

Estructura horizontal de un bosque secundario seco manejado en Guanacaste, Costa Rica

Horizontal structure of a managed secondary tropical dry forest in Guanacaste, Costa Rica

Verónica Villalobos-Barquero¹  • Ruperto Quesada Monge¹  • Lupita Vargas Fonseca¹ 

Recibido: 13/8/2025

Aceptado: 30/4/2026

Abstract

Tropical dry secondary forests play a key role in landscape restoration and the provision of ecosystem services in tropical regions. This study evaluated the horizontal structure and floristic composition of a managed secondary tropical dry forest under silvicultural treatments at the Horizontes Experimental Forest Station, Costa Rica. Variables such as basal area, tree density, and species richness were analyzed in three forest management units during the period 2021–2024 under four treatments: harvesting, release, enrichment, and control. Results showed densities exceeding 890 trees/ha and basal area values close to 16 m²/ha in the most developed management units, as well as a richness ranging from 29 to 51 species per 0.04 ha. Harvesting caused localized reductions in basal area, while release and enrichment treatments exhibited stable or positive trends in structural variables. Floristic composition was dominated by families such as Fabaceae, Bignoniaceae, and Rubiaceae, accounting for more than 50% of the recorded richness. However, the analysis of variance (ANOVA) did not find statistically significant differences among treatments for the evaluated variables ($p > 0.05$). This result suggests that forest structural response may be influenced both by the inherent dynamics of secondary ecosystems and by the temporal scale of the study, which may be insufficient to detect significant changes. In this context, silvicultural treatments represent a strategy with potential to contribute to the sustainable management of tropical dry secondary forests, particularly when complemented by medium- and long-term monitoring.

Keywords: ecological recovery, tree diversity, forest management, dry forests, assisted restoration.

1. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica; rquesada@itcr.ac.cr, lvargas@itcr.ac.cr, vvillalobos@itcr.ac.cr

Resumen

Los bosques secundarios secos cumplen un papel clave en la restauración de paisajes y la provisión de servicios ecosistémicos en regiones tropicales. Este estudio evaluó la estructura horizontal y la composición florística de un bosque secundario seco manejado mediante tratamientos silviculturales en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Costa Rica. Se analizaron variables como área basal, densidad arbórea y riqueza de especies en tres unidades de manejo forestal durante el periodo 2021–2024, bajo cuatro tratamientos: cosecha, liberación, enriquecimiento y testigo. Los resultados mostraron densidades superiores a 890 árboles/ha y valores de área basal cercanos a 16 m²/ha en las unidades de manejo más desarrolladas, así como una riqueza de entre 29 y 51 especies por 0,04 ha. La cosecha generó reducciones puntuales en el área basal, mientras que los tratamientos de liberación y enriquecimiento presentaron tendencias estables o positivas en las variables estructurales. La composición florística estuvo dominada por familias como Fabaceae, Bignoniaceae y Rubiaceae, que concentraron más del 50 % de la riqueza registrada. No obstante, el análisis de varianza (ANOVA) no detectó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las variables evaluadas ($p > 0,05$). Este resultado sugiere que la respuesta estructural del bosque puede estar influenciada tanto por la dinámica propia de los ecosistemas secundarios como por la escala temporal del estudio, la cual podría ser insuficiente para evidenciar cambios a nivel estadístico. En este contexto, los tratamientos silviculturales representan una estrategia con potencial para contribuir al manejo sostenible de los bosques secundarios secos, particularmente cuando se acompañan de monitoreo a mediano y largo plazo.

Palabras clave: recuperación ecológica, diversidad arbórea, manejo forestal, bosques secos, restauración asistida.

Introducción

Los bosques tropicales secundarios han ganado relevancia por su papel en la restauración de paisajes, la mitigación del cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos, [1] y [2]. La importancia biológica de estos ecosistemas ha sido ampliamente documentada por Gentry [3] y Quesada et al. [4]; sin embargo, estos bosques son uno de los ecosistemas más amenazados a nivel global, enfrentando una severa presión por la degradación y la deforestación [5].

El bosque seco secundario, luego de la perturbación, tiende a regenerarse de manera natural. De acuerdo con Powers et al. [6], estudios de cronosecuencia en parcelas

de 3 a 50 años en bosque seco tropical costarricense evidencian la recuperación de la cobertura, estructura y composición, demostrando que, al detenerse el factor disturbador, estos bosques presentan una tendencia clara a regenerarse gradualmente. No obstante, este proceso natural presenta limitaciones importantes, como la vulnerabilidad a nuevas perturbaciones, las restricciones en la dispersión de semillas y el establecimiento de especies, tal como lo han expresado varios autores [2], [4].

