

Patrones de crecimiento diamétrico en 12 especies del bosque seco tropical del Tolima

Diameter growth patterns in 12 tree species from the tropical dry forest of Tolima

Luis Alfredo Lozano B ^{1,*}, Luisa Fernanda Lozano C ^{1,2}

- ¹. Grupo de Investigación en Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Tropicales (GIDBET), Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué – Tolima, Colombia. llozano@ut.edu.co (L.A.L.-B.), <https://orcid.org/0000-0002-1448-8794>; luisafernanda.lozano@uva.es (L.F.L.-C.), <https://orcid.org/0000-0003-4667-6113>
2. Grupo de Investigación Reconocido – Tecnologías Avanzadas Aplicadas al Desarrollo Rural Sostenible (TADRUS), Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid, Palencia – Palencia, España. luisafernanda.lozano@uva.es (L.F.L.-C.).

Recibido: Agosto 25 de 2025

Aceptado: Octubre 10 de 2025

*Correspondencia del autor: Luis Alfredo Lozano B.

E-mail: llozano@ut.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i37.329>

Resumen

Introducción. El bosque seco tropical (bs-T) de Colombia alberga una notable diversidad biológica y cumple funciones ecológicas esenciales; no obstante, se encuentra gravemente degradado y persisten vacíos importantes en el conocimiento sobre las tasas de crecimiento diamétrico de sus especies arbóreas. **Objetivo.** Este estudio evaluó el crecimiento diamétrico de doce especies del bs-T en el departamento de Tolima – Colombia-. **Materiales y métodos.** Mediante el monitoreo continuo de 107 árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm durante el periodo 2008–2016, en cuatro parcelas permanentes. Se calculó el incremento corriente anual (ICA) por individuo y por especie, y se aplicaron análisis de varianza de una vía (ANOVA) y la prueba de Tukey para detectar diferencias significativas entre especies. Posteriormente, las especies fueron clasificadas funcionalmente en tres categorías de crecimiento utilizando el método de percentiles. **Resultados.** Los resultados revelaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$), con valores de ICA que oscilaron entre 0.15 y 1.98 cm a⁻¹. *Ceiba pentandra* presentó el mayor crecimiento, mientras que *Cedrela odorata* registró el más bajo. Las especies clasificadas en la categoría de crecimiento lento fueron: *C. odorata*, *Machaerium capote*, *Aspidosperma polyneuron* y *Astronium graveolens*; en crecimiento medio: *Guarea guidonia*, *Ladenbergia oblongifolia*, *Nectandra reticulata* y *Pseudobombax septenatum*; y en crecimiento rápido: *Bulnesia carrapo*, *Jacaranda copaia*, *Anacardium excelsum* y *C. pentandra*. **Conclusiones.** Esta caracterización constituye un insumo clave para ajustar ciclos de corta, seleccionar especies en programas de restauración ecológica y diseñar estrategias de manejo forestal diferenciadas según las dinámicas de crecimiento de cada especie.

Palabras clave: Crecimiento forestal; diversidad de especies; distribución de tamaño; evaluación de los recursos forestales; gestión sostenible de los bosques; restauración del paisaje forestal; sucesión ecológica (AGROVOC).

Abstract

Introduction. The tropical dry forest (TDF) of Colombia harbors remarkable biological diversity and performs essential ecological functions; however, it is severely degraded, and significant gaps persist in the understanding of diameter growth rates of its native tree species. **Objective.** This study evaluated the diameter growth of twelve TDF species in the department of Tolima. **Materials and methods.** Through continuous monitoring of 107 trees with diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm over eight years (2008–2016) in four permanent plots. The current annual increment (CAI) was calculated for each individual and each species. One-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test were applied to detect significant differences among species. Subsequently, species were functionally classified into three growth categories using the percentile method. **Results.** The results revealed statistically significant differences ($p < 0.001$), with CAI values ranging from 0.15 to 1.98 cm yr⁻¹. *Ceiba pentandra* exhibited the highest growth rate, while *Cedrela odorata* showed the lowest. Species classified in the slow-growth category were: *C. odorata*, *Machaerium capote*, *Aspidosperma polyneuron*, and *Astronium graveolens*; in the medium-growth category: *Guarea guidonia*, *Ladenbergia oblongifolia*, *Nectandra reticulata*, and *Pseudobombax septenatum*; and in the fast-growth category: *Bulnesia carrapo*, *Jacaranda copaia*, *Anacardium excelsum*, and *C. pentandra*. **Conclusions.** This classification provides a valuable tool for adjusting harvesting cycles, selecting species for ecological restoration programs, and designing forest management strategies adapted to the growth dynamics of each species.

Keywords: Ecological succession; forest growth; forest landscape restoration; forest monitoring and assessment; size distribution; species diversity; sustainable forestry (AGROVOC).

