

Abarca-Valverde, Pablo; Meza-Picado, Víctor; Méndez- Gamboa, Jhonny
Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la
Región Huetar Norte, Costa Rica
Revista de Ciencias Ambientales, vol. 54, núm. 1, enero-junio, 2020, pp. 140-166
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070594008>

Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica

Evaluation of Silvicultural Treatments in the Sustainability of Tropical Forests in the Northern Huetar Region, Costa Rica

Pablo Abarca-Valverde¹, Víctor Meza-Picado², Jhonny Méndez- Gamboa³

[Recibido: 17 de junio 2019, Aceptado: 30 de setiembre 2019, Corregido: 28 de octubre 2019, Publicado: 1 de enero 2020]

Resumen:

[Introducción]: Los tratamientos silviculturales surgen como una herramienta más del proceso de manejo de bosques naturales, procurando mantener la productividad y rentabilidad del recurso forestal. [Objetivo]: Se analizaron los tratamientos de refinamiento y liberación al evaluar la integridad ecológica, el potencial productivo de madera comercial y el dióxido de carbono, así como la rentabilidad financiera según los ciclos de corta biológico, normativo y financiero. [Metodología]: Para esto se realizó la quinta medición del experimento silvicultural establecido en el año 1992 por la Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA). El experimento consistió en establecer tratamientos silviculturales después del aprovechamiento forestal en la unidad de manejo San Jorge en San Carlos, Costa Rica. [Resultados]: Los tratamientos no alteraron los valores de referencia de especies heliófitas efímeras y área basal; el incremento medio anual no presenta diferencias significativas entre ellos; sin embargo, el ensayo de refinamiento muestra mayores incrementos reflejados en la producción neta de área basal y volumen de la masa remanente comercial, los cuales fueron 27.42 % y 9.11 % más altos, respectivamente. [Conclusiones]: El ciclo de corta financiera y biológica se cumple entre 4 y 5 años antes que el ciclo de corta normativo de 15 años para los tratamientos de refinamiento y liberación, lo que indica además, una mayor rentabilidad.

Palabras clave: Integridad ecológica; potencial productivo; rentabilidad del bosque; silvicultura.

Abstract

[Introduction]: The silvicultural treatments arise as one more tool of the forest management process, trying to maintain the productivity and profitability of the forest resource. [Objective]: Refining and release treatments were analyzed by evaluating ecological integrity, the productive potential of commercial wood and carbon dioxide, and the financial profitability according to biological, regulatory, and financial harvest cycles. [Methodology]: This was achieved by performing the fifth measurement of the silvicultural experiment established in 1992 by the Forest Development Commission of San Carlos (CODEFORSA). The experiment consisted in developing silvicultural treatments after the forest harvest in the San Jorge management unit in San Carlos, Costa Rica. [Results]: The treatments did not alter the reference values of ephemeral heliophyte species and basal area; the annual average

- 1 Ingeniero forestal y candidato a Licenciatura en Manejo Forestal de la Universidad Nacional, Costa Rica. pd88abarca@gmail.com, <http://ORCID.org/0000-0001-5193-678X>
- 2 Ingeniero forestal, con especialidad en socioeconomía ambiental. Instituto de Servicios Forestales, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. victor.meza.picado@una.cr, <http://ORCID.org/0000-0002-8223-4761>
- 3 Ingeniero forestal con especialidad en manejo integrado de recursos naturales. Director ejecutivo de la Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA). jmendez@codeforsa.org



increase does not present significant differences between treatments. However, the refinement test shows greater increases reflected in the net production of basal area and volume of commercial remnant mass, which were 27.42 % and 9.11 % higher, respectively. [Conclusions]: The financial and biological cutting cycle is completed four and five years earlier than the regulatory cutting cycle for the refining and releasing treatments, and is more profitable..

Keywords: Ecological integrity; forest profitability; forestry; productive potential.

1. Introducción

El manejo forestal sostenible (MFS) ha demostrado ser, en la práctica, la actividad que genera las mayores contribuciones ecológicas, sociales, económicas y culturales para las poblaciones de aquellas regiones que poseen bosques naturales. Sin embargo, su operatividad sigue siendo limitada por una serie de barreras técnicas, legales, financieras, logísticas, políticas y de mercado (Camacho, 2015). Más recientemente, el éxito del MFS en Costa Rica se ha evaluado para lograr el cumplimiento de lo establecido por los principios, criterios e indicadores de sostenibilidad (PC&I), centrando la atención principalmente en los aspectos ecológicos del bosque y, en menor medida, en aspectos silviculturales, económicos y sociales. Lo anterior conlleva al cuestionamiento de si realmente se están cumpliendo los objetivos superiores del MFS, cuya respuesta yace en monitorear, de manera continua, para identificar y evaluar aquellos factores que limitan el potencial del MFS (McKenzie, 2003).

La silvicultura abarca todas las medidas tendientes a incrementar los rendimientos económicos de los rodales, hasta alcanzar un nivel que permita su manejo sostenible no deficitario (Lamprecht, 1990). Los tratamientos silviculturales son una práctica más dentro de este marco de manejo que pretenden influir en las especies de futura cosecha. Por tanto, es necesario precisar cuantitativamente la reacción que tendría la masa forestal de este tipo de prácticas, con el fin de determinar su efectividad en lograr mayores incrementos productivos de madera rolliza y, consecuentemente, una mayor rentabilidad financiera, además de cumplir con los PC&I de sostenibilidad.

En Costa Rica la investigación, ejecución, capacitación y apoyo técnico en silvicultura y manejo de bosques ha estado a cargo en distintos actores del sector como el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA), la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), la cooperación internacional con proyectos como COSEFORMA. Estos proyectos desarrollaron, a finales de la década de 1980 y principios de la de 1990, ensayos sobre el manejo forestal policíclico en todas sus fases, incluidos experimentos de tratamientos silviculturales post cosecha.

Los resultados de estos experimentos han sido variables. Delgado, Finegan, Zamora y Meir (1997) analizaron cambios en la riqueza y composición florística en una combinación de tratamientos de refinamiento y liberación, encontrando cambios con la pruebas testigo 4 años después. Sánchez, Maginnis, y Davies (1996) expusieron mayor rentabilidad en escenarios con



incentivos económicos y tratamiento silvicultural. Meza y Méndez (2006), al evaluar el incremento corriente anual por tipo de tratamiento, no observaron diferencias significativas para ninguno de los períodos de evaluación. Específicamente en la unidad de manejo San Jorge, Centeno (2010) encontró diferencias significativas en incrementos diamétricos y refinamiento fue el tratamiento que presentó mayores valores de crecimiento.

A pesar de la evidencia empírica de las investigaciones realizadas sobre el efecto positivo de la aplicación de tratamientos, en Costa Rica se muestra que en la práctica el manejo de bosques se limita al primer tratamiento silvicultural (aprovechamiento), y se dejan de lado las actividades posteriores que permiten aumentar el potencial productivo. Los tratamientos silviculturales post cosecha ayudan a mejorar la capacidad productiva de los bosques y, al mismo tiempo, contribuyen con su conservación (Díaz, 1996; Hutchinson y Wadsworth, 1995; Quirós y Gómez, 1998). No obstante, existe incertidumbre sobre la rentabilidad de la actividad en el largo plazo; además, se carece de trabajo empírico sobre la necesidad de más intervenciones entre cosechas para mantener un crecimiento productivo ideal del bosque, y de cuál es el tiempo real que se necesita para que el ecosistema se recupere y maximice su provisión de servicios ecosistémicos, como la remoción de CO₂ atmosférico.

Actualmente, se tiene claro que una buena salud de los bosques brinda beneficios directos en múltiples áreas del desarrollo local (FAO, 2018). El MFS demuestra ser una herramienta atinada, que se ha implementado durante más de dos décadas en los bosques tropicales de África, Asia y América Latina para mantener la salud del bosque tropical. Sin embargo, la débil gobernanza del sector forestal y la escasa remuneración económica está induciendo a personas dueñas de bosque a realizar prácticas insostenibles, conversión a otros usos y degradación de estos mismos (Navarro y Bermúdez, 2006).

Es necesario, por tanto, generar alternativas para mejorar la productividad de los bosques sujetos al MFS. Es indispensable generar nuevo conocimiento que limita el MFS. Esta nueva comprensión del MFS tiene que considerar, no solo la efectividad de los tratamientos silviculturales, sino también la actividad debe ser por sí sola económicamente viable para ser considerada como la alternativa competitiva del uso del suelo. En este contexto, el presente documento tiene como objetivo aportar en esta comprensión, por medio de la evaluación de los tratamientos silviculturales de refinamiento y liberación, de forma que englobe la capacidad productiva de madera y dióxido de carbono 25 años después de su aplicación; además, se considera la dimensión económica por medio de la rentabilidad financiera de los ciclos de corta biológico, financiero y normativo, dentro de una consideración ecológica, y se evalúa la integridad ecológica del bosque mediante los indicadores de sostenibilidad (i.e., valor de referencia mínimo de área basal y valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras por tipo de bosque).