En este contexto, diversos estudios en bosques secos tropicales de América Latina han documentado una alta variabilidad en la estructura y composición florística. Por ejemplo, Ramos y Trujillo [7], así como Luna-Blanco et al. [8], reportan diferencias estructurales importantes en estos ecosistemas, mientras que Cuéllar-Cardozo et al. [9] y Ramírez y Ayoví [10] destacan la heterogeneidad en la composición florística incluso bajo condiciones similares. Estas evidencias refuerzan la idea de que la regeneración natural no sigue un patrón uniforme, lo que señala la necesidad de implementar estrategias silviculturales activas.

Los tratamientos silviculturales constituyen una herramienta para guiar la sucesión natural, mejorar la estructura y composición del bosque y favorecer su productividad [4], [11]. Según Abarca-Valverde et al. [12], la aplicación de tratamientos como la liberación y la cosecha ha mostrado resultados positivos en términos de producción de madera y rentabilidad financiera en Costa Rica. Adicionalmente, enfoques técnicos de manejo forestal han señalado el potencial de estas intervenciones para orientar la dinámica de los bosques secundarios [13]. Sin embargo, la respuesta estructural del bosque a estos tratamientos puede variar considerablemente, y aún existe información limitada sobre sus efectos a corto plazo, particularmente en bosques secos tropicales. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la estructura horizontal de un bosque secundario seco manejado mediante tratamientos silviculturales en la Estación Experimental Forestal Horizontes, provincia de Guanacaste, Costa Rica, como base para proponer estrategias de restauración y manejo sostenible de este ecosistema.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH), la cual se localiza en el distrito de Nacascolo, cantón de Liberia, en la provincia de Guanacaste, Costa Rica [14], (CRTM05) 323 730 oeste, y 1 182 664 norte [18].

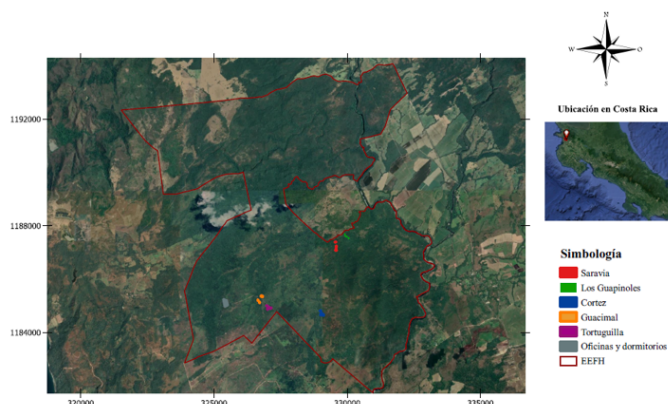


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Figure 1. Location of the sampling sites at the Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

Esta estación experimental se ubica en la zona de vida denominada Bosque Seco Tropical, con una precipitación que varía entre 1500 y 2000 mm anuales. Su altitud varía entre los 60 y 184 metros y presenta actualmente más de un 70 % de cobertura con algún grado de regeneración [14].

Diseño experimental

El diseño de muestreo se estructuró a partir de la selección de tres sitios de estudio: Guacimal, El Cortés y Saravia, correspondientes a Unidades de Manejo Forestal (UMF). En cada sitio se establecieron cuatro parcelas permanentes de muestreo (PPM) destinadas a la aplicación de los tratamientos silviculturales: cosecha, enriquecimiento, liberación y testigo. Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar, conformado por tres bloques correspondientes a cada UMF, con los cuatro tratamientos silviculturales asignados al azar dentro de cada bloque, lo que resultó en tres réplicas por tratamiento. La unidad experimental consistió en parcelas permanentes de muestreo de 20 m x 50 m, subdivididas en subparcelas de 20 m x 10 m. La delimitación de las parcelas en campo se realizó marcando los vértices externos con tubos de PVC pintados en el extremo superior con pintura amarilla, mientras que los vértices internos se marcaron con tubos de PVC sin aplicación de pintura. Las unidades fueron seleccionadas bajo criterios de similitud en condiciones de sitio, con el fin de reducir la variabilidad ambiental no asociada a los tratamientos.