1. Introducción

En Colombia, el bosque seco tropical (bs-T) constituye un ecosistema propio de regiones cálidas con estacionalidad climática marcada, en el cual, para el área de estudio, se presenta una prolongada estación seca anual y una vegetación adaptada funcionalmente a la limitación hídrica (1). Estos sistemas albergan una notable diversidad biológica, con altos niveles de endemismo, pero se reconocen por su complejidad ecológica y su alta vulnerabilidad frente a las presiones derivadas de la intervención humana (1). Históricamente ocupaban extensas áreas en regiones bajas de Colombia (valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca, llanura Caribe, entre otros); sin embargo, debido a la conversión de la tierra a agricultura, ganadería y asentamientos, su cobertura se ha reducido a ~9% de su extensión original en este país (2). Esta pérdida y fragmentación convierten al bs-T en uno de los biomas tropicales más amenazados y prioritarios para estrategias de restauración ecológica y manejo sostenible.

En comparación con los bosques húmedos, las especies del bs-T presentan tasas de crecimiento diamétrico más bajas, en parte por la estacionalidad de las lluvias, la alta densidad de la madera y suelos limitantes, contribuyendo a su fragilidad ecológica (3). Un ejemplo de esta tendencia es el análisis dendrocronológico en el Cerrado boliviano que reportaron incrementos promedio de diámetro entre ~0.4 y 1.1 cm por año en diversas especies arbóreas, advirtiendo que los crecimientos

son más lentos e inestables de lo comúnmente asumido, y que incluso en especies con tasas superiores a 1 cm a⁻¹, como *Ficus boliviana*, no se alcanzaría un diámetro medio cuadrático suficiente para su aprovechamiento en ciclos de corta de 25 años (4).

Adicionalmente, existen marcadas diferencias interespecíficas dentro del bs-T: por ejemplo, *Guarea guidonia* presenta un incremento medio de ~0.5 cm/año, evidenciando un crecimiento diamétrico notoriamente más lento que el de otras especies simpátricas como *Anacardium excelsum*, que alcanza ~1.4 cm a⁻¹ (5,6). Esta diferencia refleja un patrón ampliamente documentado en bosques tropicales, donde especies de crecimiento acelerado suelen presentar maderas menos densas, como ocurre con muchas especies pioneras, mientras que aquellas con maderas más densas tienden a crecer más lentamente (7). Por tanto, dentro de un mismo fragmento de bs-T coexisten especies de crecimiento rápido y crecimiento lento, determinadas por sus rasgos funcionales y requerimientos ecológicos.

Comprender las tasas de crecimiento diamétrico es fundamental para recuperar la estructura forestal y planificar la restauración del paisaje en bs-T. Desde un enfoque de manejo sostenible, reconocer la variabilidad entre especies resulta esencial, ya que aplicar reglas uniformes —como ciclos de corta o esquemas de aprovechamiento iguales— puede comprometer la sostenibilidad del recurso (4,8). En este sentido, caracterizar

los patrones de crecimiento en múltiples especies nativas ofrece una base científica para definir prioridades de conservación, seleccionar especies según su velocidad de crecimiento en programas de restauración ecológica y diseñar estrategias de manejo forestal diferenciadas y eficaces, acordes con las dinámicas particulares de cada especie.

En Colombia, si bien existen estudios sobre dinámica de bosques secos, aún persisten vacíos de conocimiento acerca del crecimiento comparativo de distintas especies arbóreas que coexisten en este ecosistema. El departamento del Tolima, en la cuenca alta del río Magdalena, conserva relictos de bs-T donde confluyen especies de diversas familias de importancia ecológica y económica como: *Cedrela odorata* L., *Machaerium capote* Triana ex Dugand, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg., *Astronium graveolens* Jacq., *Guarea guidonia* (L.) Sleumer, *Bulnesia carrapo* Killip & Dugand, *Pseudobombax septenatum* (Jacq) Dugand., *Nectandra reticulata* Mez., *Ladenbergia oblongifolia* (Humb. ex Mutis) L. Andersoon, *Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don., *Anacardium excelsum* (kunth) Skeels y *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. A la fecha no se cuenta con una caracterización detallada de los ritmos de crecimiento diamétrico entre las especies, ni con una clasificación funcional que oriente su uso diferencial. Esta información resulta clave para el diseño de estrategias de restauración y mane-

jo forestal adaptado al contexto local. En este sentido, el objetivo general de esta investigación fue evaluar las diferencias en el crecimiento diamétrico de doce especies arbóreas del bs-T en el departamento del Tolima (Colombia), a partir del monitoreo continuo de parcelas permanentes durante el periodo de años 2008 a 2016.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio. En la evaluación del crecimiento forestal, una de las principales limitantes es el tiempo cronológico que requiere el monitoreo de sus mediciones. A su vez, este proceso está condicionado por factores tensionantes como el clima. En este sentido, el presente estudio mantuvo un área de análisis con condiciones ambientales homogéneas, correspondiente a cuatro parcelas permanentes de investigación de 50×40 metros cada una, ubicadas en los municipios de Chaparral, Alvarado, Venadillo y Armero, dentro de la zona de vida bs-T del departamento del Tolima (Colombia) (9) (Figura 1), bajo el supuesto de que fenómenos como el ENSO afectarían de manera similar a todas las especies. Asimismo, la temporalidad continua entre 2008 y 2016 buscó homogeneizar el efecto de esta anomalía climática, permitiendo calcular un incremento corriente anual (ICA) promedio por individuo y por especie, que refleje la mayor variabilidad posible en el crecimiento diamétrico asociada a fluctuaciones climáticas estacionales y periódicas en el área de estudio.

