

UNIVERSIDAD NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR  
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS  
SILVICULTURALES EN LA SOSTENIBILIDAD DE BOSQUES  
TROPICALES EN LA REGIÓN HUETAR NORTE, COSTA RICA**

Tesis con formato artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

Por:

**PABLO ABARCA VALVERDE**

Heredia, Costa Rica

Febrero, 2021

## **ACTA DE APROBACIÓN**

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

### **MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

**Mauricio Vega Araya, Dr.**

Representante del Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

**Sergio Molina Murillo, Dr.**

Representante, Dirección de la Escuela Ciencias Ambientales

---

**Víctor Meza Picado, M.Sc.**

Tutor

---

**Jhonny Méndez Gamboa, M.Sc.**

Lector 1

---

**Mauricio Sánchez Monge, M.Sc.**

Lector 2

---

**Pablo Abarca Valverde, Bach.**

Estudiante

## RESUMEN

Los tratamientos silviculturales surgen como una herramienta necesaria en el proceso del manejo forestal sostenible (MFS), procurando mantener la productividad, la biodiversidad y la rentabilidad de los bosques naturales. Entendiéndose que el ideal productivo del MFS es lograr el equilibrio entre la rentabilidad y la conservación. En el presente trabajo, se presenta la evidencia empírica del rol que juega la aplicación de tratamientos silviculturales, después del aprovechamiento forestal, en el equilibrio de la conservación y la rentabilidad. Para lo que se utilizó el formato de dos artículos científicos. Un primer artículo titulado **“Evaluación de la aplicación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la región Huetar norte, Costa Rica”** fue publicado en la Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sc) volumen 54 (1) del año 2020. Donde, se analizó el efecto de los tratamientos de refinamiento y liberación evaluando la integridad ecológica del bosque, el potencial productivo de la madera comercial y el dióxido de carbono fijado; así como, la rentabilidad financiera según los ciclos de corta biológico, normativo y financiero. Esto se logró realizando una actualización o medición del experimento silvicultural establecido en el año 1992 por la Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA). El experimento consistió en aplicar dos tratamientos silviculturales (liberación y refinamiento) y un sitio testigo, con tres repeticiones por tratamiento, después del aprovechamiento forestal en un Bosque Húmedo Tropical situado en Pital de San Carlos. Los resultados mostraron que después de 25 años de aplicados los tratamientos los valores de referencia se mantuvieron dentro del rango permitido por la norma para el umbral de las especies heliófitas efímeras (15 %) y del área basal (11,6 m<sup>2</sup>\*ha<sup>-1</sup>); el incremento medio anual no presenta diferencias significativas, para una probabilidad del 95 %, entre tratamientos. A pesar de esto, el refinamiento mostró los mayores incrementos en la producción neta del área basal y del volumen para la masa remanente comercial, los cuales fueron de un 27,42 % y un 9,11 %, más altos que el resto de tratamientos, respectivamente. El ciclo de corta financiero y el biológico, se alcanzan a los 11 y 10 años, respectivamente, después del aprovechamiento; esto es 4 y 5 años antes que el ciclo de corta normativo de 15 años para los tratamientos de refinamiento y liberación, lo que se refleja en una mayor rentabilidad según el criterio de máxima rentabilidad del Valor Bosque. En el segundo artículo, titulado **“Predicción de Bosque Normal y determinación de un ciclo de corta adaptativo mediante ensayos silviculturales en bosques tropicales de la Región Huetar Norte, Costa Rica”** se realizó una propuesta de manejo que busca obtener las mayores tasas de crecimiento y producción del bosque mediante un manejo forestal adaptativo que consiste en realizar dos intervenciones silviculturales en diferentes momentos del ciclo de corta. Se utilizaron datos empíricos producto de la medición constante de parcelas permanentes de muestreo durante un periodo de 25 años. La intención de proyectar una máxima capacidad de producción idealizada del bosque, se logró por medio de la fijación de un ciclo de corta óptimo, este idealiza el creciendo promedio máximo que tienen las especies según la dureza de la madera. Se generó una propuesta de manejo silvicultural que permite realizar dos intervenciones silviculturales una al año 4 y la otra al año 8, con una nueva cosecha al año 13. Lo anterior se justificó ya que el bosque no sufrió cambios en la composición florística de las especies comerciales, y además, cumplía con los umbrales de Heliófitas Efímeras y de área basal establecidos por la norma; por lo tanto, es posible recomendar un ciclo de corta menor a 15 años. La modelación del crecimiento según el esquema de manejo idealizado del bosque permitió generar de entre 2,5 a 4 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup> más del volumen