En cada parcela, se identificaron, marcaron y midieron todos los individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 5 cm, a 1,30 m sobre el nivel del suelo. Los datos se recopilaban anualmente durante el período 2021–2024. La marcación se efectuó mediante una línea horizontal de pintura a 1,30 m de altura;

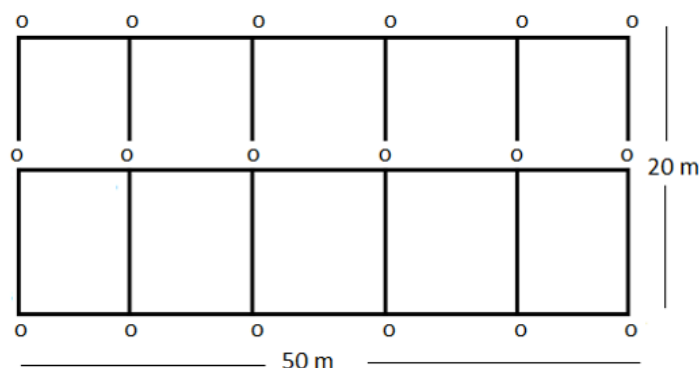


Figura 2. Esquema de parcela permanente de medición. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Figure 2. Schematic representation of the permanent sampling plot. Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

en árboles con múltiples ejes, se marcaron todos los tallos. A cada individuo se le asignó un número consecutivo, iniciado desde 1 hasta el último árbol registrado, incorporándose los ingresos anuales con numeración correlativa.

Evaluación de la estructura horizontal y composición florística. Para evaluar la estructura y composición florística del bosque, se registraron el diámetro a la altura del pecho (DAP), la identificación botánica y la abundancia de las especies presentes en cada parcela.

El área basal (G , m^2/ha) se calculó mediante la ecuación 1.

$$G = \left(\sum \frac{\pi}{4} \times d^2 \right) \times 10 \quad (1)$$

Donde: G es el área basal; $\sum$ es la suma de todos los árboles censados en la parcela, d el diámetro de cada individuo medido a 1,30 cm del suelo y el factor 10 ajusta el área basal por hectárea dada el tamaño de la parcela (0,1 ha).

La abundancia relativa (AR) de cada especie se determinó con ecuación 2.

$$AR = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde, N_i es el número de individuos de una especie i y N es el número de total de individuos de todas las especies.

Para el análisis de la estructura horizontal y composición florística se emplearon las metodologías descritas en [15], [17].

Cuadro 1. Resumen de variables dasométricas evaluadas las tres UMF, del 2021 al 2024. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Table 1. Summary of dendrometric variables evaluated in the three Forest Management Units (FMU) from 2021 to 2024. Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

Año	2021		2022		2023		2024	
UMF	N/ha	G (m ² ha ⁻¹)	N/ha	G (m ² ha ⁻¹)	N/ha	G (m ² ha ⁻¹)	N/ha	G (m ² ha ⁻¹)
Guacimal	817	13,31	860	14,75	858	15,32	900	15,40
El Cortés	645	13,19	708	15,69	748	16,03	813	15,25
Saravia	892	15,36	893	16,03	918	16,34	905	15,99

Aplicación de tratamientos silviculturales. En el tratamiento de liberación, una vez identificado el individuo líder deseable conforme a la clasificación de Hutchinson [15], se procedió a eliminar las plantas trepadoras (bejucos y lianas) que limitaban su crecimiento, así como los árboles competidores no comerciales que afectaban su desarrollo. Por otra parte, el tratamiento de enriquecimiento se fundamentó en un análisis previo de la condición del bosque para determinar la distribución espacial óptima de las especies a introducir, seleccionando aquellas de importancia comercial, relevancia ecológica o con algún grado de vulnerabilidad, con el objetivo de mejorar la diversidad y funcionalidad del ecosistema. Finalmente, la ejecución del tratamiento de cosecha requirió la realización de un inventario forestal y un censo comercial en un bloque de 2 ha que incluía la parcela permanente de muestreo (PPM) sometida al tratamiento, información que sirvió de base para la elaboración del Plan General de Manejo de cada UMF, conforme a la normativa nacional vigente [17].

Análisis estadístico. Se analizaron los efectos de los tratamientos silviculturales sobre el área basal (m²/ha) y el número de árboles por hectárea (árboles/ha), con datos recolectados en las tres UMF durante el periodo 2021–2024. La consistencia y calidad de los datos se evaluaron inicialmente mediante análisis exploratorios gráficos con diagramas de caja (Box Plots) utilizando Microsoft Excel. Posteriormente, se verificaron los supuestos para el análisis de varianza (ANOVA) en un diseño en bloques completos al azar: la normalidad de los residuos se evaluó con la prueba de Shapiro-Wilk, y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene, ambos implementados en InfoStat versión 2020.