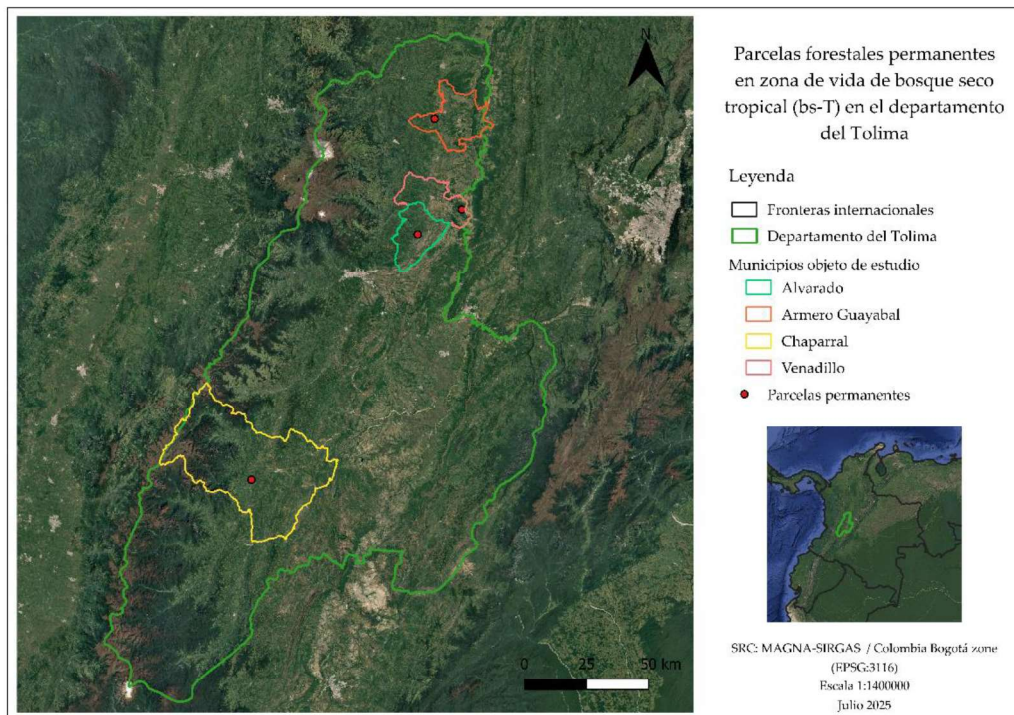


Figura 1. Parcelas forestales permanentes en zona de vida de bosque seco tropical (bs-T) en el departamento del Tolima. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Evaluación del crecimiento diamétrico. Entre las especies presentes en las parcelas permanentes de investigación, se midieron un total de 107 árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm, correspondientes a las especies: *A. graveolens* (16 individuos), *M. capote* (10), *P. septenatum* (6), *B. carrapo* (16), *C. odorata* (8), *G. guidonia* (6), *A. polyneuron* (6), *C. pentandra* (6), *A. excelsum* (10), *L. oblongifolia* (9), *J. copaia* (8) y *N. reticulata* (6). Estas mediciones se realizaron durante el establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo, conforme a los lineamientos de manejo definidos en el Plan General de Ordenación Forestal (PGOF) para el Tolima.

El DAP fue registrado en campo mediante un método no destructivo, utilizando la herramienta Field Map, que permite medir en tiempo real tanto el diámetro como otras variables estructurales del árbol, sin requerir estandarización manual de alturas de medición. La toma del DAP se realizó a 1,30 metros sobre el nivel del suelo, y la identificación taxonómica se verificó posteriormente con especímenes del herbario de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima.

El cálculo de los incrementos diamétricos se basó en la organización cronológica de los valores de DAP para estimar los incrementos anuales entre mediciones sucesivas (10). El ICA se calculó como la diferencia entre el DAP final e inicial, dividida por el intervalo de tiempo entre ambas mediciones.

2.3. Análisis estadístico. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el lenguaje de programación Python, versión 3.11. La normalidad de los datos fue verificada mediante la prueba de Shapiro–Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas se evaluó a través de la prueba de Levene; en ambos casos se cumplieron los supuestos para la aplicación de análisis paramétricos. Posteriormente, se empleó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con el propósito de identificar diferencias estadísticamente significativas en el ICA del diámetro entre las especies estudiadas, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD), y se asignaron letras de comparación estadística (CLD) a los grupos de especies, indicando diferencias significativas entre ellas.

Adicionalmente, se realizó una clasificación funcional de las especies en tres categorías de crecimiento dia-

métrico (rápido, medio y lento, establecidas por los autores) empleando el método de percentiles, una técnica estadística no paramétrica basada en la distribución ordenada de los datos. En este caso, los valores del ICA se organizaron de mayor a menor, dividiendo la muestra en cuatro cuartas partes. Las especies cuyos valores promedio de ICA se ubicaron por encima del percentil 75 (el valor que supera al 75 % de los datos) fueron clasificadas como de crecimiento rápido. Las especies situadas entre los percentiles 25 y 75 se consideraron de crecimiento medio, mientras que aquellas por debajo del percentil 25 fueron clasificadas como de crecimiento lento.