disponible en un ciclo de corta de 13 años, esto logró incrementar la rentabilidad en los ciclos de corta normativo y financiero. La evidencia sugiere que es necesario ejecutar varias intervenciones silviculturales en el bosque entre los ciclos de corta para mantener crecimiento el bosque en su máximo potencial, en consecuencia es posible recomendar ciclos de corta menores a los 15 años ajustándose al crecimiento por especie. Lo que contribuye, a la generación de ingresos durante el ciclo de corta y a un aumento en la disponibilidad de volumen para la cosecha, lo que se ve reflejado en aumentó de la rentabilidad del MFS

**Palabras clave:** Integridad ecológica; potencial productivo; rentabilidad del bosque; silvicultura, bosque normal, ciclos de corta.

## **DEDICATORIA**

Esto se lo dedico a las dos personas más importantes de mi vida, mis padres Nidia María y José Gerardo, quienes han sido mis profesores de vida y gracias a su sacrificio y apoyo incondicional logré terminar mis estudios.

A mis hermanos Cristina, José, Melissa y cuñados Álvaro, Ingrid y Jonathan, por su apoyo en los buenos y malos momentos de este proceso.

A mis compañeros y compañeras forestales principalmente con los que concluí, los cuales poseen un potencial increíble y de los cuales aprendí mucho gracias a las incontables vivencias que tuvimos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor Víctor Meza quien me apoyo, impulso, guio y enseñó como un amigo, a mis lectores Jhonny Méndez y Mauricio Sánchez por transmitir conocimientos y mejorar la investigación.

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 y CODEFORSA por el soporte técnico, logístico y financiero en las giras de campo.

A los revisores anónimos de la revista de ciencias ambientales por sus aportes, los cuales enriquecieron el documento.

A Kevin Ruiz, Manuel Calderón, Ana Seidel y Monserrat Romero por la colaboración en el trabajo de campo.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>ACTA DE APROBACIÓN</b> .....	i
<b>RESUMEN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>Artículo 1. Evaluación de la aplicación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica</b> .....	1
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Marco teórico</b> .....	2
<b>2.1 Manejo Forestal Sostenible (MFS)</b> .....	2
<b>2.2 Silvicultura de bosques</b> .....	3
<b>2.3 Tratamientos silviculturales</b> .....	3
<b>2.3.1 Liberación</b> .....	3
<b>2.3.2 Refinamiento</b> .....	3
<b>2.3.3 Testigo</b> .....	3
<b>2.4 Valor de referencia mínimo de área basal</b> .....	3
<b>2.5 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras</b> .....	4
<b>2.6 Crecimiento</b> .....	4
<b>2.6 Ciclo de corta biológico (CCB)</b> .....	4
<b>2.7 Ciclo de corta normativo (CCN)</b> .....	4
<b>2.8 Ciclo de corta financiero (CCF)</b> .....	4
<b>3. Metodología</b> .....	5
<b>3.1 Área de estudio</b> .....	5
<b>3.2 Antecedentes del aprovechamiento y la aplicación de tratamientos silviculturales</b> .....	5
<b>3.3 Indicadores de sostenibilidad de los bosques manejados</b> .....	6
<b>3.3.1 Valor de referencia mínimo de área basal</b> .....	6
<b>3.3.2 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras</b> .....	6
<b>3.4 Evaluación de la producción</b> .....	7

