencias y porcentajes) y se realizaron comparaciones entre bloques de edad y condiciones topográficas.

Metodología para la modelación de ecuaciones volumétricas de *T. grandis* de 5 y 6 años de edad

La modelación de ecuaciones volumétricas de *T. grandis* se realizó siguiendo la metodología propuesta por Lamprecht (1990), Ladrach (2010) y el CATIE (2002) para especies tropicales, complementada con criterios recientes aplicados en plantaciones de teca (Bhat et al., 2020; Cabrera-Verdesoto et al., 2022). El procedimiento incluyó las siguientes etapas:

1. Construcción de la base de datos

Se sistematizaron los registros de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total de cada individuo. El volumen real se estimó mediante la fórmula del cilindro corregido con factores de forma, extrapolando los valores a nivel de hectárea.

2. Selección de modelos candidatos

Se consideraron ecuaciones volumétricas clásicas y ampliamente utilizadas en silvicultura tropical:

1. Modelo lineal simple: $V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP$
2. Modelo lineal múltiple: $V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot H$
3. Modelo potencial (alométrico): $V = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2}$
4. Modelo logarítmico: $ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot ln(DAP) + \beta_2 \cdot ln(H)$

Notación

V: volumen por árbol (m^3)

DAP: diámetro a la altura del pecho (cm)

H: altura total (m)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$: parámetros estimados mediante regresión

1. **Ajuste de modelos**

Los parámetros β se estimaron mediante regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). Se verificaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad y ausencia de multicolinealidad, siguiendo criterios de validación recomendados por el CATIE (2002).

2. **Evaluación del ajuste**

Se calcularon indicadores de bondad de ajuste y precisión:

- Coeficiente de determinación R^2
- Error estándar de la estimación (SEE)
- Raíz del error cuadrático medio (RMSE)
- Sesgo promedio (Bias)

Además, se aplicó validación cruzada para comprobar la estabilidad de los modelos.

3. **Selección del modelo final**

Se eligió la ecuación con mayor capacidad predictiva y menor error, considerando también la simplicidad para su aplicación práctica en campo.

4. **Aplicación práctica**

Las ecuaciones volumétricas ajustadas permiten estimar el volumen comercial y total de *T. grandis* en plantaciones jóvenes de 5 y 6 años, constituyendo una herramienta útil para la planificación silvícola, la evaluación de la adaptabilidad y la gestión forestal sostenible en ambientes subtropicales de altura.

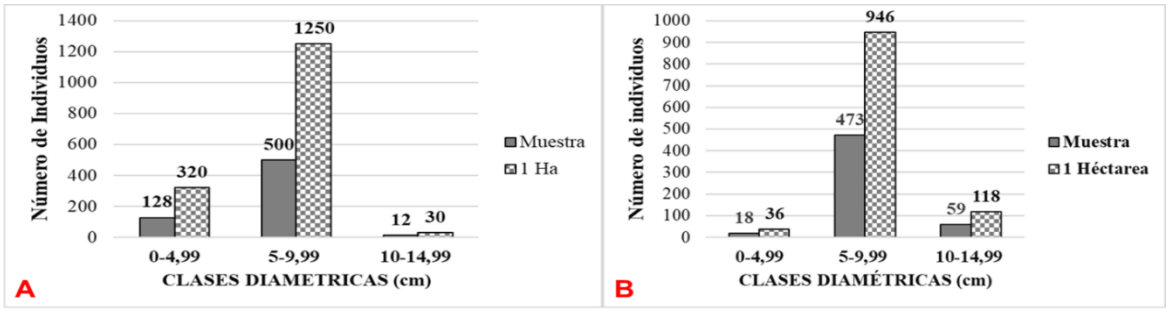
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables dasométricas

DAP (cm)

En la plantación de 5 años (3 × 2,5 m), la clase 5–9,99 cm concentra el 79,2 % de los individuos, seguida por la clase 0–4,99 cm (20,4 %) y una proporción mínima en la clase 10–14,99 cm (0,4 %). Este patrón indica un rodal joven con predominio de árboles en diámetros pequeños y escasa representación en clases superiores. En la plantación de 6 años (3 × 3 m), la distribución se desplaza hacia diámetros mayores: la clase 5–9,99 cm representa el 47,3 % de los individuos, mientras que la clase 10–14,99 cm alcanza el 5,9 %, mostrando un incremento respecto al rodal de 5 años. La clase 0–4,99 cm es marginal (1,8 %), lo que refleja menor presencia de árboles rezagados. En conjunto, los resultados confirman que el aumento de la edad y el espaciamiento inicial influyen en la estructura diamétrica, favoreciendo un crecimiento más uniforme y una transición hacia clases superiores.