Todas las pruebas estadísticas y las representaciones gráficas correspondientes fueron realizadas en Python.

3. Resultados

El ICA mostró diferencias significativas entre las doce especies evaluadas en las parcelas permanentes (ANOVA, $p < 0.001$; $R^2 = 0.4345$), con valores que oscilaron entre 0.15 cm a^{-1} y 1.98 cm a^{-1} (Figura 2). El rango más bajo correspondió a *C. odorata* ($DE = 0.07$), mientras que *C. pentandra* presentó el valor medio más alto y, a su vez, el máximo absoluto registrado (4.50 cm a^{-1}). En el conjunto de especies con valores intermedios se ubicaron *A. excelsum* (media = 1.03 cm a^{-1} , $DE = 0.68$), *J. copaia* (0.73 cm a^{-1} , $DE = 0.37$), *B. carrapo* (0.66 cm a^{-1} , $DE = 0.26$) y *P. septenatum* (0.52 cm a^{-1} , $DE = 0.30$), evidenciando tendencias de crecimiento superiores a la mediana global. Las especies con menor variabilidad fueron *A. polyneuron* ($DE = 0.19$, $ICA = 0.40 \text{ cm a}^{-1}$) y *M. capote* ($DE = 0.18$, $ICA = 0.31 \text{ cm a}^{-1}$), mientras que *C. pentandra* registró la mayor dispersión entre individuos ($DE = 1.37 \text{ cm a}^{-1}$).

Los resultados del test de Tukey ($\alpha = 0.05$) permitieron agrupar las especies en tres niveles de significancia. *C. pentandra* se ubicó en el grupo “c”, con un ICA promedio de 1.98 cm a^{-1} , significativamente superior al de todas las demás especies ($p < 0.05$). Las mayores diferencias se registraron frente a *C. odorata* ($\Delta = 1.83 \text{ cm a}^{-1}$, $p < 0.001$), *M. capote* ($\Delta = 1.67$, $p < 0.001$), y *A. graveolens* y *A. polyneuron* (ambas con $\Delta = 1.58$, $p < 0.001$). Por su parte, *C. odorata* se ubicó exclusivamente en el grupo “b”, correspondiente a especies con menor rendimiento diamétrico. Las diez especies restantes se distribuyeron entre los grupos “a” y “ab”, con ICA promedio entre 0.40 y 1.03 cm a^{-1} . Dentro de este subconjunto no se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), ya que las especies del

grupo 'ab' no presentaron diferencias significativas con las pertenecientes a los grupos 'a' o 'b', actuando como un conjunto intermedio dentro del gradiente de crecimiento evaluado.

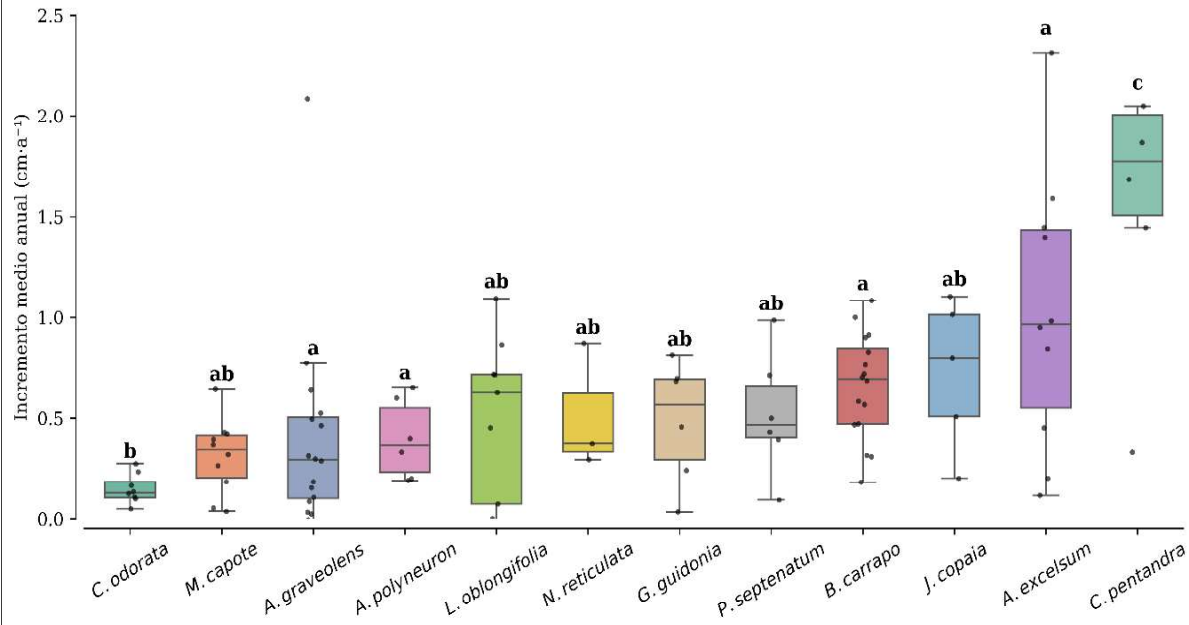


Figura 2. ICA del diámetro de doce especies arbóreas del bosque seco tropical en el Tolima, Colombia registradas durante los años 2008–2016. Los datos representan los valores individuales del ICA (cm a^{-1}), la mediana, el rango intercuartílico, los valores mínimo y máximo excluyendo atípicos, y los valores individuales. Las especies que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

