

9CFE-1407

Adaptaciones funcionales de *Aspidosperma polyneuron* en el bosque seco tropical

CERVERA BONILLA, D C. (1), BARRIOS TRILLERAS A. (2) y LÓPEZ AGUIRRE, A M. (2)

(1) Agrosavia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Centro de Investigación Nataima. Tolima, Colombia.

(2) Universidad del Tolima, Colombia.

Resumen

El bosque seco tropical (bs-T) es uno de los ecosistemas más amenazados globalmente. En Colombia, solo queda el 8% de su cobertura original, con una reducción drástica de 8 millones a 720.000 hectáreas. Esta reducción ha contribuido al cambio climático y ha amenazado a numerosas especies arbóreas, como *Aspidosperma polyneuron*, clasificada como “En peligro” por la UICN. El estudio evaluó los rasgos funcionales de plántulas de *A. polyneuron*, incluyendo diámetro, altura, biomasa total (BT), relación biomasa subterránea/ aérea (R/S), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), tasa de crecimiento relativo (RGR), contenido de clorofila, asimilación neta (A_i), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso del agua intrínseca (WUEi), bajo diferentes condiciones de radiación solar, sustrato y fertilización. El análisis de varianza reveló un efecto significativo de la radiación solar en todos los rasgos funcionales, excepto en la relación R/S. En general, las plantas expuestas a alta radiación solar mostraron mayor biomasa total y RGR pero menor AFE, clorofila, A_i , g_s y WUEi. La fertilización aumentó el crecimiento de las plantas en diámetro, altura, pero afectó negativamente la relación R/S. Por el contrario, el sustrato no mostró un efecto significativo sobre los rasgos evaluados. Estas adaptaciones sugieren una estrategia de crecimiento acelerado en condiciones de alta luminosidad, priorizando el crecimiento y la producción de biomasa, mientras regulan la pérdida de agua para maximizar la fotosíntesis. Estos hallazgos son fundamentales para diseñar estrategias efectivas de restauración ecológica.

Palabras clave

Adaptación funcional, estrategia de crecimiento, eficiencia en el uso del agua, restauración ecológica, rasgos funcionales.

1. Introducción

El Bosque Seco Tropical (Bs-T) es un ecosistema de alta biodiversidad y relevancia ecológica, caracterizado por una marcada estacionalidad en la precipitación, alternando entre estaciones secas prolongadas y lluvias concentradas. Históricamente, cubría aproximadamente el 42 % de las zonas tropicales del mundo, pero actualmente menos del 10 % de su extensión original permanece intacta debido a factores como la deforestación, la fragmentación del hábitat y el cambio climático (MILES et al., 2006; PORTILLO-QUINTERO & SÁNCHEZ-AZOFEIFA, 2010). Esta degradación también afecta la biodiversidad y los servicios ecosistémicos esenciales, poniendo en riesgo tanto la flora como la fauna que dependen de estos bosques (DIRZO & RAVEN, 2003).

Aspidosperma polyneuron, conocido como "Cumulá" o "Perobá-rosa," es un árbol emblemático del Bs-T y está catalogado como "En Peligro" por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 1998). Esta especie



desempeña un papel importante en la estructura y funcionalidad del ecosistema, proporcionando hábitat para diversas especies y recursos esenciales para la fauna. Sin embargo, su supervivencia está amenazada por la pérdida de su hábitat, la explotación intensiva y su limitada capacidad de regeneración natural (BROADBENT et al., 2008; VIEIRA & SCARIOT, 2006).

En este contexto, la restauración ecológica es una herramienta importante para revertir la degradación de estos ecosistemas y garantizar la supervivencia de especies como *A. polyneuron* y la producción de plántulas de alta calidad en vivero, adaptadas a las condiciones específicas del Bs-T, es primordial para el éxito de estos programas de restauración (CLEWELL & ARONSON, 2013; OLIET et al., 2004).

2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio fue analizar las adaptaciones funcionales de *Aspidosperma polyneuron* en el Bosque Seco Tropical, evaluando cómo los rasgos morfológicos, funcionales y fisiológicos de esta especie responden a diferentes niveles de radiación solar, fertilización y sustratos. Este análisis busca identificar las condiciones óptimas para la producción de plántulas de alta calidad que promuevan la restauración ecológica eficiente y la adaptabilidad de la especie en entornos degradados.