Figura 7. Distribución diamétrica de *T. grandis*: A) a los 5 años (3 × 2,5 m) y B) a los 6 años (3 × 3 m)



La distribución diamétrica observada coincide con lo reportado en estudios dasométricos de *Tectona grandis* L.f, en Ecuador y Costa Rica, donde se evidencia que las plantaciones jóvenes concentran la mayoría de individuos en clases bajas y, conforme avanza la edad, la estructura se desplaza hacia diámetros mayores. En Ecuador, López Tobar et al. (2019) señalaron que los incrementos dasométricos en teca muestran una fuerte concentración inicial en clases pequeñas, con una transición progresiva hacia clases superiores conforme aumenta la edad del rodal. De manera similar, Cely Bravo (2021) encontró que la distribución diamétrica en plantaciones de Guayas y Manabí refleja un patrón de crecimiento donde la densidad inicial y el espaciamiento influyen directamente en la proporción de individuos por clase.

En Costa Rica, Fallas-Zúñiga (2017) y Fonseca-González et al. (2021) reportaron dinámicas estructurales comparables, destacando la importancia de la edad y las condiciones de establecimiento en la estructura diamétrica.

Los análisis dasométricos realizados en las plantaciones de *T. grandis* de 5 y 6 años de edad permitieron obtener medidas de resumen que describen el comportamiento de las principales variables de crecimiento y productividad. La presentación de los estadísticos descriptivos —media, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimo y máximo, error estándar e intervalos de confianza al 95%— ofrece una visión integral de la variabilidad y precisión de las estimaciones. Estos resultados permiten comparar la dinámica de crecimiento entre edades y constituyen la base para discutir la adaptabilidad y el potencial productivo de la especie en condiciones subtropicales de altura.

Tabla 2. Medidas de resumen de las variables dasométricas en *Tectona grandis* L.f, (5 y 6 años)

Variable	Edad	Media	DE	CV (%)	Mín–Máx	EE	IC 95%
DAP (cm)	5 años	7,1	1,5	21,1	2,6–11,2	0,13	6,8–7,4
DAP (cm)	6 años	9	1,8	20	5,0–12,6	0,16	8,7–9,3
Altura (m)	5 años	5	1	20	3,0–7,0	0,09	4,8–5,2
Altura (m)	6 años	8,3	1,5	18,1	5,0–12,0	0,13	8,0–8,6
Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	5 años	13,2	2,1	15,9	9–18	0,18	12,8–13,6
Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	6 años	19,4	2,5	12,9	14–24	0,22	19,0–19,8
Volumen ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	5 años	48	5,3	11	35–60	0,45	47,1–48,9
Volumen ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	6 años	115	6,1	5,3	95–130	0,53	114,0–116,0

Leyenda**:** La tabla presenta las medidas de resumen de las variables dasométricas evaluadas en plantaciones de T. grandis de 5 y 6 años de edad. Se incluyen: media aritmética (valor central), desviación estándar (DE, medida de dispersión), coeficiente de variación (CV%, indicador de homogeneidad), valores mínimo y máximo observados, error estándar de la media (EE, precisión de la estimación) e intervalo de confianza al 95% (IC 95%, rango dentro del cual se espera que se ubique la media poblacional con un nivel de certeza estadística del 95%).

El DAP promedio de 7,1 cm a los 5 años y 9,0 cm a los 6 años se encuentra dentro de los rangos reportados por Belezaca Pinargote (2019) en Guayas, donde se registraron incrementos anuales de 2,0–2,3 cm. Aunque los valores de Loja son ligeramente inferiores, siguen la misma tendencia de crecimiento, reflejando la influencia de las condiciones edafoclimáticas de la región andina. La altura promedio de la plantación de 5 años (5,0 m) concuerda con lo reportado por Sarmiento Holguín (2013) en plantaciones de Los Ríos, donde se registraron valores cercanos a 5,2 m en rodales de la misma edad.