La clasificación de las especies en categorías funcionales de crecimiento, basada en el método de percentiles, permitió delimitar tres grupos contrastantes a partir de los valores de ICA (Figura 3). Las especies con valores por encima del percentil 75 ($> 0.52 \text{ cm a}^{-1}$) fueron clasificadas como de crecimiento rápido: *C. pentandra* (1.98 cm a^{-1}), *A. excelsum* (1.03), *J. copaia* (0.73) y *B. carrapo* (0.66). Este conjunto presentó una media grupal de 1.01 cm a^{-1} y concentró las especies con los mayores registros individuales de crecimiento.

En la categoría de crecimiento medio (percentiles 25–75; $0.40\text{--}0.52 \text{ cm a}^{-1}$) se ubicaron *P. septenatum* (0.52), *N. reticulata* (0.51), *L. oblongifolia* (0.49) y *G. guidonia* (0.49), con un promedio conjunto de 0.50 cm a^{-1} . Finalmente, el grupo de crecimiento lento ($< P25$; $\text{ICA} < 0.40 \text{ cm a}^{-1}$) incluyó a *A. graveolens* (0.40), *A. polyneuron* (0.40), *M. capote* (0.31) y *C. odorata* (0.15), con una media grupal de 0.32 cm a^{-1} .

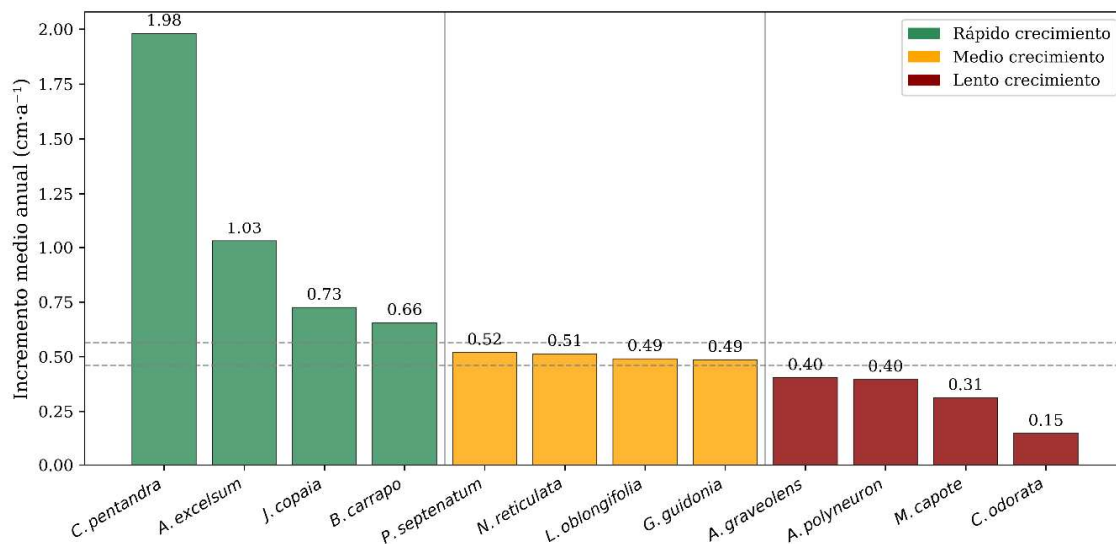


Figura 3. Clasificación funcional de doce especies arbóreas del bosque seco tropical en el Tolima, Colombia, según su categoría de crecimiento diamétrico.

4. Discusión

4.1. Crecimiento diamétrico en especies del bs-T del Tolima. Las diferencias significativas en el ICA observadas entre las doce especies en el bs-T del Tolima evidencian la coexistencia de estrategias funcionales contrastantes, resultado de una larga adaptación a condiciones de alta estacionalidad climática (11). Este gradiente de crecimiento, que oscila entre 0.15 y 1.98 cm a^{-1} , se alinea con lo reportado en otros sistemas tropicales secos donde las tasas de incremento diamétrico rara vez superan 1 cm a^{-1} (12).

En especial, *C. pentandra* se destaca por presentar el mayor ICA y una alta variabilidad intraespecífica, reflejando su plasticidad frente a condiciones ambientales y de manejo. Estudios en sistemas agroforestales de la India han demostrado que su crecimiento diamétrico varía según el espaciamiento y el régimen de poda, factores que podrían explicar las diferencias observadas en nuestro estudio (13). Por otra parte, se han documentado ejemplares de gran porte en el Tolima, sugiriendo condiciones edáficas y climáticas favorables para su desarrollo (14). A ello se suman proyecciones donde, incluso bajo escenarios pesimistas de cambio climático, *C. pentandra* conservaría condiciones ambientales adecuadas, manteniendo su potencial como especie clave para programas de restauración ecológica en paisajes degradados (14).