2. Marco teórico

2.1 Manejo forestal sostenible (MFS)

El anhelo de encontrar un equilibrio entre los aspectos ecológicos, productivos, económicos, sociales y culturales que envuelven a los bosques sigue siendo un desafío para los grupos silvicultores. Esta meta suprema significa manejar, de manera sustentable, un recurso que funcionalmente está en constante cambio, mientras se mejora la percepción que tienen los diferentes actores sociales sobre el MFS. En un principio, el manejo buscaba únicamente mantener la producción de madera (Pedroni y De Camino, 2001); sin embargo, más tarde se agregan aspectos ecológicos y sociales que llegaron a brindar una mayor integración de los componentes involucrados en el ejercicio de la actividad.

2.2 Silvicultura de bosques

La silvicultura es la disciplina que promueve, de la mano de información científica, el cultivo del bosque y sus posibles productos. Esto se logra por medio de la planificación y con apego al comportamiento particular de cada sitio; se trata de llevar al bosque a un estado deseado, optimizando su aprovechamiento (Lamprecht, 1990, CATIE, 2001), de manera que las actividades sean económicamente rentables y contribuyan a un mejor uso de la tierra.

2.3 Tratamientos silviculturales

Los tratamientos silviculturales son manipulaciones al bosque para favorecer ciertas especies, con el propósito de lograr el desarrollo o incremento de la vegetación deseable remanente, a través de la reducción de la competencia entre árboles no comerciales con los de importancia comercial (Siteo, 1992).

2.3.1 Liberación

El tratamiento de liberación se aplica para favorecer a aquellos árboles que, siendo prometedores como productores de madera, se encuentran en una situación de competencia desfavorable. Por lo general, están a la sombra de otro árbol o las copas de otros árboles compiten ventajosamente con ellos por la luz (Manzanero y Pinedo, 2004). El tratamiento consiste en la tala, anillamiento o envenenamiento de los árboles que están afectando al deseable sobresaliente.

2.3.2 Refinamiento

El refinamiento consiste en la eliminación de árboles de especies no comerciales con diámetro superior a un determinado límite definido para cada bosque (CATIE, 2001). El refinamiento promueve el establecimiento de la regeneración por la entrada de luz y la descomposición de materia orgánica adicional ocasionada por la muerte de los árboles anillados, y contribuye al incremento de las tasas de crecimiento de los árboles remanentes.



2.3.3 Testigo

El tratamiento testigo es aquel en el cual no se aplica un tratamiento propiamente dicho, generalmente como tratamiento testigo se utilizan áreas que solo fueron aprovechadas y en otros casos se utilizan área estrictamente testigo como lo son aquellos sitios del bosque que no han sufrido ninguna alteración (CATIE, 2001).

2.4 Valor de referencia mínimo de área basal

Según el estándar de sostenibilidad para manejo de bosques naturales en Costa Rica, los bosques sujetos a aprovechamiento se encuentran sobre un valor de referencia mínimo (VRM) de área basal de los individuos arriba de 30 cm de diámetro a la altura de pecho (DAP) para las especies comerciales y no comerciales. Dicho umbral puede variar para diferentes tipos de bosque dentro de cada subregión del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

En el mapa de tipos de bosque para la región Huetar Atlántica y Huetar Norte (Sesnie, 2006), la ubicación y georreferenciación de la unidad de manejo San Jorge, se identifica en el tipo de bosque que presenta especies características como *Qualea polychroma*, *Dypterix panamensis*, *Vochysia ferruginea*, *Couma macrocarpa* y varias especies de palmas, el VRM es $11.6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$.

2.5 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras

El valor de referencia máximo (VRMx) del bosque sujeto a aprovechamiento se refiere a la abundancia de los árboles del gremio ecológico (HE), conformado por las especies heliófitas efímeras referidas a especies que requieren altos niveles de luz para su germinación y establecimiento, de tal manera que su reclutamiento está restringido a etapas sucesionales muy jóvenes o a claros de bosque grandes, por lo que no se puede superar el 15 % del total de árboles arriba de 10 cm DAP (Finegan, 1993).

2.6 Crecimiento

El crecimiento de un árbol es su aumento de tamaño en el tiempo; es un proceso fisiológico principalmente controlado por los niveles de luz, calor, humedad, nutrientes y estrés mecánico que incluye daños por tormentas e intervención humana. Se puede expresar en términos del diámetro, altura, área basal o volumen. A la magnitud del crecimiento se le denomina incremento, todo crecimiento implica un estado inicial mensurable y cambios en ese estado con el paso del tiempo (CATIE, 2001).

2.7 Ciclo de corta biológico (CCB)

El criterio para definir el ciclo de corta biológico (CCB) se establece cuando el bosque iguale los valores dasométricos de área basal para árboles con $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$ o para un $\text{DAP} \geq$ al diámetro mínimo de corta (DMC) y logre recuperar los valores de la condición inicial (antes del aprovechamiento). Es necesario complementar la relación positiva de área basal con el comportamiento del número de árboles para cada caso, ya que la identificación de una relación positiva y una combinación entre ambos valores permitirían definir un criterio más adecuado para fijar el CCB y, con esto, la nueva tasa de cosecha (Pedroni y De Camino, 2001).



2.8 Ciclo de corta normativo (CCN)

El ciclo de corta (CC) o los años de intervalo de retorno entre aprovechamientos en una misma área es el método más común para la regulación de la extracción forestal en los bosques tropicales. Es un supuesto generalizado donde se puede lograr un flujo sostenible de madera al dividir el área total de corta permisible en un bosque manejado, entre los años de duración del ciclo de corta (Fredericksen, 2003).

El ciclo de corta normativo en bosque natural está contemplado en el Artículo 17 del Reglamento a la Ley Forestal 7575, el cual indica que, en caso de no contar con registros históricos sobre el crecimiento y la dinámica del bosque, el ciclo de corta no podrá ser menor a 15 años. Cuando se cuente con un registro confiable sobre la unidad de manejo, es posible justificar un turno menor a 15 años, pero no menor a 10 años; para esto se debe comparar estadísticamente la similitud de las “comunidades de especies comerciales” observadas en el inventario por muestreo de la condición actual del bosque, y la observada según inventario forestal realizado en la unidad de manejo antes de ejecutar el aprovechamiento anterior. Si no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas comunidades, se procede a evaluar los umbrales de área basal y el de las heliófitas efímeras para poder realizar la intervención.

2.9 Ciclo de corta financiero (CCF)

Se refiere al turno productivo donde se maximiza la inversión en términos monetarios, en donde el interés privado refleja el esquema que potencialice la rentabilidad de dedicar la tierra al manejo de bosques. El supuesto se basa en que, a través del cálculo del valor del bosque, se establece la voluntad de pago que un ente inversionista está dispuesto a ofrecer por la tierra para dedicarla al manejo de bosques y ganar al menos el retorno sobre el capital invertido a la tasa mínima aceptable de descuento (Meza, 2008).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN). El bosque pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo tropical (bmh-T), según el sistema de Holdridge (1977), las precipitaciones oscilan entre los 3 000 y 4 000 mm*año⁻¹, con una humedad relativa entre 85 y 90 % y una temperatura anual promedio de 25 a 27 °C (Mapa Atlas Cantonal). El suelo predominante es tipo ultisol, el cual se caracteriza por ser de color rojizo, con un horizonte argílico con menos del 35 % de saturación de base, es decir, es un suelo de muy baja fertilidad natural. (Ulate, 2015).



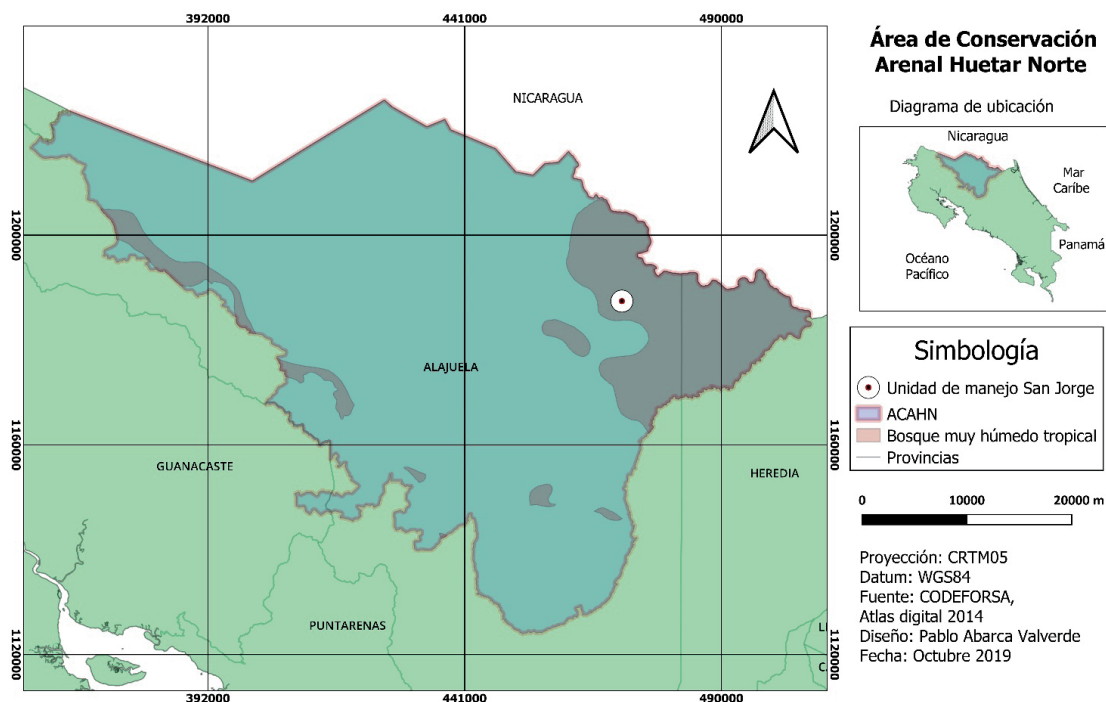


Figura 1. Ubicación geográfica del ACAHN y la unidad de manejo forestal analizada.