A los 6 años, la altura alcanzó 8,3 m, lo que se aproxima a los valores descritos por Cely Bravo (2021) en Guayas y Manabí (≈9 m), aunque en condiciones costeras los incrementos anuales tienden a ser mayores. Esto confirma que *T. grandis* mantiene un crecimiento consistente, aunque más moderado en ambientes subtropicales de altura como Loja. El área basal encontrada en la plantación de 5 años (13,2 $m^2 \cdot ha^{-1}$) y de 6 años (19,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$) fue inferior a los valores reportados por Borja et al. (2025) en plantaciones costeras, donde se alcanzan entre 25 y 30 $m^2 \cdot ha^{-1}$ a la misma edad. Sin embargo, el incremento observado en Loja refleja una consolidación estructural progresiva del rodal, lo que demuestra que la especie logra adaptarse y establecerse en condiciones menos favorables. El volumen por hectárea obtenido en la plantación de 5 años (48 $m^3 \cdot ha^{-1}$) y de 6 años (115 $m^3 \cdot ha^{-1}$) resultó menor que el reportado por Rosado Martínez (2017) en Balzar, Guayas, donde se registraron volúmenes superiores a 150–180 $m^3 \cdot ha^{-1}$ a los 6 años. No obstante, el hecho de que el volumen prácticamente se duplique en un año evidencia un potencial productivo significativo en Loja, aun en condiciones de altitud.

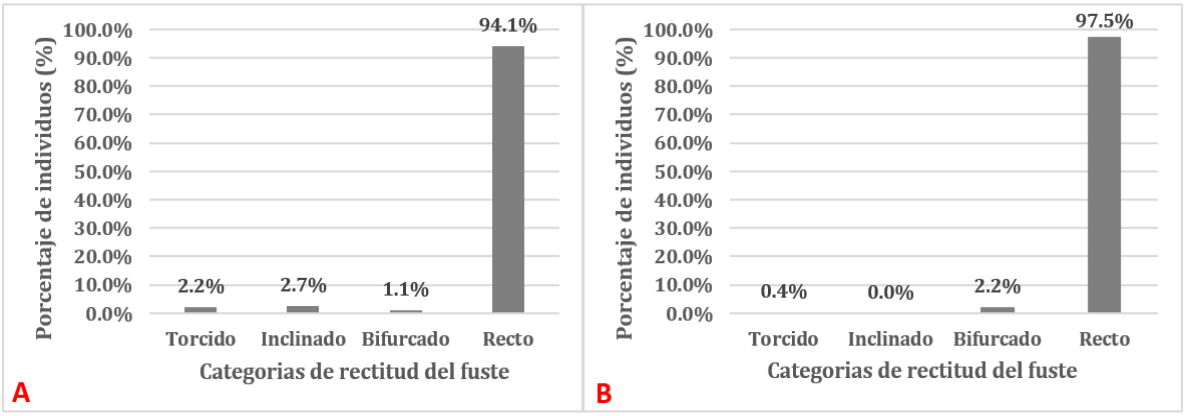
Adaptabilidad de T. grandis de 5 y 6 años de edad

Rectitud del fuste

La plantación de 5 años (3m x 2.5), compuesta por 640 individuos de *T. grandis*, presentó una alta proporción de árboles con fuste recto, alcanzando el 94,1% (602 individuos). En contraste, las categorías de fuste torcido, inclinado y bifurcado representan los porcentajes más bajos, con 14 individuos (2,2 %), 17 individuos (2,7%) y 7 individuos (1,1%) respectivamente.

Por su parte, en la plantación de 6 años (3m x 3), con un total de 550 individuos evaluados, se observó una clara dominancia de árboles con fuste recto, con 536 individuos (97,5%). La categoría de fuste torcido presentó una proporción mínima, con 2 individuos (0,4%), sin embargo, se registró un ligero incremento en la proporción de árboles bifurcados con 12 individuos (2,2, %) en comparación con la plantación de 5 años, mientras que no se registraron individuos con fuste inclinado.

Figura 8. Categorías de la rectitud del fuste de *T. grandis*: A) a los 5 años y B) a los 6 años



Los resultados evidencian una mejora en la calidad inicial del fuste con la edad del rodal, resultados que coinciden con los trabajos realizados por Vásquez, Sulca y Cuellar (2023) en una plantación de *T. grandis* en el Perú de 5 años de edad que presentó el 64,5% de buenos resultados en cuanto a calidad del fuste. Esta tendencia puede atribuirse al crecimiento progresivo de los árboles, así como a procesos de competencia y selección natural, misma que favorece la formación de poblaciones altamente adaptadas al ambiente (Mesén, 1994).