3. Metodología

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación Nataima, ubicado en el municipio de El Espinal, Tolima, Colombia, a 418 m.s.n.m. Se recolectaron semillas de *Aspidosperma polyneuron* de ocho árboles seleccionados en fragmentos de Bs-T en los valles interandinos. Estas semillas fueron sembradas en vivero bajo condiciones controladas, simulando dos niveles de radiación solar: alta (805 μmol de fotones/ m^2/s) y baja (383 μmol de fotones/ m^2/s) (MELO et al., 2017).

Se utilizó un diseño factorial $2 \times 2 \times 3$, combinando dos niveles de fertilización (con y sin fertilizante de liberación controlada OSMOCOTE® Plus 15-9-12+EM) y tres tipos de sustratos (mezclas de turba, fibra de coco y cáscara de arroz incinerada) (Tabla 1). En total, se aplicaron 12 tratamientos, cada uno replicado ocho veces, utilizando 1632 tubetes individuales de 15 cm de altura (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos experimentales empleados en el ensayo de germinación y crecimiento de *A. polyneuron*.

Tratamiento	Radiación solar	Fertilización	Sustrato
1	Baja	No fertilizado	50 % T + 25 % FC + 25 % CI
2	Baja	Fertilizado	50 % T + 25 % FC + 25 % CI
3	Baja	No fertilizado	50 % T + 50 % FC
4	Baja	Fertilizado	50 % T + 50 % FC
5	Baja	No fertilizado	50 % T + 50 % CI
6	Baja	Fertilizado	50 % T + 50 % CI

7	Alta	No fertilizado	50 % T + 25 % FC + 25 % CI
8	Alta	Fertilizado	50 % T + 25 % FC + 25 % CI
9	Alta	No fertilizado	50 % T + 50 % FC
10	Alta	Fertilizado	50 % T + 50 % FC
11	Alta	No fertilizado	50 % T + 50 % CI
12	Alta	Fertilizado	50 % T + 50 % CI

Se analizaron rasgos morfológicos como la altura total y el diámetro del cuello de las plantas, funcionales como la biomasa total (BT), la relación biomasa subterránea/aérea (R/S), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), y tasa de crecimiento relativo (RGR), y fisiológicos como contenido de clorofila, tasa fotosintética (A_i), conductancia estomática (g_s), y eficiencia en el uso del agua (WUEi). Las plántulas fueron evaluadas a los 53, 82, 121 y 165 días posteriores a la siembra. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) de tres vías y pruebas post hoc de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos (R CORE TEAM, 2024).

4. Resultados

Los resultados obtenidos demuestran que las condiciones de radiación solar influyen significativamente en las adaptaciones funcionales de *A. polyneuron*, mientras que el sustrato y la fertilización muestra un impacto más limitado y dependiente de la disponibilidad lumínica (Tabla 2). La radiación influyó en todos los rasgos evaluados ($p < 0.001$), excepto en la relación R/S ($p > 0.05$), mientras que el sustrato no mostró diferencias significativas para ningún rasgo evaluado ($p > 0.05$). La fertilización influyó significativamente en el diámetro, altura, la relación R/S, en la tasa de crecimiento relativo (RGR), y la cantidad de clorofila en las hojas (Tabla 2).

En cuanto a las interacciones entre factores, la interacción entre radiación y sustrato solo afectó significativamente la relación R/S. La interacción entre radiación y fertilización afectó significativamente la altura y el área foliar de las plantas (Tabla 2). La interacción entre sustrato y fertilización no afectó significativamente ninguno de los rasgos evaluados. Finalmente, la interacción de los tres factores evaluados (radiación, sustrato y fertilización) solo afectó significativamente la cantidad de clorofila de las hojas ($p < 0.05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Valores F y significancia del análisis de varianza de tres vías para rasgos de *A. polyneuron* bajo diferentes condiciones de radiación, sustrato y fertilización.

Fuente	R	S	F	R×S	R×F	S×F	R×S×F
--------	---	---	---	-----	-----	-----	-------



Nota: ***: significativo para $p < 0.001$; **: significativo para $p < 0.01$; *: significativo para $p < 0.05$; ns: no significativo ($p > 0.05$).