Figure 1. Geographic location of the ACAHN and the forest management unit analyzed.

3.2 Antecedentes del aprovechamiento y la aplicación de tratamientos silviculturales

El bosque en la unidad de manejo San Jorge fue sometido a un aprovechamiento forestal en los meses de febrero a mayo de 1992. En el censo forestal se identificaron 275 árboles comerciales superiores al DMC, en un área efectiva de 49.6 ha, donde se cortaron 196 árboles ($4 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$) con un volumen de 709 m^3 de madera ($14.4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).

Una vez finalizadas las operaciones de corta se procedió a realizar los muestreos diagnósticos, silvicultural y de remanencia para establecer los tratamientos posteriores idóneos según el estado del bosque; los resultados obtenidos comprobaron que un 34 % de los líderes deseables presentaron deficiencias en cuanto su exposición a la iluminación solar, se recomendó la ejecución de un tratamiento de liberación donde se favorecieran los líderes deseables de las categorías diamétricas de 10 a 29.9 cm y se eliminaron, a través de anillamiento, aquellos árboles competidores a nivel de copa a partir de 10 cm de diámetro. Además, debido a la alta presencia de árboles no comerciales en las clases diamétricas de 10 a 29.9 cm de DAP, se decidió implementar el refinamiento eliminando 230 árboles por hectárea por medio del anillamiento. Se establecieron un total de 9 parcelas permanentes de muestreo (PPM) (tres para cada tratamiento,



refinamiento, liberación, testigo) de 50 * 50 m divididas en subparcelas de 10 * 10 m un año y tres meses después del aprovechamiento en un periodo de 2 meses, la primera medición se realizó en 1996, continuaron en 1998, 2003, 2010 y la última realizada en este estudio en 2017, donde se midió diámetro y alturas (total y comercial) de todos los árboles con diámetro mayor o igual a 10 cm.

3.3 Indicadores de sostenibilidad de los bosques manejados

Se consideró el principio No. 2 sobre el mantenimiento de las funciones ecosistémicas del bosque natural disetáneo, presentes en el estándar de sostenibilidad para el manejo de bosques naturales en Costa Rica, para realizar la evaluación ecológica de las practicas silviculturales. Este se utiliza como marco para analizar la respuesta del efecto de los tratamientos tomando como base los umbrales de sostenibilidad establecidos en el país.

3.3.1 Valor de referencia mínimo de área basal

El área basal (G) total se utilizó como indicador para conocer la recuperación del bosque después de las intervenciones forestales en cada uno de los tratamientos y determinar, si cumple con el valor de referencia mínimo permitido (**Ecuación 1**). Con esta variable se determinó el índice de desarrollo del bosque después de las intervenciones; dependiendo con la velocidad que incremento el bosque se puede justificar más intervenciones que genere un crecimiento constante del rodal.

$$G = (DAP)^2 * \frac{\pi}{4} \quad (E.1)$$

Donde:

G= Área basal (m²)

DAP = Diámetro altura del pecho (1.30 m)

3.3.2 Valor de referencia máximo (VRMx) de especies heliófitas efímeras

El VRMx se utilizó como indicador para conocer el grado de perturbación de los claros ocasionados por los tratamientos silviculturales, se clasificaron las especies arriba 10 cm DAP por su gremio ecológico (heliófitas efímeras, heliófitas durables, esciófitas) y se calculó su abundancia. Para efectos del cálculo de este umbral se deben considerar, como parte del gremio de heliófitas efímeras, las especies clasificadas como indeterminadas y los individuos de especies desconocidas como principio precautorio.

3.4 Evaluación de la producción

La evaluación de la producción se separó con base en dos términos; primeramente se analizó el incremento neto de la masa forestal remante en tres variables dependientes (área basal, volumen, dióxido de carbono equivalente), así mismo se observó el incremento diamétrico de



las especies comerciales seleccionadas para ser favorecidas por los tratamientos silviculturales, separadas por el tipo de dureza de la madera.

3.4.1 Incremento neto de la masa residual

La capacidad de producción que alcanzaron los tratamientos silviculturales se obtuvo determinando el incremento neto periódico (INP) que consiste en la suma del crecimiento neto en las variables dependientes de área basal, volumen de los árboles vivos y los reclutas; para esto se consideraron las especies que son actualmente catalogadas como comerciales (\geq a 10 cm de DAP), para determinar la variación de producción a partir de diferentes clases diamétricas; además, se calculó la producción de CO₂ equivalente para todas las especies (comercial y no comercial) (\geq a 10 cm de DAP). Según [Imaña y Encinas \(2008\)](#), el INP se refiere al crecimiento que se produce en un período de n años o subperíodos consecutivos y su valor es la suma de n crecimientos anuales (a) comprendidos entre el fin del año K y el fin del año K+n. Se puede expresar como: $a_{i+1} + a_{i+2} \dots a_{i+n}$.

Asimismo, se calculó el IMP a través de la **Ecuación 2**, el cual se refiere al crecimiento medio del período completo de medición y consiste en dividir el INP por los años de cada periodo de observaciones, se puede expresar como:

$$IMP = \frac{INP}{n} \quad (E.2)$$

Donde:

IMP: incremento medio periódico

INP: incremento neto periódico

n: periodo completo de medición

El análisis estadístico se ejecutó mediante el software InfoStat, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) sobre incremento medio anual (IMA) en las variables dependientes de área basal, volumen y CO₂ y, como variable de clasificación, el tratamiento silvicultural. Posteriormente se aplicó la prueba de medias de LSD Fisher ($p = 0.05$) como comparador múltiple, que permitió identificar las diferencias significativas entre los tratamientos. Los incrementos fueron representados en diagramas de cajas que visualizan la distribución y simetría de los datos así como los valores máximos y mínimos.

3.4.2 Variables dependientes

Se analizó *el área basal* de las especies comerciales con diámetro mayor a 10 cm DAP (**Ecuación 1**). El volumen comercial del fuste se estimó mediante la **Ecuación 3**.

$$Vc = 0.00008379 * DAP^{2.03986} * HC^{0.779} \quad (E.3)$$

Donde:

Vc= Volumen comercial del fuste en m³



DAP = Diámetro altura del pecho (1.30 m)
HC = altura comercial del fuste (m)

Por medio de la **Ecuación 4** se calculó la *biomasa aérea* de manera indirecta mediante el modelo de regresión ajustado al tipo de bosque y la precipitación anual (**Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC], 2006**)

$$B = 0.1491 * DAP^{2.349} \quad (E.4)$$

Donde:

B= biomasa aérea (kg)

DAP = diámetro a la altura del pecho (1.3 m)

El cálculo de *dióxido de carbono equivalente* (**Ecuación 5**) se realizó multiplicando la biomasa anterior por la fracción de carbono equivalente (f_c) y la relación de masas molares de CO_2 sobre el carbono (f_{CO_2})

$$MgCO_2e = B * f_c * f_{CO_2} \quad (E.5)$$

Donde:

$MgCO_2e$ = mega gramos de dióxido de carbono equivalente

B= biomasa aérea (kg)

f_c = fracción de carbono= 0.45

f_{CO_2} = relación molar CO_2 sobre carbono= (44g/moles de CO_2 /12 g/moles de C) = 3.666

3.5 Incremento corriente de las especies comerciales tratadas

Se calculó el incremento corriente anual diamétrico promedio (ICA observado) de las especies comerciales deseables tratadas que coinciden en cada tratamiento, diferenciadas por el tipo de dureza de la madera (dura, semidura, suave), con el fin de reducir el nivel de complejidad del incremento diamétrico por la cantidad y diversidad de especies. Se requirió la conversión de los incrementos periódicos (IP) a incrementos corrientes anuales (ICA). Luego se obtuvieron los valores de ICA corregidos (ICA ajustado) mediante modelos polinomiales, utilizando la opción de regresión no lineal del programa InfoStat. Los ICA ajustados se graficaron junto con los ICA observados para cada tratamiento. Seguidamente, con los ICA ajustados se procedió a calcular la edad acumulada para generar una curva de crecimiento acumulado para cada tratamiento y dureza de la madera. Las curvas de crecimiento realizadas señalaron el punto medio de la clase diamétrica contra la edad acumulada.