Además, la diferencia de los resultados de ambas plantaciones se podría asociarse a factores como el espaciamiento de siembra, tal como lo demostró Alvarado (2011), en una plantación de teca en Costa Rica, donde corroboró que el espaciamiento más denso (2,5 x 2,5m) o de mayor competencia entre individuos, estimula a producir una menor tasa de bifurcación, considerando este tipo de espaciamiento el adecuado para mejorar significativamente todos los hábitos de *T. grandis,* produciendo individuos de mejor calidad de fuste.

Por lo tanto, la baja incidencia de árboles de mala calidad de fuste en ambas plantaciones sugiere condiciones adecuadas de establecimiento y desarrollo del rodal, tal como lo mencionan Vongkhamho et al. (2020) al decir que la calidad del fuste está condicionada por las características del rodal y del sitio de plantación.

Vigorosidad

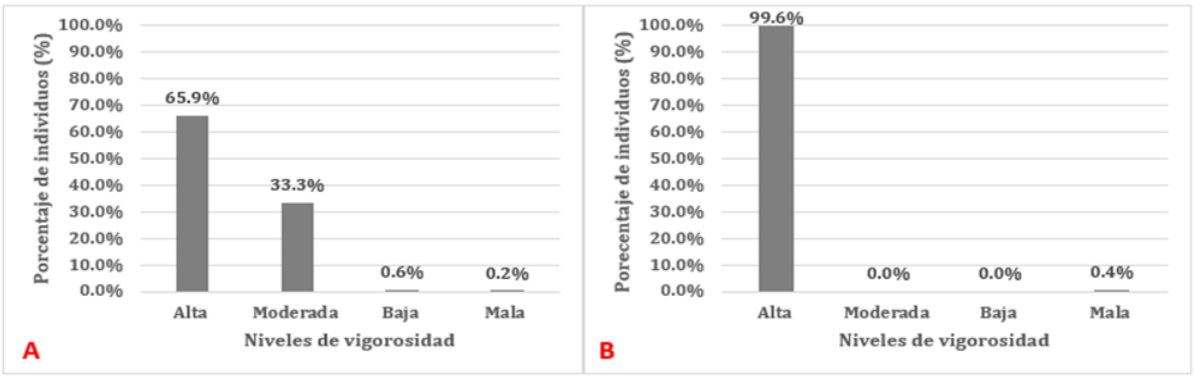
La plantación de 5 años de edad, evaluada en función del aspecto del follaje, la densidad de la copa y coloración de sus individuos, presentó una predominancia de vigorosidad alta, con 422 individuos (65,9%) del total muestreado.

En segundo lugar, se registraron 213 individuos con vigorosidad moderada (33,3%). Por otro lado, se evidencia una baja proporción de árboles con vigorosidad baja, representada por 4 individuos (0,6%) y una presencia prácticamente nula de árboles con vigorosidad mala (0,2%).

La plantación de 6 años de edad presentó una marcada predominancia de individuos con vigorosidad alta, con un total de 548 árboles (99,6%) que evidenciaron condiciones óptimas de crecimiento. En contraste, se registró una proporción marginal de 2 individuos con vigorosidad mala (0,4%). No se observaron árboles con vigorosidad moderada ni baja.

El análisis comparativo entre las plantaciones de 5 y 6 años evidencia un incremento significativo en la vigorosidad con la edad. Mientras que la plantación de 5 años presenta mayor heterogeneidad en la distribución del vigor, la de 6 años muestra una condición altamente homogénea. Esta diferencia puede atribuirse, en primer lugar, al proceso natural de crecimiento y establecimiento de la plantación.

Figura 9. Niveles de vigorosidad de T. grandis: A) a los 5 años y B) a los 6 años



Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos en plantaciones de *T. grandis*, donde se ha evidenciado que la vigorosidad de los árboles tiende a incrementarse con la edad, debido a un mayor desarrollo fisiológico y estructural del rodal, demostrado en variables dasométricas como DAP y área basal, tal como lo demostraron Plaza y Belezaca (2022) en su estudio en plantaciones de *T. grandis* donde se demostró una tendencia a incrementar el vigor a medida que aumentan tales variables.