3.4.1	Incremento neto de la masa residual .....	7
3.4.2	Variables dependientes .....	7
3.5	Incremento corriente de las especies comerciales tratadas .....	8
3.6	Determinación de la rentabilidad por tipo de tratamiento según ciclo de corta .....	9
3.6.1	Valoración del activo de la tierra según tratamiento silvicultural: el valor esperado de la tierra (VET).....	9
4.	Resultados .....	10
4.1	Implicación de las intervenciones silviculturales.....	10
4.1.1	Integridad ecológica del bosque .....	10
4.2	Capacidad productiva de volumen, área basal y dióxido de carbono .....	11
4.2.1	Incremento medio del volumen .....	11
4.2.2	Incremento medio del área basal .....	11
4.2.3	Incremento medio del dióxido de carbón equivalente .....	12
4.3	Curvas de crecimiento por dureza de madera.....	12
4.4	Determinación de la rentabilidad por ciclo de corta .....	14
5.	Discusión .....	14
5.1	Evaluación de la integridad ecológica .....	14
5.1.1	Valor de referencia mínimo de área basal .....	14
5.1.2	Valor de referencia máximo de especies Heliófitas efímeras .....	15
5.2	Crecimiento y producción de la masa remanente .....	15
5.2.1	Volumen y área basal comercial .....	15
5.2.2	Dióxido de carbono equivalente .....	16
5.3	Incremento corriente de las especies comerciales tratadas .....	16
5.4	Determinación de la rentabilidad por ciclo de corta .....	17
6.	Conclusiones .....	17
7.	Referencias.....	19
Artículo 2. Predicción de Bosque Normal y determinación de un ciclo de corta adaptativo mediante ensayos silviculturales en bosques tropicales de la Región Huetar Norte, Costa Rica .....		23
1.	Introducción.....	23
1.1	La estructura del bosque normal.....	24
1.2	Manejo silvicultural policíclico .....	24
1.3	Ideales del Manejo Forestal Sostenible (MFS) .....	24

1.4 Ideal productivo de bosques manejados.....	24
2. Metodología.....	25
2.2 Ciclo de corta óptimo o adaptativo .....	25
2.3 Valoración del activo de la tierra según bosque normal: el valor esperado de la tierra (VET).....	26
2.4 Indicadores para el mantenimiento de la condición disetánea .....	27
2.4.1 Coeficiente de similitud de Jaccard .....	27
2.4.2 Valor de referencia mínimo de área basal .....	27
2.4.3 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras .....	28
3. Resultados .....	28
3.1 Determinación de un ciclo de corta menor a 15 años.....	28
3.2 Supuestos para alcanzar el bosque normal.....	29
3.3 Propuesta de manejo para la producción del bosque normal.....	30
3.4 Comparación volumen disponible del bosque normal (BN) y bosque real (BR).....	31
3.5 Rentabilidad del bosque normal y bosque real .....	32
3.6 Determinación de los ciclos de corta para el bosque normal y el bosque real.....	33
4. Discusión .....	34
5. Conclusiones .....	36
6. Referencias.....	37

## ÍNDICE DE CUADROS

**Artículo 1.** Evaluación de la aplicación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la región Huetar norte, Costa Rica

Cuadro 1. Valor esperado de la tierra para los ciclos de corta biológica, financiero y normativo para cada tratamiento silvicultural y bosque normal..... 14

**Artículo 2.** Predicción de Bosque Normal y determinación de un ciclo de corta adaptativo mediante ensayos silviculturales en bosques tropicales de la Región Huetar Norte, Costa Rica

Cuadro 1. Indicador de cambio para la composición florística comercial según el índice de similitud de Chao-Jaccard (2005), tomando como referencia la condición antes del aprovechamiento. Región Huetar Norte, Costa Rica. ....29

Cuadro 2. Indicadores para justiciar la cosecha forestal, tomando en cuenta valores de referencia de área basal y especies heliófitas efímeras según el Estándar de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques Naturales en Costa Rica.....29

Cuadro 3. Supuestos productivos del bosque normal y referencias ecológicas permisibles de producción.....30

Cuadro 4. Propuesta de manejo silvicultural para la producción del bosque normal en la Región Huetar Norte, Costa Rica. ....31

Cuadro 5. Valor esperado de la tierra para los ciclos de corta biológica, financiero y normativo para el bosque normal y bosque real. ....33

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Artículo 1. Evaluación de la aplicación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la región Huetar norte, Costa Rica