3.6 Determinación de la rentabilidad por tipo de tratamiento según ciclo de corta

3.6.1 Valoración del activo de la tierra según tratamiento silvicultural: El valor esperado de la tierra (VET)

Para el cálculo de la rentabilidad en cada uno de los ciclos de corta se utilizó la herramienta financiera (fórmula) que descuenta la estructura de costos ingresos (flujo de caja) que se aplica al manejo del bosque como uso de la tierra durante su producción futura que va hasta un horizonte de varios años. Se utilizó la estructura de costos de Zúñiga (2018), basada en planes de manejo aprobados 2010 – 2013 a lo largo del ACAHN. Para modelar los sistemas productivos se ordenó la producción futura en unidades temporales que se asumen replicables y encadenables a futuro para los ciclos de corta propuestos, según ecuación de Faustmann (**Ecuación 6**).

$$VET = \frac{(D_{HT} - C_{rT}) + \sum_{t=1}^{T-1} D_{M_1} (1+i)^{T-t}}{(1+i)^T - 1} - \sum_{y=1}^Y \frac{C_E}{(1+i)^y} \quad (E.6)$$

El VET está en función del ingreso neto (DHT-CrT) proveniente de la liquidación del sistema productivo, neto de los costos del aprovechamiento (T):

- La sumatoria de los ingresos anuales y periódicos de las actividades de producción provenientes de los costos de mantenimiento, manejo, cosecha y control de plagas y enfermedades ejecutadas en cualquier año t del ciclo productivo (DM).
- Todo este flujo de caja periódico entre el año 1 y el año T-1 se capitaliza hasta la edad de rotación o ciclo de corta (T) del sistema productivo, se usa el factor de capitalización del inversionista (1+i), donde i es la tasa mínima aceptable de descuento (TMA) del inversionista.
- Este valor futuro calculado, considera la renta futura del sistema productivo, y se descuenta al presente usando el factor de descuento del inversionista, menos 1 ((1+i)-1) para obtener el valor presente de la renta neta de un sistema productivo en que se ha proyectado a todos sus ciclos productivos futuros. El 1 que se resta al factor de descuento representa el valor de mercado del sistema productivo (terreno limpio + infraestructura + cultivo) en términos relativos. Como hay que calcular el valor de la tierra limpia, la suma del valor presente de los costos de establecimiento de las mejoras, infraestructura y cultivo (CE) se restan a la renta neta calculada del sistema productivo para, de esta forma, calcular el valor de la tierra limpia o rastrojo.



4. Resultados

4.1 Implicación de las intervenciones silviculturales

4.1.1 Integridad ecológica del bosque

El área basal mayor a 30 cm de DAP se redujo para los ensayos de liberación, refinamiento y testigo en un 18.27 %, 18.49 % y 16.51 %, respectivamente. Para todos los años de medición, los tres ensayos no presentaron cifras inferiores al valor de referencia mínimo de área basal que corresponde a $11.6 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ para árboles >30 cm DAP (Figura 2).

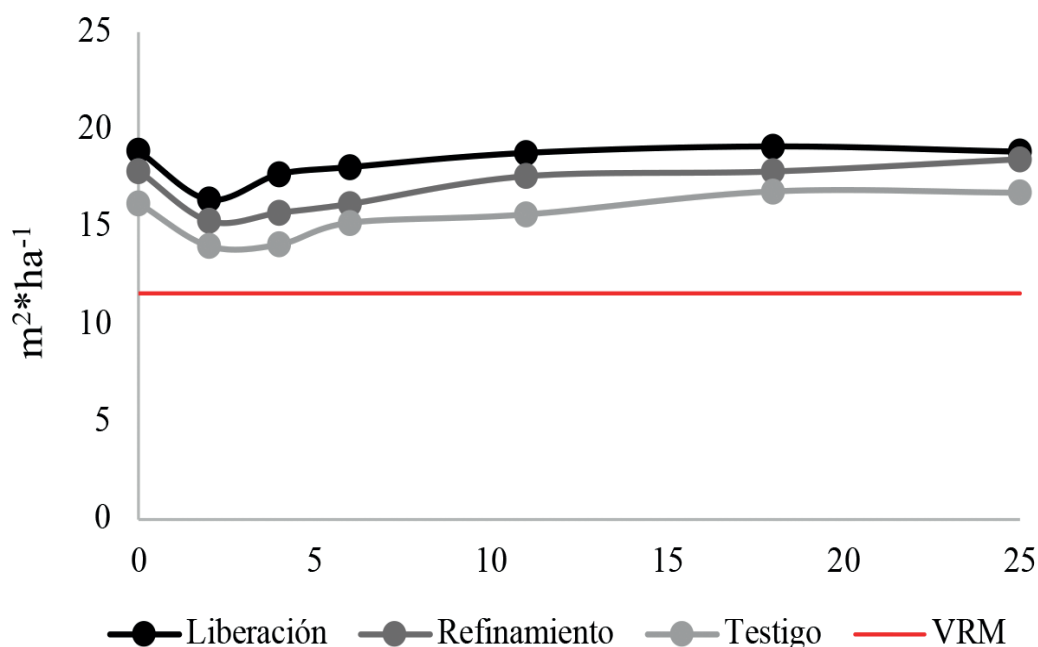


Figura 2. Área basal promedio (> 30 cm DAP) y valor de referencia mínimo (VRM) por tratamiento silvicultural para todo el periodo.

Figure 2. Average basal area (> 30 cm DAP) and minimum reference value (VRM) by silvicultural treatment for the entire period.



Ningún tratamiento fue capaz de superar el umbral de 15 % de HE establecido por la norma (Figura 3). El tratamiento de liberación fue el que presentó los mayores porcentajes de HE durante todo el periodo, con 3.37 % a los seis años después del aprovechamiento y de la aplicación del tratamiento. Más adelante, a los 11 años, este tratamiento no supera el 3 %. El tratamiento testigo y refinamiento presentaron cifras similares y no superaron el 2 % a lo largo del periodo.

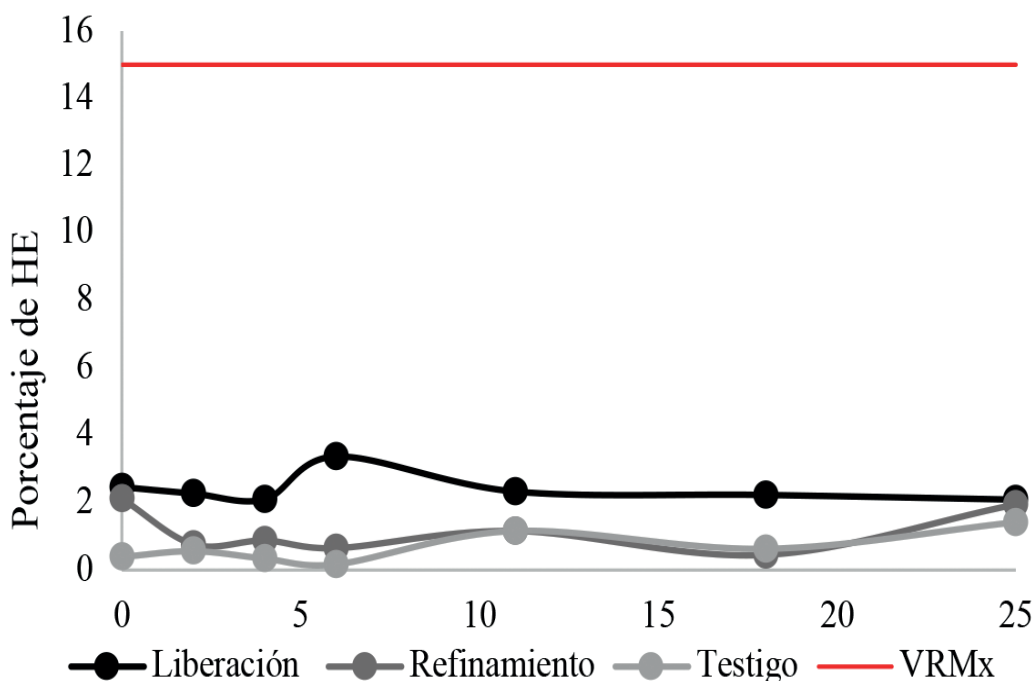


Figura 3. Porcentaje de especies heliófitas efímeras y valor de referencia máximo por tratamiento silvicultural para todo el periodo de medición para individuos con un DAP ≥ 30 cm.

Figure 3. Percentage of ephemeral heliophyte species and maximum reference value per silvicultural treatment for the entire measurement period for individuals with a DAP ≥ 30 cm.



4.2 Capacidad productiva de volumen, área basal y dióxido de carbono

4.2.1 Incremento medio del volumen

El incremento medio anual del INP en las tres variables no muestra diferencias significativas entre los tratamientos, en los tres casos el tratamiento de refinamiento presenta mayores valores de crecimiento (**Figura 4**).