Para cada variable respuesta y año de muestreo, se realizó un ANOVA para determinar los efectos de los tratamientos silviculturales y las UMF sobre las variables evaluadas, con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. En los casos donde se detectaron diferencias significativas,

se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$) para identificar las diferencias específicas entre tratamientos y UMF. Todos los análisis estadísticos se ejecutaron en el software InfoStat versión 2020.

Resultados y discusión

Estructura horizontal

Los bosques secos secundarios evaluados en la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) corresponden a un proceso de sucesión secundaria que supera los 35 años de recuperación [18]. En este sitio, los bosques se agrupan en seis categorías según área basal, criterio utilizado para clasificar su grado de madurez. En este estudio, valores superiores a 20 m²/ha se consideraron como referencia operativa para identificar condiciones cercanas a estados sucesionales avanzados. Este criterio es consistente con la literatura sobre bosques secos tropicales, donde la acumulación progresiva de área basal se asocia con el avance sucesional y el incremento en la complejidad estructural del ecosistema [6], [19]. Desde el enfoque silvicultural, la aplicación de tratamientos (cosecha, enriquecimiento y liberación) induce cambios en la estructura vertical y horizontal, así como en la composición florística, orientados a la restauración y manejo sostenible del bosque secundario. El Cuadro 1 resume las variables de densidad (árboles/ha) y área basal (m²/ha) para las UMF durante el periodo de estudio.

La UMF Saravia mostró los mayores valores, con densidades superiores a 890 árboles/ha y un área basal cercana a 16 m²/ha de forma consistente durante los cuatro años. La reducción observada en el área basal para el año 2024 se asocia con la intervención del tratamiento de cosecha. Esta variabilidad en la estructura horizontal es consistente con lo reportado en bosques secos tropicales, donde se ha documentado una alta heterogeneidad estructural [7], [8], [9], [10], así como en estudios locales [18], [16].

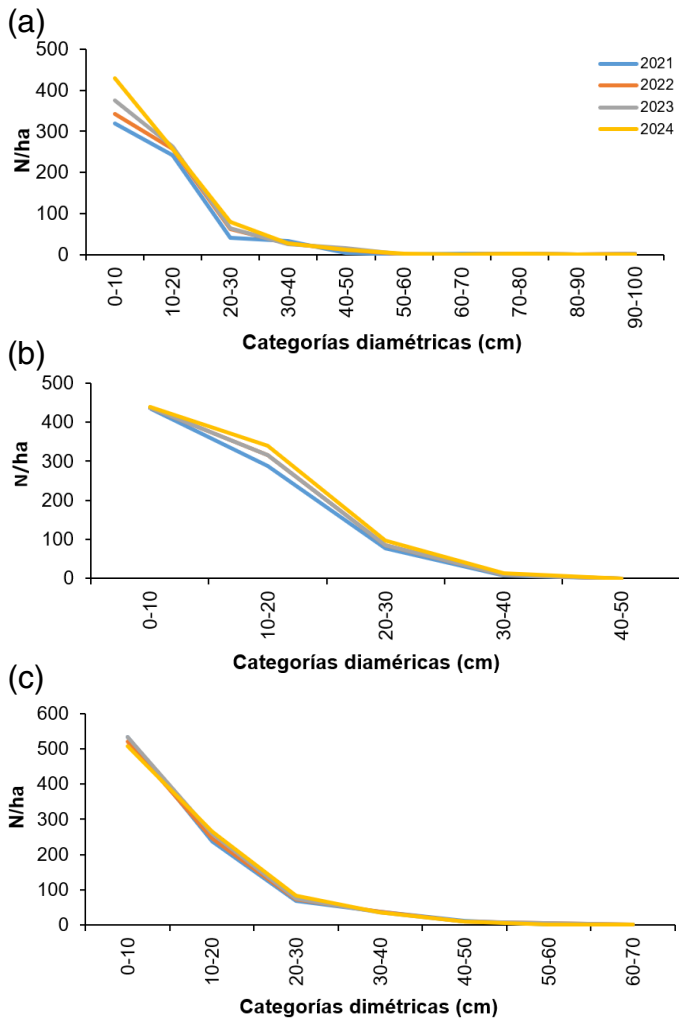


Figura 3. Distribución diamétrica para todas las especies según unidades de manejo forestal, A: El Cortes, B: Guacimal, C: Saravia. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Figure 3. Diameter class distribution for all species across forest management units: A: El Cortes, B: Guacimal, C: Saravia. Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

Por otra parte, la distribución diamétrica (Figura 3) presentó una forma de J invertida, con predominancia de individuos en categorías diamétricas menores, característica típica de bosques secundarios en regeneración. Este patrón ha sido ampliamente documentado en ecosistemas similares [9], [16].