Por otra parte, *A. excelsum* se ha identificado con alta diversidad genética en el valle del Magdalena y forma parte de las especies prioritarias para restauración ecológica en Colombia por su valor forestal y capacidad de adaptación a diversas condiciones edáficas y climáticas (15). Aunque se le ha atribuido un crecimiento medio a lento, estudios recientes indican que puede alcanzar dimensiones comerciales en unos 20 años (6). Además, análisis dendrocronológicos muestran que su crecimiento diamétrico sigue un modelo logístico, con incrementos importantes en las primeras décadas y una proyección asintótica de hasta 596 cm de DAP en 133 años bajo condiciones del bs-T del Caribe colombiano (16).

J. copaia, en plantaciones de la Amazonia central brasileña, presentó el mayor DAP entre las especies evaluadas durante un periodo de cuatro años, así como valores elevados de incremento medio anual y actual anual en diámetro, confirmando un crecimiento acelerado en etapas tempranas (17). Asimismo, destacó por su morfología favorable en el contexto de programas de

reforestación productiva. Nuestra clasificación también es coherente con reportes de otras regiones de la Amazonia, donde se ha documentado una anatomía leñosa de porosidad difusa, con vasos numerosos y de diámetro medio, además de una alta densidad estomática (18). Estos atributos favorecen una elevada eficiencia en el transporte de agua y en la asimilación de carbono, permitiendo a la especie aprovechar ambientes con alta disponibilidad hídrica y lumínica, lo que se traduciría en un crecimiento acelerado.

En cuanto a *B. carrapo*, en el Tolima alcanzó uno de los mayores DAP (60.1 cm) y volumen real (1.92 m^3) entre 13 especies analizadas en condiciones naturales sin intervención (19), lo que respalda su clasificación como especie de crecimiento relativamente rápido y con potencial silvicultural. En ese mismo estudio, *P. septenatum* mostró un DAP de 18,7 cm y volumen real de 0,14 m^3 , ubicándose en rangos intermedios, al igual que en nuestro análisis. Sin embargo, un estudio en la Mata Atlántica brasileña identificó a *Pseudobombax grandiflorum* como especie de crecimiento rápido, con incrementos anuales de 0.03 a 4.43 cm en bosque natural y de 0.30 a 3.22 cm en plantaciones, además de una correlación positiva entre diámetro y edad (20). Su crecimiento radial estuvo influenciado por la precipitación anual y por eventos estacionales, lo que refleja una alta sensibilidad climática.

Por su parte, *Nectandra reticulata* fue clasificada como de crecimiento medio, mientras que en un estudio realizado en un bosque muy húmedo pre-montano (bmhPM) de la Amazonía ecuatoriana fue considerada una esciófita parcial de crecimiento lento (21). Esta diferencia es notable, ya que en condiciones más húmedas suele esperarse un mayor crecimiento arbóreo (3). Su bajo desempeño incluso en un ambiente más favorable refuerza la idea de una estrategia de crecimiento conservadora, probablemente ligada a requerimientos de sombra y microhábitat. Aun así, ambos estudios coinciden en que su rendimiento es limitado frente a especies pioneras de rápido crecimiento.

L. oblongifolia ha sido clasificada como de crecimiento diamétrico medio. Aunque no se dispone de estimaciones directas sobre su tasa de incremento en diámetro, su presencia recurrente en coberturas de alta heterogeneidad estructural, como los matorrales con árboles dispersos del suroccidente andino (22), así como su inclusión entre las especies pioneras intermedias del bs-T del Huila (23), sugiere que mantiene una dinámica

sucesional estable y un comportamiento ecológico relativamente generalista.

En cuanto a *G. guidonia* con un ICA de 0.49 cm a-1, el más bajo dentro de nuestra categoría de crecimiento medio, se contrastan los resultados con un estudio en bs-T del norte del Tolima, donde tras 14 años de seguimiento y uso de modelos no lineales (Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico), se estimó un ICA de 0.51 cm a-1. No obstante, en ese estudio fue clasificada como de crecimiento lento, con proyecciones entre 83 y 89 años para alcanzar un DAP de 50 cm (5). Esta diferencia de interpretación puede deberse al enfoque metodológico: nuestro análisis se basa en observaciones directas a corto plazo y comparaciones entre especies, mientras que el otro estudio modela la trayectoria completa del crecimiento. En todo caso, ambos resultados coinciden en ubicar a la especie en un rango intermedio, entre crecimiento medio-bajo y lento.