En cuanto al crecimiento y la biomasa, las plántulas expuestas a alta radiación alcanzaron promedios de altura a los 165 días de desarrollo de 20.8 cm y diámetros de cuello de 3.6 mm, lo que corresponde a un aumento de 116 % y 102 % frente al promedio de las plantas en baja radiación solar, respectivamente (Figura 1a y 1b). Así mismo, las plantas creciendo en alta radiación solar presentaron un promedio de 1.80 g de biomasa total a los 165 días de desarrollo, mientras que las plantas en condiciones de sombra presentaron un promedio de biomasa total de 0.32 g, lo que representa un 465 % más biomasa total en condiciones de alta radiación solar (Figura 1c). Por otro lado, la relación R/S mostró valores más altos en plantas no fertilizadas, con valores promedio a los 165 días de desarrollo de 0.37 g g^{-1} , el cual es un 40 % más alto que el presentado por plantas fertilizadas 0.22 g g^{-1} (Figura 1d). Así mismo, se observó una tendencia marcada a la disminución de los valores de R/S conforme las plantas envejecen (Figura 1d).

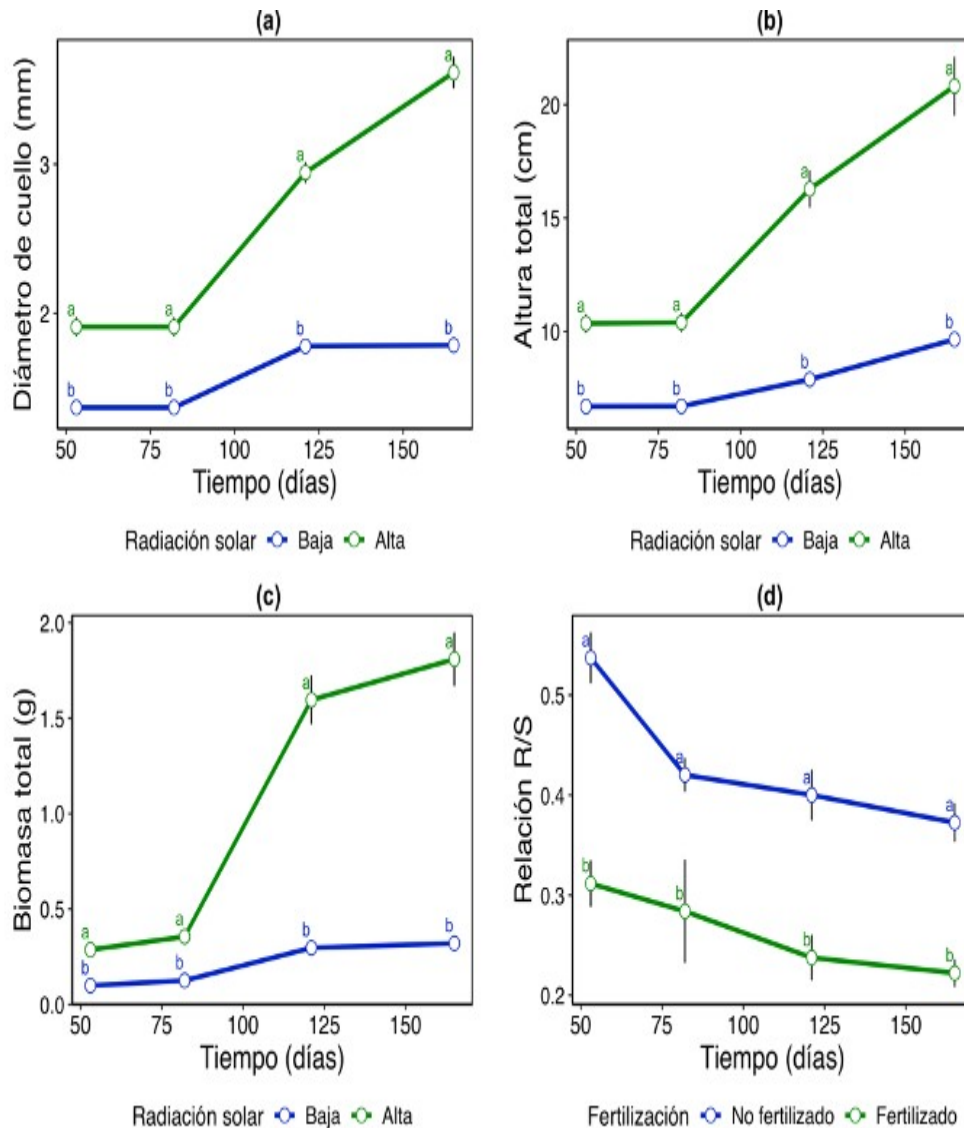


Figura 1. Dinámica del diámetro, altura, y biomasa bajo condiciones de radiación solar y de la relación R/S bajo condiciones de fertilización para plantas de *A. polyneuron*.