Composición Florística

De acuerdo con el Cuadro 2, el número de especies por parcela varió entre 29 y 51 en 0,1 ha. Se identificaron hasta 15 familias botánicas y 39 géneros. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado para bosques secos tropicales en el neotrópico [7], [8], [9], [10], así

Cuadro 2. Distribución de familias, géneros y especies según UMF y años en 0,4 ha. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Table 2. Distribution of families, genera, and species by forest management unit (FMU) and year within 0.4 ha. Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

		Unidad de manejo forestal		
		El Cortes	Guacimal	Saravia
Año 2021	Familias	17	18	17
	Géneros	27	34	37
	Especies	34	44	48
Año 2022	Familias	15	16	17
	Géneros	23	36	38
	Especies	29	46	49
Año 2023	Familias	16	17	16
	Géneros	24	36	37
	Especies	29	46	48
Año 2024	Familias	17	17	16
	Géneros	23	39	38
	Especies	30	47	51

como en estudios realizados en la EEFH [16], [18].

El análisis florístico evidenció que las familias Fabaceae, Bignoniaceae, Cordiaceae, Apocynaceae, Rubiaceae, Annonaceae y Anacardiaceae concentran más del 50 % de la riqueza total registrada, siendo Fabaceae la de mayor diversidad. Este patrón coincide con lo reportado para bosques secos tropicales, donde esta familia suele dominar la composición florística [7]. Las especies más abundantes corresponden a especies características del bosque seco, incluyendo *Guazuma ulmifolia* y *Cochlospermum vitifolium*, representando en conjunto un 72,8 % de la abundancia total.

Impacto de los tratamientos silviculturales

Los tratamientos silviculturales aplicados en los bosques secundarios secos de la Estación Experimental Forestal Horizontes generaron cambios observables en la estructura del bosque en el corto plazo, particularmente en el área basal y la densidad, aunque estos no se tradujeron en diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). La cosecha, que implicó la extracción de individuos con diámetros mayores a 40 cm, produjo las reducciones más evidentes en el área basal, alcanzando pérdidas de hasta 7,92 m²/ha en El Cortés, 3,37 m²/ha en Saravia y 2,01 m²/ha en Guacimal (Cuadro 4), lo cual es consistente con la apertura de claros, la remoción de biomasa y la alteración física del sitio asociadas a este tipo de intervención. Este

Cuadro 3. Distribución las cuatro familias botánicas más abundantes según especies por año y unidad de manejo forestal. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Table 3. Distribution of the four most abundant plant families by species, year, and forest management unit (FMU). Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

El Cortes			Guacimal		Saravia	
	Familia botánica	sp	Familia botánica	sp	Familia botánica	sp
Año 2021	Fabaceae	11	Fabaceae	13	Fabaceae	18
	Bignoniaceae	4	Cordiaceae	6	Bignoniaceae	5
	Cordiaceae	2	Bignoniaceae	4	Cordiaceae	4
	Apocynaceae	2	Rubiaceae	4	Anacardiaceae	3
sub-total sp		19		27		30
Año 2022	Fabaceae	11	Fabaceae	14	Fabaceae	18
	Bignoniaceae	3	Cordiaceae	7	Bignoniaceae	3
	Cordiaceae	2	Bignoniaceae	4	Cordiaceae	4
	Apocynaceae	2	Rubiaceae	4	Anacardiaceae	3
sub-total sp		18		29		28
Año 2023	Fabaceae	9	Fabaceae	14	Fabaceae	18
	Bignoniaceae	4	Cordiaceae	7	Bignoniaceae	5
	Annonaceae	2	Bignoniaceae	4	Cordiaceae	4
	Apocynaceae	2	Annonaceae	3	Anacardiaceae	3
sub-total sp		17		28		30
Año 2024	Fabaceae	8	Fabaceae	14	Fabaceae	21
	Cordiaceae	4	Cordiaceae	7	Bignoniaceae	5
	Bignoniaceae	3	Bignoniaceae	4	Cordiaceae	4
	Rubiaceae	2	Rubiaceae	4	Anacardiaceae	4
sub-total sp		17		29		34

comportamiento ha sido documentado en bosques secundarios tropicales, donde las intervenciones silviculturales modifican la estructura horizontal sin generar necesariamente cambios inmediatos en la composición florística [12], [13].