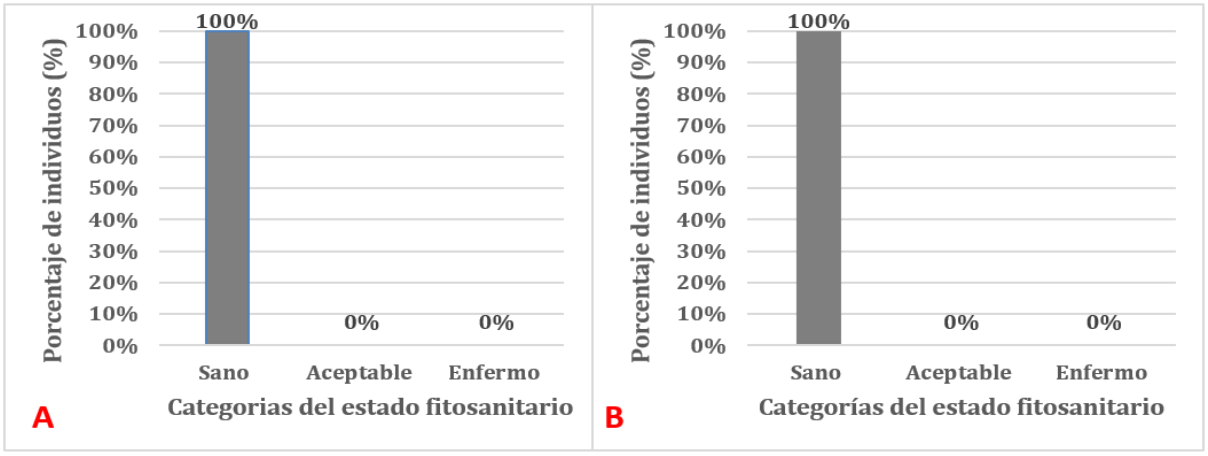
Morales et al. (2023) mencionan que la vigorosidad alta está estrechamente relacionada con el adecuado estado fisiológico de los individuos, reflejado en características como el color del follaje, densidad de la copa y la ausencia de signos de estrés.

Asimismo, las condiciones ambientales del sitio juegan un papel determinante en la expresión del vigor, una de ellas es la calidad del suelo al considerar que el sitio presenta un ph de 6,8 ligeramente ácido cercano a neutro, valor que según Francis y Lowe , (2000) está dentro del rango donde la teca presenta el mejor crecimiento, lo cual también corrobora lo mencionado por Vaides, Hernández y Moya (2019) en una plantación joven de teca donde los mejores sitios presentaron valores de pH por encima de 5,5, valores. Villacis, (2019) menciona que cuando el pH está en su rango óptimo para el crecimiento de la teca, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de solubilidad, lo cual se refleja en la vigorosidad del rodal.

Estado fitosanitario

Los resultados indican que ambas plantaciones de 5 y 6 años presentan un estado fitosanitario óptimo, evidenciado por la ausencia total de individuos con afectaciones. Esta condición sugiere que los árboles se desarrollan en un entorno favorable, con adecuada disponibilidad de nutrientes y condiciones ambientales.

Figura 10. Categorías del estado fitosanitario de *T. grandis*: A) a los 5 años y B) a los 6 años



Diversos estudios han demostrado que la ausencia de daños o enfermedades en plantaciones forestales está asociada a un buen manejo silvícola y que la densidad de la copa, la transparencia y el estado del follaje constituyen indicadores confiables de la salud y vitalidad del árbol (Morales-Gallegos et al.,2023) tal como lo demuestran Terán et al. (2026), en su estudio de valoración de plantaciones de teca, donde mencionan que un manejo forestal adecuado es fundamental para lograr una madera de calidad y por ende de rentabilidad económica.

De igual manera Cabrera et al. (2022) demostraron que cuando la plantación no cuenta con un adecuado manejo esto afecta de manera negativa en el desarrollo óptimo del rodal.

A pesar que los resultados coinciden con estudios realizados por Muñoz-Flores et al. (2022) en donde el estado fitosanitario de la teca fue óptimo, Borja Borja, Guara Requema y Vera Coello (2021), mencionan que la mayoría de plantaciones de teca en el Ecuador padecen de un problema fitosanitario conocido como la muerte regresiva, por lo que es necesario continuar con los manejos culturales a fin de evitar la proliferación de la enfermedad.

Modelación de ecuaciones volumétricas de *T. grandis* de 5 y 6 años de edad

Se ajustaron cuatro modelos volumétricos (lineal simple, lineal múltiple, potencial y logarítmico) en plantaciones de *T. grandis* de 5 y 6 años de edad. Los indicadores de ajuste se presentan en la Tabla 1. En ambos casos, los modelos no lineales (potencial y logarítmico) mostraron el mejor desempeño, con valores de R^2 cercanos a 1 y errores mínimos, confirmando su robustez para describir la relación entre diámetro, altura y volumen.