La Figura 2a muestra el comportamiento del desarrollo del área foliar (AF) en plantas de *A. polyneuron* en condiciones contrastantes de radiación solar. Como se aprecia las plantas expuestas a alta radiación solar mostraron mayor área foliar comparadas con las plantas en sombra. Sin embargo, en condiciones de baja radiación, el área foliar específica (AFE) alcanzó valores significativamente mayores que los registrados en alta radiación (Figura 2b), lo que indica una estrategia de inversión en área foliar para captar más luz disponible. Por su parte, la tasa de crecimiento relativo (RGR) calculada desde la primera y la última medición (53 a 165 días) fue más alta en plantas expuestas a alta radiación y fertilización, lo que refleja una respuesta competitiva frente a condiciones luminosas (Figura 1c).

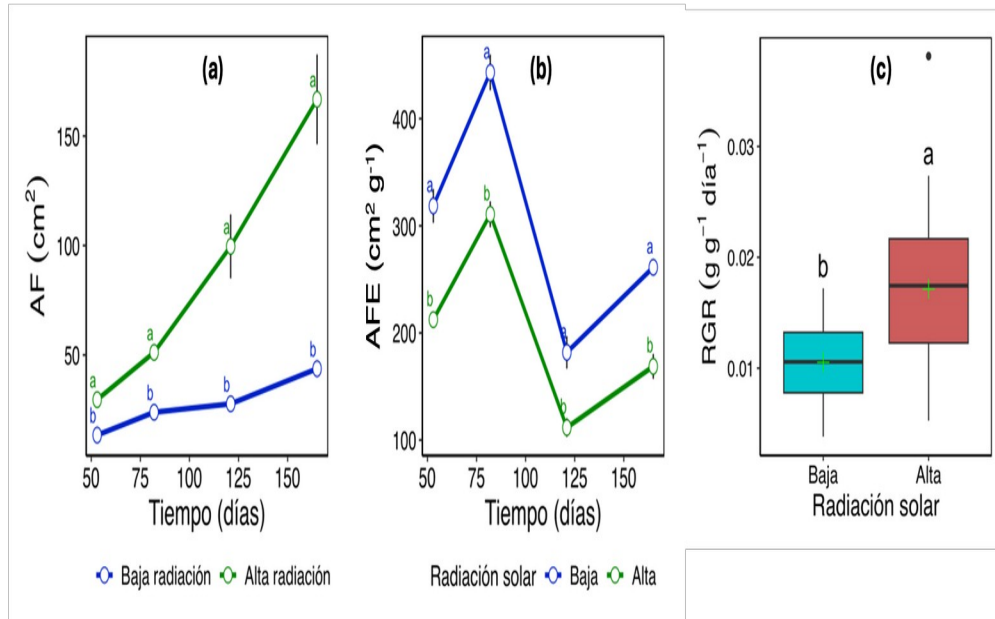


Figura 2. Efectos de la radiación y fertilización en el desarrollo de rasgos funcionales en plántulas de *A. polyneuron*.

Interesantemente, las plántulas de *A. polyneuron* en baja radiación presentaron rasgos fisiológicos más altos. Las concentraciones de clorofila total fueron un 45 % superiores a las observadas en alta radiación (Figura 3a). Similarmente, la asimilación neta (A_i) y la conductancia estomática (g_s) y la eficiencia en el uso del agua (WUE_i) fueron mayores en plantas sometidas a baja radiación (Figura 3b, 3c, y 3d), evidenciando un ajuste fisiológico que maximiza la fotosíntesis y el intercambio de gases en condiciones limitadas de luz, mejorando la eficiencia en el uso de recursos en estas condiciones.