Las especies de crecimiento lento suelen presentar una alta densidad de madera, lo que se asocia con tasas diamétricas reducidas (7). *C. odorata*, sin embargo, es una excepción: a pesar de su baja densidad, mostró en nuestro estudio la tasa de crecimiento más baja, mientras que en un bs-T degradado del sur de Panamá alcanzó la más alta (1.47 cm a⁻¹) entre las especies evaluadas (24). En ese mismo estudio, *A. graveolens* fue clasificada como especie de crecimiento rápido, con una tasa promedio de 0.48 cm a⁻¹, valor similar al registrado por nosotros. Aunque menos abundante que *A. graveolens*, *C. odorata* presentó buena regeneración y alto crecimiento individual en ambientes con baja competencia herbácea. Adicionalmente, en el Tolima se observó que *M. capote* superó en DAP (0.43 m) y volumen real (1.52 m³) a *A. graveolens*, con valores cercanos a los de *B. caparrero*, a diferencia de lo registrado en el presente estudio (19). Estas diferencias podrían deberse a la competencia interespecífica o la ocurrencia de eventos climáticos extremos como el ENSO, conocido por generar estrés hídrico severo en Colombia.

Finalmente, *A. polyneuron* se ubicó entre las especies de crecimiento lento y ha sido identificada como estructuralmente dominante en un bs-T del Tolima, donde participa en procesos de segregación espacial por competencia a escalas intermedias (~16 m) (25). Sin embargo, en fragmentos del bosque atlántico brasileño se ha documentado una marcada reducción en su crecimiento en zonas de borde, atribuida a la alta infestación por lianas que limita los eventos de liberación característicos

de especies emergentes (26). Estos hallazgos indican que su desempeño competitivo depende en gran medida de la estructura del bosque y del nivel de perturbación del entorno.

4.2. Recomendaciones para futuras investigaciones.

Los lineamientos establecidos en los Planes de Ordenación Forestal (POF) en Colombia suelen clasificar las especies según categorías funcionales como “rápido crecimiento” o “alto valor comercial”, frecuentemente sin una validación empírica local. Este estudio demuestra que dichas categorías no siempre reflejan las dinámicas reales de crecimiento, y subraya la necesidad de revisar y ajustar estas clasificaciones a partir de evidencia regional. Se recomienda, por tanto, que futuras investigaciones incorporen series temporales de crecimiento diamétrico por especie y asociar los crecimientos con las densidades físicas de la madera, con el fin de refinar los criterios de manejo forestal sostenible en el bs-T. Específicamente, se sugiere priorizar estudios que evalúen el rendimiento en crecimiento de especies clave como *A. excelsum*, *G. guidonia*, *C. pentandra*, *A. graveolens* y *M. capote* en diferentes condiciones edáficas y de perturbación, para proponer planes de manejo forestal y llevarlos, porque no, a ciclos de corta diferenciados y realistas por especie.

En el ámbito de la restauración ecológica, es fundamental desarrollar investigaciones orientadas a seleccionar especies en función de su rol funcional y velocidad de establecimiento. Se recomienda diseñar y monitorear experimentos que combinen especies pioneras de rápido crecimiento para cobertura inicial, con especies de crecimiento lento y alto valor estructural para asegurar la sucesión ecológica y la estabilidad a largo plazo.

Finalmente, varias de las especies evaluadas en este estudio han sido señaladas en otros trabajos por su alta sensibilidad o capacidad de ajuste frente a cambios en la disponibilidad de agua, luz o condiciones climáticas. Por ello, se recomienda realizar estudios comparativos bajo diferentes escenarios climáticos o gradientes de precipitación, que permitan entender mejor su plasticidad funcional y su respuesta ecológica en contextos de restauración o manejo forestal adaptativo.

5. Conclusiones

Este estudio, el monitoreo del crecimiento diamétrico, durante un significativo periodo de años, proporciona una base sobre los patrones de crecimiento diamétrico en doce especies arbóreas del bosque seco tropical del

Tolima, revelando una alta variabilidad interespecífica que responde a estrategias funcionales diferenciadas.

La clasificación en tres categorías de crecimiento (rápido, medio y lento), basada en incrementos corrientes anuales medidos durante ocho años, constituye un insumo clave para refinar los esquemas de restauración ecológica y manejo forestal sostenible en este ecosistema altamente amenazado.

Agradecimientos: A Jeimy Lorena Bonilla Vargas, por su apoyo en el trabajo de campo. A la Corporación Autónoma Regional del Tolima y la Universidad del Tolima, por la financiación y la logística, en el contexto del PGOF, 2007.

Conflicto de intereses y financiación. Conflicto de intereses y financiación. Los autores manifiestan no tener conflictos de interés con ninguna institución académica pública o privada.