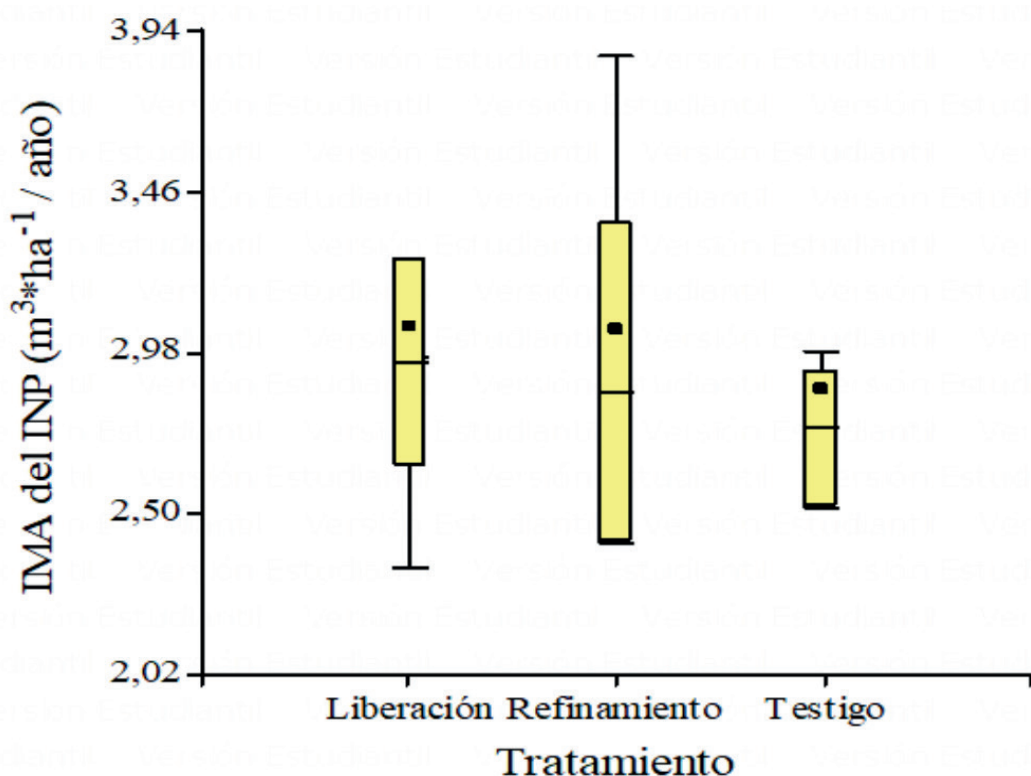


Figura 4. Tasas del incremento medio del volumen comercial para individuos con un DAP ≥ 10 cm para el INP, según tratamiento silvicultural.

Figure 4. Rates of the average increase in commercial volume for individuals with a DAP ≥ 10 cm for the INP according to silvicultural treatment.



4.2.2 Incremento medio del área basal

El incremento en área basal es la variable que presenta mayores diferencias entre tratamientos, el refinamiento presenta un 25.80 % más incremento que liberación 22.58 % más que la prueba testigo (Figura 5).

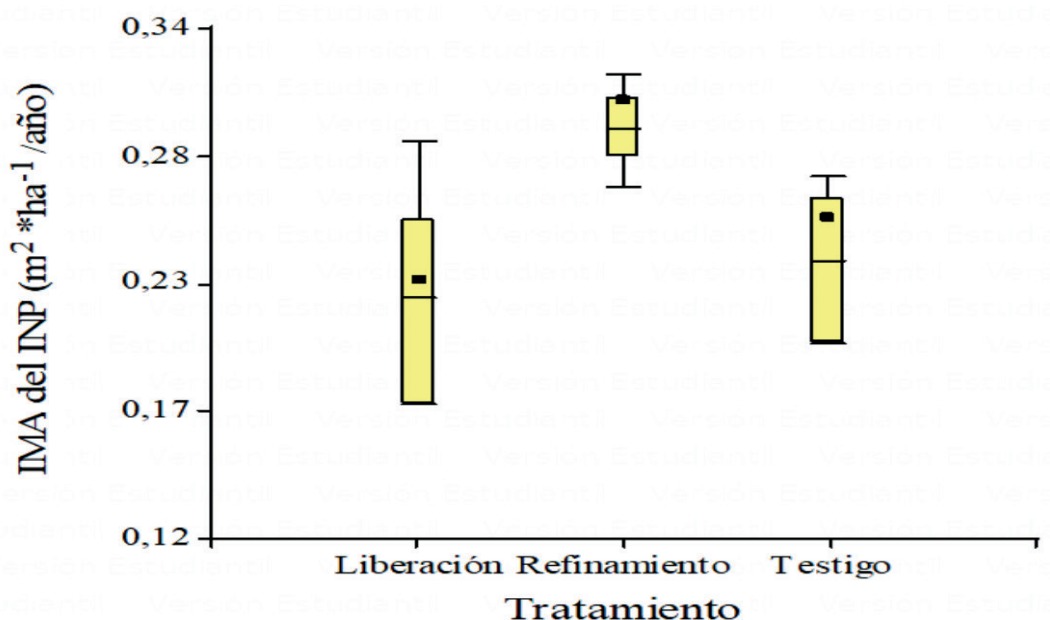


Figura 5. Tasas del incremento medio del área basal comercial para individuos con un DAP ≥ 10 cm para el INP, según tratamiento silvicultural.

Figure 5. Rates of the average increase in the commercial basal area for individuals with a DAP ≥ 10 cm for the INP according to silvicultural treatment.



4.2.3 Incremento medio del dióxido de carbón equivalente

El incremento en dióxido de carbono presentó poca diferencia en los valores medios, la prueba refinamiento mostró diferencias del 5.1 % y 4.6 % con respecto a liberación y refinamiento respectivamente (**Figura 6**).

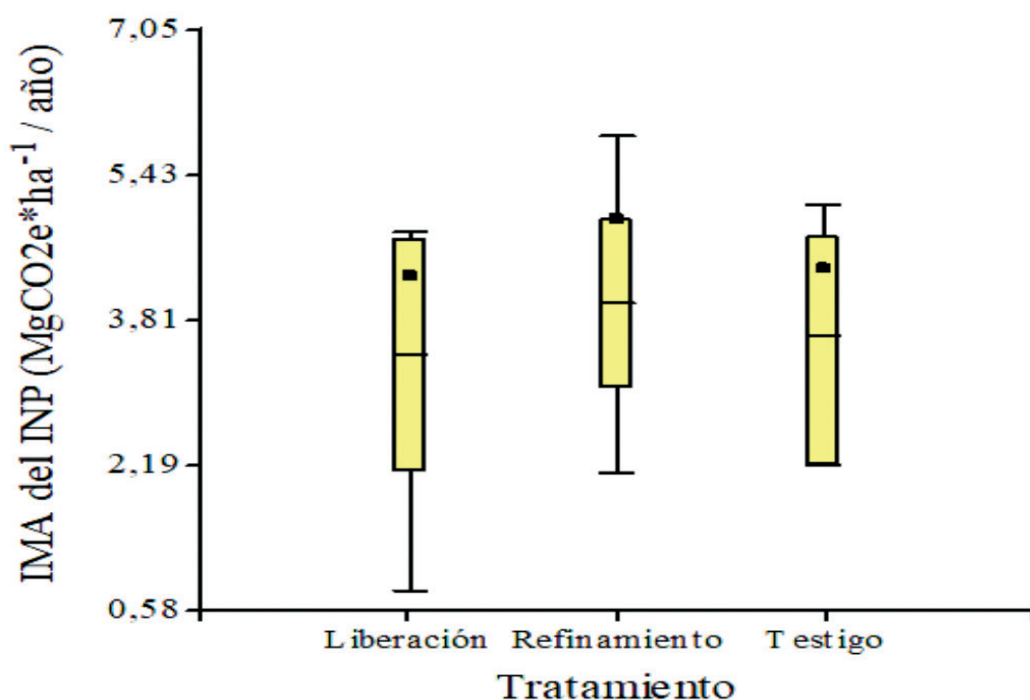


Figura 6. Tasas del incremento medio del dióxido de carbón equivalente para individuos con un DAP ≥ 10 cm para el INP, según tratamiento silvicultural.

Figure 6. Rates of the average increase in carbon dioxide equivalent for individuals with a DAP ≥ 10 cm for the INP according to silvicultural treatment.



4.3 Curvas de crecimiento por dureza de madera

Las curvas de crecimiento de madera suave (**Figura 7**) muestran las menores diferencias entre los tratamientos, donde, para alcanzar un diámetro mínimo de corta de 55 cm DAP, los tres tratamientos en promedio tardarían 62 años.