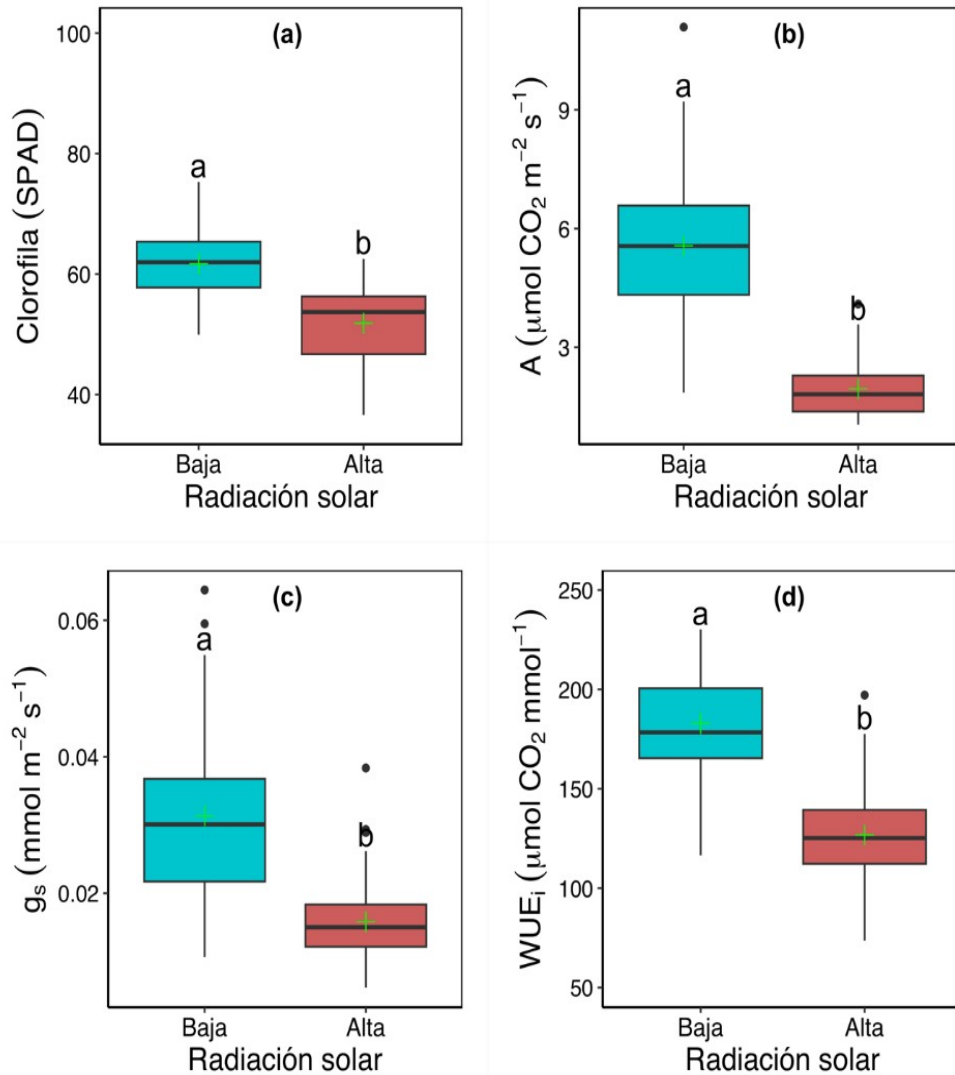


Figura 3. Variación de rasgos fisiológicos de *A. polyneuron* bajo diferentes niveles de radiación solar.

5. Discusión

La plasticidad fenotípica de *Aspidosperma polyneuron* es un reflejo de su capacidad adaptativa frente a las condiciones de radiación solar, lo que posiciona a este factor como el principal determinante en su desempeño fisiológico y funcional. Bajo condiciones de alta radiación, las plántulas priorizaron estrategias adquisitivas que incluyeron un crecimiento acelerado en altura y diámetro, así como un incremento significativo en la biomasa total, particularmente cuando se combinó con fertilización. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan cómo los niveles elevados de luz incrementan la fotosíntesis y el desarrollo estructural en especies tropicales adaptadas a ambientes abiertos (POORTER & BONGERS, 2006).

En baja radiación, la especie mostró un notable ajuste a través de estrategias conservativas. El incremento en el área foliar específica (AFE) y el contenido de clorofila total son características que permiten optimizar la captación de luz en entornos de luminosidad limitada. Estas respuestas son consistentes con trabajos



como el de VALLADARES et al. (2007), quienes señalan que la plasticidad en AFE es fundamental para maximizar el aprovechamiento de recursos en condiciones de sombra.

Aunque la fertilización favoreció el desarrollo estructural en alta radiación, su impacto en baja radiación fue limitado. En este contexto, la radiación no solo afecta directamente el crecimiento, sino que también modula la efectividad de los tratamientos de fertilización. Esto se debe a que, en ausencia de luz suficiente, las plántulas no pueden aprovechar de manera eficiente los nutrientes adicionales, como también lo han indicado estudios de OLIET et al. (2004) en otros ecosistemas tropicales. Adicionalmente, la fertilización afectó negativamente la relación R/S produciendo un desbalance entre la parte aérea y la subterránea de las plantas.