En contraste, los tratamientos de liberación y enriquecimiento mostraron respuestas estructurales más estables, con tendencias hacia el mantenimiento o incremento de la densidad y el área basal, aunque con alta variabilidad entre unidades de manejo. Esta variabilidad puede explicarse por procesos ecológicos intrínsecos como la mortalidad natural y la competencia, que en bosques secos tropicales suelen enmascarar los efectos de intervenciones de manejo en escalas temporales cortas.

El enriquecimiento incluyó la introducción de 114 individuos de ocho especies, con supervivencia del 100 % durante el primer año, lo que sugiere una respuesta

alentadora, aunque aún preliminar. Las especies utilizadas fueron: *Dalbergia retusa*, *Bombacopsis quinata*, *Diphysa robinoides*, *Acosmium panamense*, *Gliricidia sepium*, *Hymenaea courbaril*, *Leptolobium panamense* y *Astronium graveolens*. Los resultados obtenidos concuerdan con el concepto de restauración activa que buscan acelerar la recuperación del bosque mediante la incorporación de especies clave [13]. La implementación de estos tratamientos se enmarca dentro de estrategias de restauración asistida que buscan complementar la regeneración natural, particularmente en contextos donde la limitación en la dispersión de semillas y el establecimiento de plántulas restringen la sucesión ecológica [21].

Los tratamientos silviculturales aplicados son una estrategia prometedora para acelerar la recuperación y mejorar la productividad y diversidad de los bosques secundarios secos, aunque la corta ventana temporal entre la cosecha y la última evaluación limita la detección

Cuadro 4. Caracterización de variables dasométricas evaluadas desde el año 2021 al 2024, para las tres UMF, según tratamientos silviculturales. Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Table 4. Characterization of dendrometric variables evaluated from 2021 to 2024 across the three forest management units (FMUs), according to silvicultural treatments. Horizontes Forest Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

UMF	Tratamiento	2021			2022			2023			2024		
		N/ha	G (m ² /ha)	Especies (0,1 ha)	N/ha	G (m ² /ha)	Especies (0,1 ha)	N/ha	G (m ² /ha)	Especies (0,1 ha)	N/ha	G (m ² /ha)	Especies (0,1 ha)
Guacimal	Cosecha	650	17,49	24	710	17,99	26	730	18,72	26	780	16,71	26
	Enriquecimiento	840	9,77	6	900	12,62	7	870	13,29	7	890	14,11	7
	Liberación	1080	13,50	21	1120	15,25	22	1120	15,85	22	1190	16,92	23
	Testigo	700	12,48	15	710	13,16	17	710	13,40	17	740	13,88	18
El Cortés	Cosecha	620	22,84	15	710	26,41	17	690	26,58	17	660	18,66	16
	Enriquecimiento	660	5,17	11	780	7,02	12	990	8,26	14	1030	10,08	13
	Liberación	340	7,25	16	390	8,60	16	300	8,55	12	670	11,02	19
	Testigo	960	17,48	11	950	20,74	12	1010	20,72	16	890	21,25	13
Saravia	Cosecha	1070	15,20	23	1050	17,11	23	1050	16,56	24	980	13,13	24
	Enriquecimiento	740	10,80	22	770	11,75	25	790	12,46	25	810	13,28	27
	Liberación	770	19,21	27	810	19,19	24	820	19,49	24	850	20,34	24
	Testigo	990	16,22	31	940	16,08	31	1010	16,85	31	980	17,22	31

de cambios significativos. Se espera que la cicatrización post perturbación y la sucesión ecológica reflejen en el mediano y largo plazo beneficios en estructura y composición, conforme se han documentado en ecosistemas similares [13], [20].

Comparación estadística de las UMF y tratamientos aplicados

Con base en la información del Cuadro 4, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de cuatro tratamientos silviculturales: Cosecha, Liberación, Enriquecimiento y testigo, sobre las variables área basal (m² ha⁻¹), densidad arbórea (árboles ha⁻¹) y riqueza de especies (0,1 ha) en las UMF Guacimal, Saravia y El Cortés, durante el periodo 2021–2024. El análisis indicó que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos para ninguna de las variables evaluadas. Este resultado sugiere que, en el periodo de evaluación, los tratamientos no generaron efectos detectables a nivel estadístico sobre la estructura horizontal del bosque.