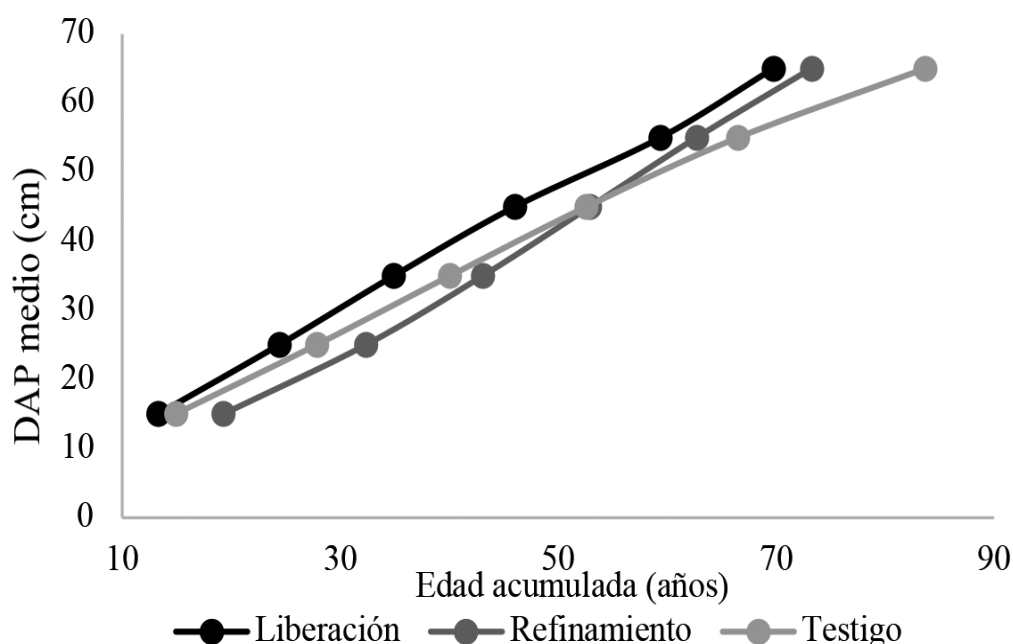


Figura 7. Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales de madera suave, según el tratamiento silvicultural.

Figure 7. Cumulative growth curve for commercial soft wood species according to silvicultural treatment.

Los tratamientos de refinamiento y liberación en las curvas de crecimiento de madera semi-dura presentan un incremento similar, tardarían 28.6 % menos que la prueba testigo (**Figura 8**).



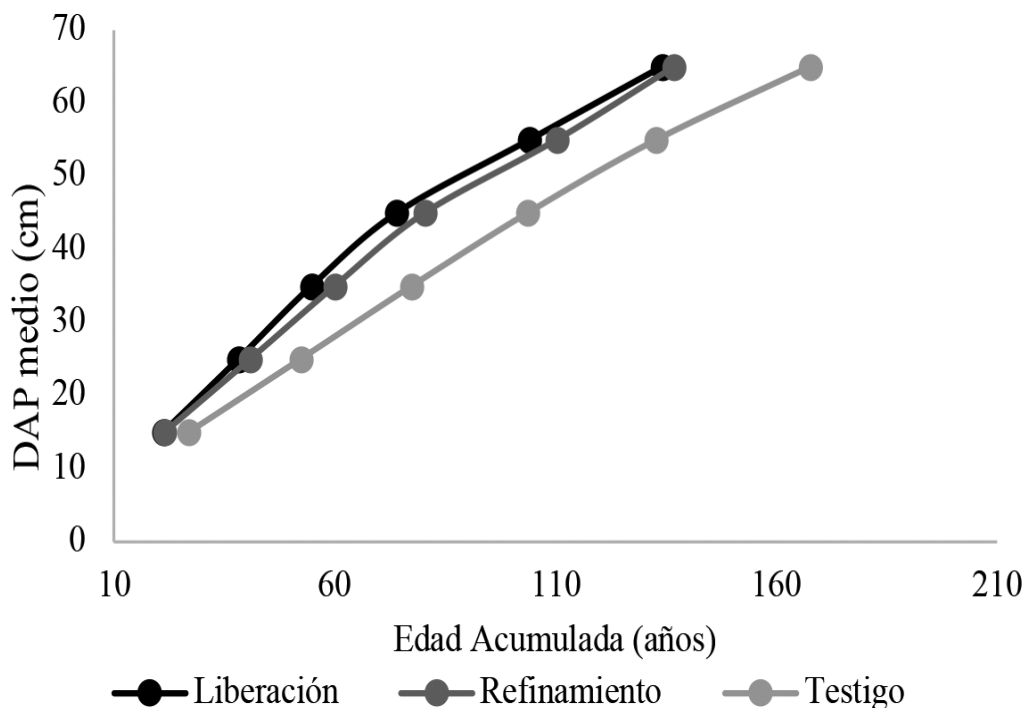


Figura 8. Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales de madera semidura según el tratamiento silvicultural.

Figure 8. Cumulative growth curve for commercial species of semi-hardwood according to silvicultural treatment.

Las curvas de crecimiento de madera dura (**Figura 9**) presentan mayor diferencia de edad acumulada entre los tratamientos; al tomar 65 cm de DAP como el diámetro mínimo de corta (DMC), la prueba testigo tomaría un 30.88 % y un 47.17 % más que las pruebas de liberación y refinamiento respectivamente para alcanzar ese diámetro.



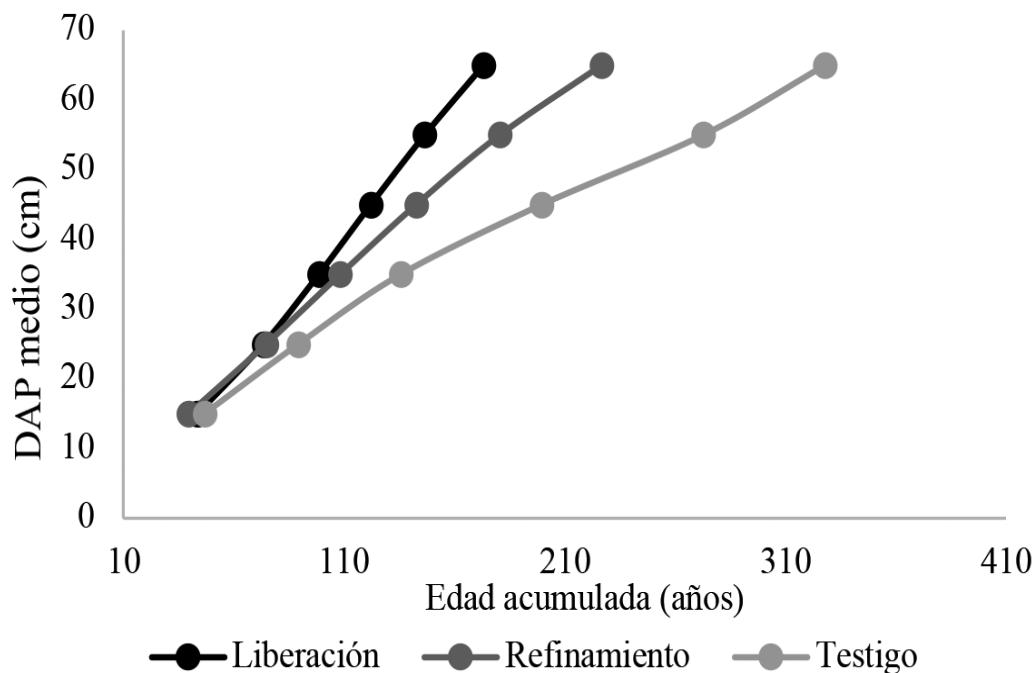


Figura 9. Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales de madera dura, según el tratamiento silvicultural.

Figure 9. Cumulative growth curve for commercial hardwood species according to silvicultural treatment.

4.4 Determinación de la rentabilidad por ciclo de corta

El **Cuadro 1** muestra las diferencias en la rentabilidad ($\text{¢} \cdot \text{ha}^{-1}$), según los tratamientos silviculturales y el cumplimiento del ciclo de corta respectivo. En caso del tratamiento de liberación, el ciclo de corta biológico y financiero se presenta antes del ciclo de corta normativo y con una mayor rentabilidad en ambos casos, lo mismo ocurre en el tratamiento de refinamiento donde la rentabilidad del ciclo de corta financiero triplica a la del normativo.

Para los tres tratamientos, el ciclo de corta normativo presenta menor rentabilidad que los demás ciclos de corta, además se evidencia la poca rentabilidad del tratamiento testigo, pues es inferior a los tratamientos de refinamiento y liberación en los tres ciclos de corta, además con una edad superior al ciclo de corta normativo de 15 años.



Cuadro 1. Valor esperado de la tierra para los ciclos de corta biológico, financiero y normativo para cada tratamiento silvicultural y bosque normal.

Table 1. Expected value of land for biological, financial and regulatory cutting cycles for each silvicultural treatment and normal forest.

	Ciclos de corta		
	Biológico	Normativo	Financiero
Liberación (años)	8	15	11
VET	310 593.40	118 0114	563 756.46
Refinamiento (años)	10	15	11
VET	423 510.77	103 493.64	501 308.97
Testigo (años)	16	15	18
VET	117 141.15	98 470.60	233 652.37

5. Discusión

5.1 Evaluación de la integridad ecológica

5.1.1 Valor de referencia mínimo de área basal

El valor de referencia mínimo de área basal y el valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras son dos criterios básicos para vigilar la integridad ecológica del bosque durante el tiempo; también son los criterios principales que definen la futura cosecha del bosque. El valor de referencia mínimo establecido para este bosque es de $11.6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, este valor, además de comprobar la viabilidad de las próximas intervenciones determina el potencial de producción que pueda recuperar el bosque. En el caso de los tratamientos, estos permanecieron por encima de este valor de referencia, con valores promedios de 14 y $16 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. En bosques sin intervención de la Región Huetar Norte se presentan áreas basales de entre 19 y $21 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ para árboles mayores a 30 cm de DAP (Gallo, 1999), mientras en bosques intervenidos se registran, para la misma región, áreas basales de entre 16 y $17 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, 8 años después de las intervenciones (Sabogal, Castillo, Carrera y Castañeda, 2001).