Referencias

1. Melo O, Fernández-Méndez F, Villanueva B. (2017). Hábitat lumínico, estructura, diversidad y dinámica de los bosques secos tropicales del Alto Magdalena. *Colomb For* 20(1):19–30.
2. García H, Corzo G, Isaacs-Cubides PJ, Etter A. (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: insumos para su gestión. En: García H, editor. *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. p. 229–51.
3. Toledo M, Poorter L, Peña-Claros M, Alarcón A, Balcázar J, Leaño C, et al. (2011). Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *J Ecol* 99(1):254–64.
4. López L, Villalba R, Peña-Claros M. (2012). Ritmos de crecimiento diamétrico en los bosques secos tropicales: aportes al manejo sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado boliviano. *Bosque* 33(2):211–19.
5. Lozano-Botache L, Cruz O. (2023). Crecimiento diamétrico de *Guarea guidonia* (L.) estimado con modelos no lineales. Bosque seco tropical en el norte de Tolima, Colombia. *Rev Asoc Colomb Cienc Biol* 1:10–9.
6. Lozano-Botache LA, Franco ON, Bonilla JL. (2012). Estimación del crecimiento diamétrico de *Anacardium excelsum* (Kunth) Skeels por medio de modelos no lineales, en bosques naturales del departamento del Tolima. *Bol Cient Mus Hist Nat* 16(1):19–32.
7. Francis EJ, Muller-Landau HC, Wright SJ, Visser MD, Iida Y, Fletcher C, et al. (2017). Quantifying the role of wood density in explaining interspecific variation in growth of tropical trees. *Glob Ecol Biogeogr* 26(10):1078–87.
8. Mesa-Sierra N, Peña-Domene M, Campo J, Giardina CP. (2025). Restoration of tropical dry forest: an analysis of constraints and successes across a highly threatened biome. *Front Environ Sci* 12:1458613.
9. Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2007). Plan general de ordenación forestal del Tolima. Ibagué: Cortolima. Consultado el 30 de julio de 2025, disponible en: <https://datosabiertos.cortolima.gov.co/datasets/f1d68eaf1fb2428bb9c26720cc3c2c79>
10. Melo-Cruz OA, Vargas-Ríos R. (2003). *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. Ibagué: Universidad del Tolima. Pp 190.
11. García-Cervigón A, Camarero JJ, Cueva-Ortiz E, Espinosa C, Escudero A. (2019). Climate seasonality and tree growth strategies in a tropical dry forest. *J Veg Sci* 31:1043–54.
12. Valverde JC, Arias D, Castillo M, Torres D. (2021). Relación de la variabilidad climática con el crecimiento diamétrico de ocho especies arbóreas de bosque seco en Costa Rica. *Ecosistemas* 30(1):2092.
13. Gawali A, Puri S, Swamy SL. (2014). Growth, biomass, carbon sequestration and nutrient storage in *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. stands in sub-humid tropics of Eastern India. *Ecol Environ Conserv* 20(Suppl):S71–81.
14. Bocanegra-González KT, Thomas E, Guillemin ML, Carvalho D, Gutiérrez JP, Alcázar-Cañedo C, et al. (2018). Genetic diversity of *Ceiba pentandra* in Colombian seasonally dry tropical forest: implications for conservation and management. *Biol Conserv* 227:29–37.
15. Bocanegra-González KT, Guillemin ML. (2018). Guidelines for the restoration of the tropical timber tree *Anacardium excelsum*: first input from genetic data. *Tree Genet Genomes* 14(4):59.

16. Briceño AM, Rangel-Ch JO. (2021). Series de clima en anillos de *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg. y *Anacardium excelsum* (Bertero ex Kunth) Skeels. *Colomb For* 24(2):52–64.
17. Machado MR, Camara R, Sampaio PTB, Ferraz JBS, Pereira MG. (2018). Silvicultural performance of five forest species in the central Brazilian Amazon. *Acta Amaz* 48(1):10–17.
18. Oliveira RT, Santos JAR, Oliveira MA, Tavares JV, Miranda PN, Silveira M. (2023). Hydraulic traits of *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don (Bignoniaceae) in the southwest Amazon. *Rev Árvore* 47:e4715.
19. Lozano-Botache LA, Bonilla-Vargas JL. (2022). Factor de forma para árboles del bosque seco tropical (bs-T) en el norte del departamento del Tolima – Colombia. *Temas Agrarios* 27(2):344–53.
20. Albuquerque RP, Brandes AFN, Lisi CS, Moraes LFD, Barros CF. (2019). Tree-ring formation, radial increment and climate–growth relationship: assessing two potential tree species used in Brazilian Atlantic forest restoration projects. *Trees* 33(3):877–92.
21. Hernández-Benalcázar H, Gagnon D, Davidson R. (2015). Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales de la Amazonía ecuatoriana de estados sucesionales diferentes. *Siembra* 2(1):69–75.
22. Corredor-Londoño GA, Beltrán JW, Torres-González AM, Sardi A. (2020). Phenological synchrony and seasonality of tree species in a fragmented landscape in the Colombian Andes. *Rev Biol Trop* 68(3):987–1000.
23. Vargas W. (2015). Una breve descripción de la vegetación, con especial énfasis en las pioneras intermedias de los bosques secos de La Jagua, en la cuenca alta del río Magdalena en el Huila. *Colomb For* 18(1):47–70.
24. Griscom HP. (2020). The long-term effects of active management and landscape characteristics on carbon accumulation and diversity within a seasonal dry tropical ecosystem. *For Ecol Manag* 473:118296.
25. Salazar-Villegas MH, Wiegand T, González-M R, Rodríguez-Buritica S, Qasim M, Csaplovics E. (2023). Spatial facilitation and competition regulate tree species assembly in a tropical dry forest. *Front For Glob Change* 6:1278410.
26. Godoy-Veiga M, Ceccantini G, Pitsch P, Krottenthaler S, Anhuf D, Locosselli GM. (2018). Shadows of the edge effects for tropical emergent trees: the impact of lianas on the growth of *Aspidosperma polyneuron*. *Trees* 32(4):1073–82.