Otro hallazgo importante fue la capacidad de adaptación en términos de eficiencia hídrica. Las plántulas en baja radiación alcanzaron mayores valores de eficiencia en el uso del agua (WUEi), lo que las posiciona como una especie viable para entornos donde la disponibilidad hídrica puede ser limitante. Este comportamiento confirma la importancia de las adaptaciones fisiológicas para el éxito en programas de restauración, como lo plantean BROADBENT et al. (2008).

La variabilidad en las respuestas entre los tratamientos subraya la necesidad de ajustar las estrategias de restauración a las condiciones específicas del sitio. En particular, los viveros deben priorizar la radiación adecuada durante las etapas iniciales de crecimiento, considerando que el diseño de tratamientos basados únicamente en fertilización puede no garantizar el éxito si las condiciones lumínicas son subóptimas. Debido a que el sustrato no mostró un efecto significativo sobre los rasgos evaluados, en términos prácticos se recomienda el empleo del sustrato de más bajo costo. Esta selección no tendría implicaciones funcionales o alteraciones en los rasgos analizados.

Estos resultados reafirman que *Aspidosperma polyneuron* es una especie altamente plástica y adaptable, con un potencial significativo para proyectos de restauración ecológica. Las estrategias de manejo deben enfocarse en maximizar su respuesta a la radiación solar y optimizar su supervivencia en el campo mediante una selección cuidadosa de tratamientos que consideren tanto factores ambientales como funcionales.

6. Conclusiones

Las condiciones de radiación solar son determinantes para el desarrollo y las adaptaciones funcionales de *Aspidosperma polyneuron*. En alta radiación, las plántulas priorizan estrategias adquisitivas, como un mayor crecimiento en altura, diámetro y biomasa, reflejando su capacidad de aprovechar entornos con luz abundante. La fertilización potencia el desarrollo estructural únicamente bajo condiciones de alta radiación. Sin embargo, en baja radiación, su impacto es limitado debido a las restricciones lumínicas que predominan sobre la disponibilidad de nutrientes. En ambientes de baja radiación, las plántulas muestran estrategias conservativas, como una mayor área foliar específica, contenido de clorofila y eficiencia en el uso del agua, lo que les permite optimizar recursos en condiciones adversas. El diseño de viveros y las estrategias de restauración ecológica deben priorizar el manejo adecuado de las condiciones de radiación solar durante las etapas iniciales de crecimiento, asegurando así el éxito de la producción de plántulas adaptadas para su establecimiento en el Bosque Seco.



Tropical.

7. Agradecimientos

Agradecemos a la corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por financiar y respaldar esta investigación. Reconocemos también a la Universidad del Tolima por su contribución financiera y académica. Finalmente, extendemos nuestra gratitud a los directores de esta tesis, al equipo de trabajo, a los operarios de campo y a todas las personas que hicieron posible este estudio.

8. Bibliografía

- BROADBENT, E. N.; ASNER, G. P.; KELLER, M.; KNAPP, D. E.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, J. N. M. 2008. Forest fragmentation and edge effects. *Biological Conservation* 141: 1745–1757.
- CLEWELL, A.; ARONSON, J. 2013. *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Press, Washington.
- DIRZO, R.; RAVEN, P. H. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 137–167.
- MELO, F.; LEMOS, R.; GAMA-RODRIGUES, E.; MACHADO, M. 2017. Light environment and seedling dynamics in tropical dry forests. *Journal of Tropical Ecology* 33: 91–101.
- MILES, L.; GRAINGER, A.; PHILLIPS, O. 2006. Global forest fragmentation patterns. *Conservation Biology* 20: 375–385.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; ARROYO, A.; PAZ SUÁREZ, A.; FERNÁNDEZ, M. 2004. Plant quality and field performance in reforestation. *Forest Ecology and Management* 188: 1–12.
- POORTER, L.; BONGERS, F. 2006. Functional traits and resource-use strategies of tropical trees. *Annals of Botany* 98: 399–408.
- PORTILLO-QUINTERO, C.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation* 143: 144–155.
- R CORE TEAM. (2024). R: A language and environment for statistical computing (Version 4.4.0) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü.; WRIGHT, I. J.; REICH, P. B. 2007. Plasticity and acclimation to light in tropical forest plants. *Functional Ecology* 21: 225–236.
- VIEIRA, D. L.; SCARIOT, A. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology* 14: 11–20.