En términos de la recuperación del área basal, las pruebas silviculturales realizadas (refinamiento, liberación, testigo) presentaron un grado de ocupación de sitio diferentes en árboles mayores a 30 cm de DAP (Figura 3); esto, por las condiciones específicas de competencia que presenta cada área de muestra, la Figura 3 expresa cómo el área basal total de los ensayos disminuye después de las intervenciones, luego de esto inicia la recuperación del bosque, hasta tener un G recuperado en diferentes lapsos para cada prueba, donde refinamiento y liberación duran 10 y 11 años respectivamente, mientras la prueba testigo tarda 14 años, en ensayos de la región Huetar Norte y Atlántica. Delgado *et al.* (1997) y Finegan y Camacho (1999) demuestran



de igual forma, que las parcelas tratadas presentan menor tiempo de recuperación del área basal con mayor dinamismo que las pruebas testigo.

5.1.2 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras

En la **Figura 4** se muestra que los tres ensayos no superan el 4 % de especies heliófitas efímeras en ninguna de las mediciones. En conjunto, el promedio representa un porcentaje del 3 % y muestra picos más altos en los primeros años después de las intervenciones. El porcentaje de especies de este gremio ecológico en bosques húmedos de la vertiente atlántica para bosques no intervenidos representan una proporción del 2 % (Wagner, 2000), de igual forma en bosques intervenidos de la zona norte, Delgado (1997) señala porcentajes de 4 % de especies heliófitas efímeras cinco años después del aprovechamiento e indica que estas especies suelen incrementar sus poblaciones en bosques recién intervenidos, y luego declinan conforme el bosque madura y se cierra paulatinamente el dosel. El incremento de especies heliófitas efímeras determina la uniformidad con la que se realizó la intervención (Chaverri, 1996), esto indica que, dependiendo de la intensidad de las intervenciones, en este caso los claros causados por el aprovechamiento y los tratamientos silviculturales, repercutirán en cambios no deseados en la composición florística del bosque (Lamprecht, 1990).

Según lo analizado, este bosque cumple con las condiciones para realizar futuras intervenciones sin que se ponga en riesgo su integridad ecológica, debido a que los umbrales de referencia de estructura horizontal y composición de gremios ecológicos mantienen valores aptos poco después de ejecutado el manejo en 1992.

5.2 Crecimiento y producción de la masa remanente

La relación entre la competencia y la producción forestal por tipo de tratamiento es el factor de interés a continuación. Esta relación está dada por la capacidad de recuperación de los bosques de acuerdo con la posibilidad de crecimiento que se produce en un período de n años, o subperíodos consecutivos, que corresponde al tiempo que llevan realizándose las mediciones en cada sitio. Al estar evaluando bosques que han sido manejados, se incorpora la variable de la intervención y, como esta provoca cambios en el comportamiento de la masa remanente, el diámetro es el mayor influyente y se analizaron los cambios en volumen y área basal comercial, así como dióxido de carbono equivalente.

5.2.1 Volumen y área basal comercial

En sitios de la Región Huetar Norte con mayores intensidades de cosecha, la capacidad de producción neta se potencializa (Meza, 2008), es decir, se obtuvo una recuperación positiva del área basal igual o mayor al compararla con la cantidad de área basal reducida por el manejo; esto concuerda con la intensidad del tratamiento de refinamiento, el cual presenta 4.19 % y 2.52 % más área basal disminuida que testigo y liberación, respectivamente, en las clases diamétricas 10-29.9 cm.



En cuanto a la relación del sitio de estudio y la capacidad de producción, se encontró que el incremento medio por sitio de estudio no presenta diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las variables analizadas; sin embargo, el tratamiento de refinamiento siempre muestra mayores incrementos anuales y obtuvo mayores diferencias con los otros ensayos en el área basal ($0.31 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), el incremento en volumen comercial del tratamiento de refinamiento presentó $3.05 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ esto representa 10 % y 11 % más que testigo y liberación, cifra similar a lo reportado por Maitre (1986) quien informa de incrementos en rodales aprovechados y refinados de 2.8 a $3.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Teniendo en cuenta que la productividad del sitio se encuentra asociada al suelo, la topografía, el clima, las zonas de vida, la silvicultura, el manejo forestal y a otro grupo de factores que pueden influir en el crecimiento, mortalidad y reclutamiento de los árboles (Siteo, 1992), la intensificación de los tratamientos revelaría mayores diferencias, como lo realizado por (Finegan y Camacho, 1998), donde se notan diferencias significativas con una disminución de área basal de 65 %, lo cual repercute en el volumen comercial. Algunos estudios señalan que el efecto de un tratamiento empieza a decrecer a los tres años de la aplicación, debido al cierre de las copas, (Silva, Carvalho, Lopes, Almeida, 1995) y al aumento del área basal del rodal, en especial cuando el tratamiento es leve (Díaz, 1996). Esta variación local en la capacidad del sitio para sostener distintas especies de árboles implicaría que la intensidad y regularidad de las intervenciones para promover un crecimiento rápido y producir árboles comerciales determinaría mayores cambios a largo plazo en el proceso de manejo.

5.2.2 Dióxido de carbono equivalente

La importancia del MFS en el ciclo del carbono recae en mantener un almacenamiento constante de dióxido de carbono que pueda ser fijado en productos maderables. El tratamiento de refinamiento presenta la mayor cantidad de dióxido de carbono equivalente removido (INP) con 11.43 % y 12.68 % más que liberación y testigo respectivamente; esto se ve reflejado también en la Figura 6, donde el incremento medio anual es mayor en refinamiento $4.94 \text{ Mg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, lo que evidencia una mejor reacción de la biomasa en las intervenciones, principalmente en el refinamiento, como lo mencionan Brown (1997), Villanova, Ramírez, y Torres (2010), quienes indican que bosques intervenidos presentan mayor producción de biomasa aérea que las pruebas piloto.

5.3 Incremento corriente de las especies comerciales tratadas

Al agrupar las especies por la velocidad de crecimiento, según la dureza de la madera, como lo propone Alder (1995), se buscó distinguir de mejor forma el efecto de los tratamientos silviculturales. Al respecto, las curvas de crecimiento mostraron que la prueba testigo tarda más tiempo en obtener el diámetro mínimo de corta en los tres tipos de dureza: en las maderas suaves el ensayo testigo tardan 10 y 15 años más que las parcelas tratadas de liberación y refinamiento (Figura 7); mientras que en las maderas semiduras los tratamientos de liberación y refinamiento tardan 30 años menos que la prueba testigo; por último, las maderas duras de la prueba testigo presentan diferencias de 80 y 90 años con respecto a refinamiento y liberación.



Las medias de crecimiento para todos los árboles presentaron 0.48 y 0.56 cm* año^{-1} similar a lo expuesto por Finegan y Camacho (1998), que reportaron 0.3 y 0.5 cm* año^{-1} en la Tirimbina, Costa Rica. En este mismo trabajo se demostraron diferencias significativas de 0.2 cm* año^{-1} de crecimiento en las parcelas tratadas silviculturalmente.

El incremento diamétrico de las especies está influenciado por las características de su madera. Para esta variable se encontró que la madera semidura es la única que presenta diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos en las clases de 30-50 cm DAP, donde refinamiento presentó 0.61 cm* año^{-1} , liberación: 0.46 cm* año^{-1} y testigo: 0.35 cm* año^{-1}

5.4 Determinación de la rentabilidad por ciclo de corta

En el Cuadro 1 se evidencia cómo el tratamiento de refinamiento logra recuperar los valores de área basal y número de árboles de la condición inicial a los 10 años y maximizan su rentabilidad a los 11 años después del aprovechamiento. Ello indica que el CCB y CCF se cumplen antes de la normativa de 15 años. En este caso, la reducción en la rentabilidad del CCN es de 398 263 €/ha comparado con CCF y 320 017 €/ha comparado con el CCB. Asimismo, la rentabilidad del tratamiento de liberación se redujo en 681 767 €/ha al esperar alcanzar el CCN según el CCF con 4 años de diferencia y la reducción fue de 428 604 €/ha comparado con el CCB con una diferencia de 7 años.

Para el tratamiento testigo es más rentable esperar tres años en el CCF alcanzado a los 18 años que cosechar a los 15 según el CCN; esta diferencia se encuentra asociada a la curva del volumen disponible que presenta una pendiente positiva aún después de los 15 años de haberse realizado el aprovechamiento del bosque. Para el caso del CCB, este se cumple un año después del CCN, debido a las condiciones particulares del sitio donde el área basal y número de árboles tardaron más tiempo en recuperar su estado inicial: 6 y 8 años más que los tratamientos de liberación y refinamiento respectivamente.

La determinación del VET en cada CC varía de acuerdo en diferentes momentos. La condición de los tratamientos de liberación y refinamiento cumplieron con los CCF y CCB 4 años antes de la CCN.

6. Conclusiones

Intensidades acumuladas producto del aprovechamiento y las intervenciones silviculturales sobre la integridad ecológica del bosque no presentaron alteraciones en los umbrales analizados de área basal y especies heliófitas efímeras; para cada caso los valores de referencia se mantuvieron dentro de los estándares a lo largo del tiempo en los tres ensayos realizados.