No obstante, esto no implica ausencia de efecto, sino que puede estar relacionado con la alta resiliencia de los bosques secundarios secos, la variabilidad estructural intrínseca de estos ecosistemas o el corto periodo de evaluación. Estos aspectos han sido ampliamente documentados en estudios de bosques secos tropicales [7] y [10], donde se reconoce que los

Cuadro 5. Lista de especies empleadas en el tratamiento enriquecimiento, según UMF. Estación Experimental Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Table 5. List of species used in the enrichment treatment by forest management unit (FMU). Horizontes Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica.

Especies	Unidad de manejo forestal		
	Guacimal	El Cortes	Saravia
<i>Dalbergia retusa</i>	5	8	
<i>Bombocapsus quinatum</i>	5	5	1
<i>Diphysa robinoides</i>	28		4
<i>Acosmiun panamensis</i>	2		
<i>Gliricidia sepium</i>	5	2	2
<i>Hymenaea courbaril</i>	2		
<i>Leptolobium panamense</i>		23	6
<i>Astronium graveolens</i>		1	5
Total	47	39	18

cambios estructurales pueden requerir periodos más prolongados para ser detectados estadísticamente. Por ejemplo, estudios de restauración mediante nucleación aplicada han demostrado que los beneficios estructurales y funcionales pueden requerir más de una década para manifestarse plenamente [22], lo que sugiere que el periodo de cuatro años evaluado

en este estudio podría ser insuficiente para detectar cambios estadísticamente robustos. En este sentido, los resultados obtenidos son consistentes con la literatura y sugieren que la evaluación de tratamientos silviculturales en bosques secundarios debe considerar escalas temporales mayores para evidenciar cambios significativos.

Conclusiones

Aunque las experiencias de manejo en bosques secundarios en Costa Rica son limitadas, estos ecosistemas presentan un alto potencial para la gestión sostenible, dada su creciente cobertura y relevancia ecológica y socioeconómica.

Los tratamientos silviculturales aplicados generaron cambios observables en la estructura del bosque, particularmente en el área basal y la densidad; sin embargo, estos no fueron estadísticamente significativos durante el periodo de evaluación. Este resultado sugiere que la respuesta del bosque frente a las intervenciones puede estar influenciada tanto por su capacidad de recuperación como por la escala temporal del estudio.

En términos generales, los tratamientos silviculturales constituyen una estrategia con potencial para contribuir al manejo sostenible de los bosques secundarios, particularmente cuando se implementan bajo principios de manejo adaptativo y en complemento con la regeneración natural.

Finalmente, la inversión en silvicultura de bosques secundarios contribuye simultáneamente a la conservación ambiental, la mitigación del cambio climático y la generación de beneficios socioeconómicos, fortaleciendo el bienestar de las comunidades rurales y la gobernanza forestal regional.

Agradecimientos

Los autores desean expresar un agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el financiamiento otorgado que hizo posible la ejecución de este proyecto. Asimismo, se reconoce el valioso apoyo del Centro de Investigación en Innovación Forestal (CIF) de la Escuela de Ingeniería Forestal, cuya colaboración fue fundamental para el desarrollo y seguimiento de las actividades investigativas.

De manera especial, se agradece a los ingenieros David Reyes Cordero y Francisco Ramírez Noguera, representantes de la Administración de la Estación Experimental Forestal Horizontes, por su constante

apoyo, facilitación de recursos y acompañamiento técnico durante todo el periodo de ejecución del proyecto. También se reconoce el compromiso y dedicación del personal de apoyo que contribuyó significativamente al éxito del estudio, destacando la labor de los señores Yilbert Alvarado Alvarado, Pedro Alvarado Juárez, Jimmy Canales Castro, Ronald Castro Miranda, Luis Chavarría Jiménez y Félix Carmona Medrano.

Finalmente, se agradece a todas las personas y entidades que, directa o indirectamente, aportaron con su esfuerzo y conocimientos para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Material y métodos

Referencias

- [1] G. Derroire et al., "Resilience of tropical dry forests – a meta-analysis of changes in species diversity and composition during secondary succession," *Oikos*, vol. 125, no. 10, Oct., pp. 1386–1397, 2016, doi: 10.1111/oik.03229.
- [2] Instituto Alexander von Humboldt, *Regeneración natural en los bosques secos: Aportes para su restauración ecológica*, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: https://humboldt.org.co/images/pdf/regeneracion_bosques_secos.pdf. [Accedido: 13-ago-2025].
- [3] A. H. Gentry, "Diversity and floristic composition of neotropical dry forests," en *Seasonally dry tropical forests*, S. H. Bullock, H. A. Mooney y E. Medina, Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995, pp. 164–194.
- [4] M. Quesada et al., "Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives," *Forest Ecology and Management*, vol. 258, pp. 1014–1024, 2009, doi: 10.1016/j.foreco.2009.07.014.
- [5] E. Ortiz-Malavasi, "Fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica durante los periodos 1997–2000 y 2000–2005," *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 9, no. 22, pp. 29–38, 2012, doi: 10.18845/rfmk.v9i22.359.
- [6] J. S. Powers, J. M. Becknell, J. Irving y D. Pérez-Áviles, "Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers," *Forest Ecology and Management*, vol. 258, pp. 959–970, 2009, doi: 10.1016/j.foreco.2008.10.036.
- [7] V. L. I. Ramos y C. W. Trujillo, "Estructura y diversidad florística en bosques secos de la Orinoquia en Tame,