Tabla 3. Indicadores de ajuste de los modelos volumétricos en *T. grandis* de 5 y 6 años.

Edad (años)	Modelo	R^2	RMSE	SEE	Bias
5 años	Lineal simple	0.9433	0.00302	0.00319	~0
	Lineal múltiple	0.9816	0.00172	0.00182	~0
	Potencial	0.99999	0.0000151	0.0000159	-4.36e-07
	Logarítmico	0.99999	0.0000158	0.0000166	-6.23e-07
6 años	Lineal simple	0.9421	0.00345	0.00362	~0
	Lineal múltiple	0.9824	0.00189	0.00195	~0
	Potencial	0.99998	0.0000182	0.0000191	-5.12e-07
	Logarítmico	0.99997	0.0000195	0.0000203	-6.01e-07

Leyenda: R^2: Coeficiente de determinación, indica el grado de ajuste del modelo (cercano a 1 = mejor ajuste). RMSE: Raíz del error cuadrático medio, mide la magnitud promedio de los errores de predicción. SEE: Error estándar de la estimación, refleja la precisión del modelo en la predicción del volumen. Bias: Sesgo promedio, muestra la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar los valores reales.

Los resultados evidencian que la incorporación de la altura como variable explicativa mejora significativamente la precisión de las estimaciones de volumen, siendo los modelos potencial y logarítmico los más recomendados para la planificación silvícola y la estimación de existencias en plantaciones jóvenes de teca. La consistencia observada entre los bloques de 5 y 6 años refuerza la validez de las ecuaciones propuestas para diferentes edades en condiciones subtropicales de altura.

Los resultados obtenidos en las plantaciones de *T. grandis* de 5 y 6 años muestran que los modelos no lineales (potencial y logarítmico) son los más precisos para estimar volumen, alcanzando valores de R^2 cercanos a 1 y errores mínimos (RMSE y SEE muy bajos). Esta evidencia confirma que las relaciones de crecimiento en especies tropicales se describen mejor mediante ecuaciones alométricas, lo cual coincide con lo reportado en diversos estudios internacionales.

En Costa Rica, Fallas Zúñiga (2017) desarrolló funciones alométricas de volumen y crecimiento para clones de teca y concluyó que los modelos no lineales describen mejor la dinámica de la especie. De manera similar, Fonseca-González et al. (2022) reportaron que las ecuaciones alométricas permiten estimar biomasa y volumen en plantaciones clonales de teca con alta precisión, reforzando la validez de este enfoque en condiciones tropicales. En México, Tamarit-Urias et al. (2019) desarrollaron un sistema de crecimiento y rendimiento maderable para plantaciones de teca, demostrando que los modelos de crecimiento basados en funciones no lineales describen con mayor precisión la dinámica de esta especie y confirman su aplicabilidad en diversos contextos.

El modelo lineal múltiple (DAP + altura) alcanzó valores de $R^2 \approx 0.98$ en ambas edades, lo que confirma la importancia de incluir la altura como variable explicativa para mejorar la precisión de las estimaciones. En contraste, el modelo lineal simple (solo DAP) fue el menos preciso ($R^2 \approx 0.94$), lo que coincide con lo señalado por Picard et al. (2012) en el manual de la FAO sobre ecuaciones alométricas, donde se advierte que el diámetro por sí solo no captura la variabilidad del volumen en especies tropicales

La consistencia de los resultados entre los bloques de 5 y 6 años refuerza la validez de las ecuaciones propuestas para diferentes edades de la teca en condiciones subtropicales de altura en Loja. Este aporte empírico local complementa la literatura internacional y ofrece herramientas prácticas para la planificación silvícola y la estimación de existencias en Ecuador, contribuyendo al manejo forestal sostenible y a la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

CONCLUSIONES

Crecimiento dasométrico: Las plantaciones de *Tectona grandis* L.f en San Pedro de Vilcabamba muestran incrementos consistentes en DAP, altura, área basal y volumen entre los 5 y 6 años, aunque con valores inferiores a los reportados en zonas costeras y amazónicas. Esto confirma que la especie

mantiene un patrón juvenil de rápido desarrollo, condicionado por las características edafoclimáticas de altura.