La recuperación del área basal tardó menos tiempo en los ensayos de refinamiento y liberación, alcanzó los valores antes de la cosecha a los 11 y 9 años, respectivamente. Caso contrario, la prueba testigo tardó 16 años en alcanzar los valores iniciales antes del aprovechamiento.

La producción forestal, vista como la capacidad de crecimiento neto, se potencializa en el tratamiento de refinamiento y se manifiesta en mayor cantidad de área basal comercial. Por su



parte, la producción neta de CO₂ equivalente fue mayor en el tratamiento de refinamiento, si se compara con la prueba testigo.

La producción forestal media anual no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$); sin embargo, el ensayo de refinamiento presenta mayor incremento en las tres variables analizadas, lo cual se manifiesta con mayor producción neta al final del periodo para este tratamiento.

Las curvas de crecimiento de las especies tratadas, según la dureza de la madera, indican que los tratamientos de refinamiento y liberación tardan menor cantidad de años para alcanzar el diámetro mínimo de corta; estas diferencias se amplían conforme aumenta la dureza de la madera.

Los tratamientos de liberación y refinamiento cumplen con las condiciones para el ciclo de corta biológico a los 8 y 10 años después de las intervenciones; además, ambos alcanzan su máxima rentabilidad a los 11 años.

Los resultados financieros y productivos —principalmente en el tratamiento de refinamiento— respaldan la aplicación y contribución de las técnicas adoptadas en este esfuerzo investigativo por mejorar el MFS en Latinoamérica.

7. Ética y conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos, y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

8. Agradecimientos

A la Oficina Nacional Forestal (ONF) y al Fondo de Fortalecimiento de las Capacidades Estudiantiles (FOCAES), de la Vicerrectoría de Extensión de la UNA, por el apoyo económico. Al INISEFOR-UNA, por el soporte técnico, logístico y financiero en las giras de campo. Además, a las personas revisoras anónimas y a la Revista por sus aportes, los cuales enriquecieron el presente documento.

9. Referencias

- Alder, D. (1995). *Growth modelling for mixed tropical forests*. Oxford Forestry Institute. Oxford.UK
- Brown, S. (1997) Estimating Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. *Forestry Paper* 134, 72-75p
- Camacho, M. (2015). Superficie de bosques susceptible de manejo forestal en Costa Rica y estimación de su potencial productivo. Consultoría: “Fomento del manejo sostenible de los bosques naturales (MFS) para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (FONAFIFO-REDD+)



- Centeno, F. (2010). *Evaluación de la aplicación de tratamientos silviculturales en bosques naturales de la Región Huetar Norte de Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Chaverri, A. (1996). Bases ecológicas para el manejo forestal sostenible. *UNICIENCIA*, 13, 73-79. Recuperado de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-BasesEcologicasParaElManejoForestalSostenible-5381340.pdf>
- Delgado, D., Finegan, B., Zamora, N., & Meir, P. (1997). *Efectos de aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica: Cambios en la riqueza y composición de la vegetación*. CATIE. (Serie técnica. Informe técnico No. 298. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales).
- Díaz, A. (1996). *Efecto de un raleo sobre el crecimiento de un bosque secundario de altura, Cordillera de Talamanca, Costa Rica* (Tesis de maestría inédita). CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Finegan, B. (1993). *Bases ecológicas de la silvicultura*. (VI Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales). CATIE, Turrialba, C. R. 1° de marzo al 7 de abril.
- Finegan, B., Camacho, M. (1998). Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rica rain forest, 1988-1996. *Forest ecology and management* 121, 177-189. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00550-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00550-7)
- Fredericksen, T. (2003). *Ciclos de corta en bosques tropicales de Bolivia: Opciones basadas en investigación sobre manejo forestal*. Proyecto BOLFOR. The Forest Management Trust, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Recuperado de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Ciclos%20de%20corta.pdf>
- Gallo, M. (1999). *Identificación de tipos de bosques primarios en la Zona Norte de Costa Rica*. (Tesis de maestría). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Holdridge, L.R. (1977). *Ecología basada en zonas de vida* (Jiménez Saa, H, (trad.). San José, Costa Rica: IICA.
- Hutchinson, I., Wadsworth, H. (1995). La liberación, una práctica forestal prometedora. *Memorias de la II Semana Científica Turrialba* (100-102 p.). Costa Rica: CATIE.
- Imaña, J., Encinas, O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. Recuperado de http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf
- IPCC. (2006). *Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*, Vol. 4, Anexo 2: Resumen de ecuaciones.



- 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* Carri-
llo, A (trad.). Rossdorf, Alemania: GTZ.
- Louman, B., Quirós, D., Nilsson, M. (Eds.). (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. (Serie técnica, Manual técnico / CATIE). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Maitre, H. F. (1986). Growth and yield of natural stands in the tropical rain-forests of Africa. *Bois et Forêts des Tropiques*. 213 p
- Manzanero, M. & Pinedo, G. (2004). *Plan silvicultural en unidades de manejo forestal*, (Serie técnica 3) Fondo mundial para la naturaleza (WWF). Recuperado de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/plansilvicultural.pdf>
- McKenzie, A. (2003). *Tendencias y perspectivas para el Sector Forestal Nacional de Costa Rica hasta el año 2020*. Comisión Forestal de América Latina y el Caribe (COFLAC). Proyecto Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal de América Latina. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Industria/2003_McKenzie_tendencias2020_CR.pdf
- Meza, V. (2008). *Evaluación de la eficiencia económica y la integridad ecológica para dos tipos de bosques húmedos intervenidos bajo manejo forestal con diferentes intensidades de cosecha en la Región Norte y Atlántica de Costa Rica* (Tesis de maestría inédita). CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Meza, V., Méndez, J. (2006). Segundas cosechas bajo un sistema policíclico de manejo para bosques húmedos tropicales de la Región Huetar Norte, Costa Rica. Investigación presentada en el *Segundo Congreso Latinoamericano IUFRO*. Recuperado de http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/meza_and_mendez_2002_-_segundas_cosechas_bajo_un_sistema_polic_clico_de_manejo_para_bosques_h_medos_tropicales_regi_n_huetar_norte_costa_rica.pdf
- Navarro, G; Bermúdez, G. (2006). *Análisis económico del impacto de las restricciones técnicas y legales sobre la rentabilidad del manejo bosques naturales y su competitividad respecto a otros usos de la tierra en Costa Rica*. (SINAC-FAO- TCP/COS/3003. Informe N°2). San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/12924-05025d5e690b91036419c00100747b1cb.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* (2^{da} ed.) Roma, Italia.
- Pedroni, L., de Camino, R. (2001). Un marco lógico para la formulación de estándares de manejo forestal sostenible. *Serie Técnica. Informe Técnico n.º 317*. Turrialba, CR, CATIE.
- Quirós, D., Gómez, M. (1998). *Manejo sustentable de un bosque primario intervenido en la zona Atlántica Norte de Costa Rica: Análisis financiero*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.



- Sabogal, C., Castillo, A., Carrera, F., Castañeda, A. (2001). Aprovechamiento forestal mejorado en bosques de producción. Estudio de caso Los Filos, Río San Juan, Nicaragua. *Serie Técnica. Informe Técnico*, n.º 323. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales n.º 21). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Sánchez, M., Magginis, S., Davies, J. (1996). Simulaciones silviculturales y financieras en la ordenación de bosques naturales. Investigación presentada en el X Congreso Nacional Agronómico. Recuperado de http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_x/a50-2388-I_167.pdf
- Sesnie, SE. (2006). *A geospatial data integration framework for mapping and monitoring tropical landscape diversity in Costa Rica's San Juan-La Selva Biological Corridor* (Tesis de doctorado inédita). University of Idaho, Idaho, Estados Unidos y CATIE, Costa Rica.
- Silva, J., Carvalho, J., Lopes, J., Almeida, B., Costa, D., Oliveira, L., Vanclay, J., & Skovsgaard, J. (1995). Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian amazon 13 years after logging. *Forest Ecology and Management*, 71(3), 267-274. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)06106-S](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)06106-S)
- Sitoe, A. (1992). *Crecimiento diamétrico de las especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención* (Tesis de maestría inédita). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Ulate, C. (2015). *Generalidades del área de conservación Arenal Huetar Norte, Costa Rica*. Recuperado de <http://parquenacionalvolcanarenal.blogspot.com/p/area-de-conservacion-arenal-huetar.html>
- Villanova, E., Ramírez, H., Torres, A. (2010). El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como indicador del impacto de aprovechamiento de madera en la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia*, 35, 9-11.
- Wagner, U. (2000). *Efectos de la corta selectiva sobre la composición florística y la estructura de los bosques húmedos de la vertiente Atlántica de Costa Rica*. República Federal de Alemania: Eschborn. Recuperado de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Z2000CortaSelectiva.pdf>
- Zúñiga, C. (2018). *Rentabilidad de aprovechamiento maderable de los planes de manejo aprobados en el periodo 2010-2013 y su efecto en el costo de oportunidad de la tierra, para el área de conservación Arenal-Huetar norte, Costa Rica* (Tesis de Licenciatura inédita). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