- Arauca, Colombia,” *Caldasia*, vol. 47, e111220, 2025, doi: 10.15446/caldasia.v47.111220.
- [8] C. P. Luna-Blanco, P. J. Álvarez-Pérez y J. D. Mercado-Gómez, “Diversidad y estructura fisionómica en dos fragmentos de bosques riparios asociados a ecosistemas secos en el Caribe colombiano (Montes de María-Sucre),” *Ciencia en Desarrollo*, vol. 13, no. 2, pp. 11–24, 2022.
- [9] J. A. Cuéllar-Cardozo, D. Nossa-Silva y M. I. Vallejo, “Diversidad y estructura florística en zonas riparias de un remanente de bosque seco tropical,” *Colombia Forestal*, vol. 25, no. 2, pp. 70–84, 2022.
- [10] H. W. Ramírez y G. N. E. Ayoví, “Estructura y composición arbórea del bosque seco tropical en el valle Sancán, Manabí, Ecuador,” *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, vol. 10, no. 2, pp. 169–181, 2022.
- [11] H. Lamprecht, *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*, Eschborn, Alemania: GTZ, 1990.
- [12] P. Abarca-Valverde, V. Meza-Picado y J. Méndez-Gamboa, “Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica,” *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 54, no. 1, pp. 140–166, 2020, doi: 10.15359/rca.54-1.8.
- [13] J. S. Serrano-Molina et al., “Guía didáctica para la silvicultura de bosques secundarios y degradados en Centroamérica, Turrialba, Costa Rica: CATIE”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10261>. [Accedido: 13-ago-2025].
- [14] Área de Conservación Guanacaste (ACG), “Estación Experimental Forestal Horizontes,” Página web institucional, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.acguanacaste.ac.cr/biodesarrollo/programa-de-restauracion-y-silvicultura/estacion-experimental-forestal-horizontes>. [Accedido: 13-ago-2025].
- [15] I. Hutchinson, “Puntos de partida y muestreo silvicultural de bosques naturales del trópico húmedo, Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1993”. [En línea]. Disponible en: <https://www.catie.ac.cr/portal/publicaciones/serie-tecnica/serie-tecnica-204/>. [Accedido: 13-ago-2025].
- [16] P. Spittler, *Potencial de manejo de los bosques secundarios en la zona seca del noroeste de Costa Rica*, Eschborn, Alemania: GTZ, 2001.
- [17] MINAE, “Resolución R-SINAC-CONAC-115-2017. Código de prácticas de los estándares de sostenibilidad para el manejo de los bosques secundarios”, *La Gaceta*, Alcance N° 49, 6 de marzo de 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.gaceta.go.cr/web/home/-/document_library_display/6w8c/content/2018/03/06/alcance-49.pdf. [Accedido: 13-ago-2025].
- [18] P. Rigg, “Propuesta de línea base del Plan de Ordenamiento Forestal para la Estación Experimental Forestal Horizontes,” Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9782>. [Accedido: 13-ago-2025].
- [19] R. L. Chazdon, *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*. Chicago, USA: University of Chicago Press, 2014, doi: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226118109.001.0001>
- [20] M. Muñoz-Mazón et al., “How forest structure varies with elevation in old growth and secondary forest in Costa Rica,” *Forest Ecology and Management*, vol. 469, p. 118191, 2020, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118191.
- [21] J. M. Romero-Saritamá y A. E. Bedoya Castillo, “Variación morfológica de semillas de 20 especies leñosas nativas en un bosque seco sudamericano,” *Fronteiras Journal of Social Technological and Environmental Science*, vol. 11, no. 1, pp. 54–59, 2022, doi: 10.21664/2238-8869.2022v11i1.p54-59.
- [22] K. D. Holl et al., “Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study,” *Journal of Applied Ecology*, vol. 57, no. 12, pp. 2316–2328, 2020, doi: 10.1111/1365-2664.13630.