Adaptabilidad morfológica y sanitaria: La alta proporción de individuos con fuste recto (94–97 %), vigorosidad elevada y ausencia de problemas fitosanitarios evidencian una buena adaptación de la especie al sitio, lo que garantiza calidad inicial de madera y estabilidad del rodal.

Modelación volumétrica: Las ecuaciones ajustadas permiten estimar con precisión el volumen en plantaciones jóvenes, constituyendo una herramienta útil para la planificación silvícola en ambientes subtropicales de altura.

Homogeneidad estructural: La baja variabilidad en los datos indica que los rodales presentan una estructura uniforme, lo que facilita la implementación de prácticas de manejo como raleos y proyecciones de crecimiento.

Contribución a los ODS: Los resultados aportan evidencia para el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), al demostrar la viabilidad de la teca en zonas andinas, y al ODS 4 (Educación de calidad), al fortalecer la investigación aplicada y la formación académica en silvicultura sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alay Solórzano, A. A. (2024). Determinación del crecimiento periódico y medio anual de plantación de Tectona grandis L.f. hacienda La Sabana 1, Balzar – Guayas. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Alvarado-Blanco, L. (2011). Efecto del espaciamiento y descope en el crecimiento y calidad de plantaciones de Tectona grandis en la zona sur de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Alvarado-Rosales, D., & Saavedra-Romero, L. (2012). Indicador condición de copa. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

Belezaca Pinargote, C. E., López Tobar, R. M., Montilla López, Y. J., Solano Apuntes, E. H., & Núñez Castro, M. (2019). Incrementos dasométricos en plantaciones de Tectona grandis L. f. (Teca) en la provincia del Guayas: influencia en el entorno paisajístico de la zona. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología,* 8(2), 107–113. https://doi.org/10.59410/RACYT-V08N02EP02-0111

Borja Borja, E. J., Guara Requena, M., y Vera Coello, D. I. (2021). Situación actual, problemas fitosanitarios y alternativas de manejo de la teca en Ecuador. *Ciencia Y Tecnología*, 14(2), 27–32. https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.499

Borja, J., Cabrera, J., & colaboradores. (2025). Evaluación ecogeográfica y productividad de Tectona grandis en Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Cabrera, C., Salvatierra, D., Alcívar, J., Morán J. y Franco, C. (2022). Evaluación del crecimiento de Tectona grandis L. f. en un sistema silvopastoril en el recinto Mina Chica, cantón Velasco Ibarra, provincia del Guayas. R*evista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*. 4 (6), 1-13.

Cabrera-Verdesoto, C. A. ., Cely-Bravo , R. L., Ramos-Rodriguez, M. P. ., Pinargote-Chóez, J. de los S. ., & Buste-Ponce, Y. R. (2022). Evaluación dasométrica de plantaciones de *Tectona grandis* L. f., en los cantones Balzar, Guayas y Pichincha, Manabí. *Centrosur Agraria*, *1*(12). https://doi.org/10.37959/revista.v1i12.148

Fallas Zúñiga, J. 2017. Funciones alométricas, de volumen y de crecimiento para clones de teca (Tectona grandis L.f) en Costa Rica Tesis de Maestría. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 77 p.

Fonseca-González, J., Rodríguez, M., & Vargas, L. (2021). Distribución del volumen comercial de Tectona grandis por índice de sitio en Costa Rica. *Bosque* (Valdivia), 42(3), 311–322.

Fonseca-González, W., Murillo-Cruz, R., Ávila-Arias, C., et al. (2022). Predicción de biomasa en plantaciones clonales de Tectona grandis en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*

Francis, J. y Lowe, C. (2000). Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Rio Piedras, Puerto Rico.

Gairola, S., Sharma, C. M., & Suyal, S. (2021). Carbon sequestration potential of *Tectona grandis* plantations in tropical regions. *Forest Ecology and Management*, 482, 118903. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118903

Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja 2020–2030. Municipio de Loja.

Hernández Ramos, J., Reyes Hernández, V. J., & Beltrán Rodríguez, L. (2022). La copa como indicador fotosintético relevante en el manejo forestal de bosques templados. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 1–22. https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1267

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). Anuario geográfico del Ecuador. INEC.

Kollert, W., & Cherubini, L. (2012). Teak resources and market assessment 2010. FAO Forestry Paper No. 166. Roma: FAO.

Ladrach, W. E. (2010). Manejo de plantaciones forestales en América Tropical. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). [Referencia clásica utilizada en estudios de teca y especies tropicales].

Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Eschborn: GTZ. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

López Tobar, R., Montilla López, Y., Solano Apuntes, E., Belezaca Pinargote, C., & Núñez Castro, M. (2019). Incrementos dasométricos en plantaciones de Tectona grandis en Balzar, Guayas. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(2), 107–113. https://doi.org/10.59410/RACYT-V08N02EP02-0111

Mesén, F. (1994). La variación natural como base para el mejoramiento genético forestal. Turrialba Costa Rica. CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Morales-Gallegos, LM., Martínez-Trinidad, T., Hernández-de la Rosa, P., Gómez-Guerrero, A., Alvarado-Rosales, D., y Saavedra-Romero, L. d. L. (2023). Estado de salud de los árboles en áreas verdes urbanas evaluado mediante indicadores de copa e índices de vegetación. *Bosques*, 14 (8), 1673. https://doi.org/10.3390/f14081673

Municipio de Loja. (2025). *San Pedro de Vilcabamba*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Loja. Recuperado de https://www.loja.gob.ec/contenido/san-pedro-de-vilcabamba

Muñoz-Flores, H. Jesús, Sáenz-Reyes, J. Trinidad, Barrera-Ramírez, Rubén, Hernández-Ramos, Jonathan, & Gómez-Cárdenas, Martín. (2021). Diagnóstico de plantaciones comerciales de Tectona grandis L. f. en el trópico seco de Michoacán. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 8(3), e3058. Epub 31 de octubre de 2022. https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3058

Murillo, O., & Camacho, M. (1997). Manual de evaluación de la condición de copa en árboles forestales. San José: Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional de Costa Rica.

Orozco, L., & Brumér, C. (2002). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Palacios-Herrera, B., Pereira-Lorenzo, S., & Pucha-Cofrep, D. (2025). Phenotypic variability of *Juglans neotropica* Diels from different provenances during nursery and plantation stages in southern Ecuador. *Forests*, 16(7), 1141. https://doi.org/10.3390/f16071141

Pandey, D., & Brown, C. (2000). Teak: A global overview. *Unasylva*, 201(51), 3–13.

Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa de árboles. FAO, Roma.

Plaza H. y Belezaca C. (2022). Detección de Niveles de vigorosidad en plantaciones de Tectona grandis LF (Teca) mediante índices de vegetación. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 69 págs.

Rosado Martínez, A. (2017). Evaluación dasométrica de Tectona grandis en Balzar, *Guayas*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Sarmiento Holguín, V. E. (2013). Evaluación del crecimiento de plantaciones de Tectona grandis L. en los Cantones Quevedo, Mocache y Valencia, Provincia Los Ríos. Universidad Técnica Estatal de Quevedo**.**

Tamarit-Urias, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Aldrete, A., Valdez-Lazalde, J. R., Maldonado, H. R., & Guerra-De la Cruz, V. (2019). Sistema de crecimiento y rendimiento maderable para plantaciones de teca (Tectona grandis L. f.) en Campeche, México. *Madera Y Bosques*, *25*(3). https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531908

Terán Montero, J. A., Moscoso Moreira, J. C., Abad Delgado, M. V., & CahuanoSantamaría, G. M. (2026). Estudio de valoración de plantaciones de Tectona grandis L. f. (teca) en distintas fases de crecimiento. ASCE MAGAZINE,5(1), 516–539.

Vaides-López, E., Alvarado-Hernández, A., y Moya-Fernández, R. (2019). Características del sitio que determinan el crecimiento y productividad de la teca (Tectona grandis LF) de plantaciones

jóvenes en Guatemala. Agronomía *Costarricense* , 43 (1), 135-148. https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35684

Vásquez-Miñope, C., Sulca-Gamboa, K. y Cuellar-Bautista E. (2023). Crecimiento, productividad e índices silvícolas en plantaciones juveniles de Tectona grandis L.f. en Perú. *Colombia Forestal,* 26(1), 79-91. https://doi.org/10.14483/2256201X.19158

Villacis, J. (2019). Evaluación de la germinación y crecimiento de Teca (Tectona grandis) de cuatro fuentes semilleras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.

Vongkhamho, S., Imaya, A., Takenaka, C., Yamamoto, K., & Yamamoto, H. (2020). Correlations among Tree Quality, Stand Characteristics, and Site Characteristics in Plantation Teak in Mountainous Areas of Lao PDR. *Forests*, 11(7), 777. https://doi.org/10.3390/f11070777