Figura 1. Ubicación geográfica del ACAHN y unidad de manejo forestal analizada.....	5
Figura 2. Área basal promedio (> 30 cm al DAP) y valor de referencia mínimo (VRM) por tratamiento silvicultural para todo el periodo. ....	10
Figura 3. Porcentaje de especies Heliófitas efímeras y valor de referencia máximo por tratamiento silvicultural para todo el periodo de medición para aquellos individuos con un DAP $\geq$ 30 cm. ...	10
Figura 4. Tasas del incremento medio del volumen comercial para individuos con un DAP $\geq$ 10 cm para el INP según tratamiento silvicultural. ....	11
Figura 5. Tasas del incremento medio del área basal comercial para individuos con un DAP $\geq$ 10 cm para el INP (Incremento Neto Periódico) según tratamiento silvicultural. ....	11
Figura 6. Tasas del incremento medio del dióxido de carbón equivalente para individuos con un DAP $\geq$ 10 cm para el INP (Incremento Neto Periódico) según tratamiento silvicultural. ....	12
Figura 7. Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales tratadas de madera suave según el tratamiento silvicultural. ....	12
Figura 8. Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales tratadas de madera semidura según el tratamiento silvicultural.....	13
Figura 9. Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales tratadas de madera dura según el tratamiento silvicultural. ....	13

### Artículo 2. Predicción de Bosque Normal y determinación de un ciclo de corta adaptativo mediante ensayos silviculturales en bosques tropicales de la Región Huetar Norte, Costa Rica

Figura 1. Ubicación geográfica del ACAHN y unidad de manejo forestal analizada.....	25
Figura 2. Comparación del incremento del volumen comercial disponible del bosque real y bosque normal.....	32
Figura 3. Rentabilidad del bosque real y bosque normal al mantener al bosque creciendo a su máximo potencial a lo largo del periodo de medición. ....	33

# **Artículo 1. Evaluación de la aplicación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica**

## **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 los habitantes de aquellas las 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 en términos de 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 lo que demanda el monitoreo continuo por parte de los actores en identificar y evaluar los factores que limitan el potencial del MFS (McKenzie, 2003).

La silvicultura se considera como 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 este motivo es necesario tener en términos cuantitativos exactos, la respuesta de la masa forestal a este tipo de prácticas con el fin de determinar qué tan efectivas son estas actividades en pro de lograr un mayor incremento en la producción de madera rolliza y se refleje en la rentabilidad financiera del ciclo de corta, cumpliendo además los principios, criterios e indicadores (PC&I) de sostenibilidad.

En Costa Rica la investigación, ejecución, capacitación y apoyo técnico en silvicultura y manejo de bosques ha recaído 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, entre otros, estos desarrollaron a finales de los ochenta y principios de los 90 ensayos sobre el manejo forestal policíclico en todas sus fases incluyendo experimentos de tratamientos silviculturales pos cosecha.

Los resultados de estos experimentos en el país 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; 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, la realidad en Costa Rica muestra que en la práctica el manejo de

bosques se limita al primer tratamiento silvicultural (aprovechamiento) dejando 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 que al mismo tiempo contribuye con su conservación (Díaz, 1996; Hutchinson y Wadsworth, 1995; Quirós y Gómez, 1998); no obstante no se tiene clara certeza de la rentabilidad de la actividad a largo plazo; además se carece de trabajo empírico que demuestra 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 se dé una recuperación del ecosistema en mantener los servicios ecosistémicos como la remoción de CO<sub>2</sub> 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 los dueños de bosque a realizar prácticas insostenibles, conversión a otros usos y degradación de los mismos (Navarro y Bermúdez, 2006).

Es necesario, generarse alternativas para mejorar la productividad de los bosques sujetos al MFS. En consecuencia, es indispensable generar el conocimiento necesario para llenar aquellos vacíos de información que limitan el MFS. Esta nueva comprensión del MFS tiene que considerar no solo la efectividad de los tratamientos silviculturales sino, que la actividad por si sola es económicamente viable para ser considerada como la alternativa más 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 evaluando la integridad ecológica del bosque mediante los indicadores de sostenibilidad (valor de referencia mínimo de área basal, 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 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 apegado 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, logrando 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 y/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, para evitar la entrada excesiva de luz y el establecimiento de vegetación no deseada (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 es 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) del área basal de los individuos arriba de 30 cm al 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.

La ubicación y georreferenciación de la unidad de manejo San Jorge en el mapa de tipos de bosque para las regiones Huetar Atlántica y Huetar Norte (Sesnie, 2006), fue ubicado 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 de 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).

### **2.6 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  $DAP \geq 10$  cm o para un  $DAP \geq$  al DMC, logren 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).

### **2.7 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 dividiendo 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, además cuando se cuenta con un registro confiable sobre la unidad de manejo, es posible justificar un turno menor a 15 años, pero no menor a 10 años, 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.

### **2.8 Ciclo de corta financiero (CCF)**

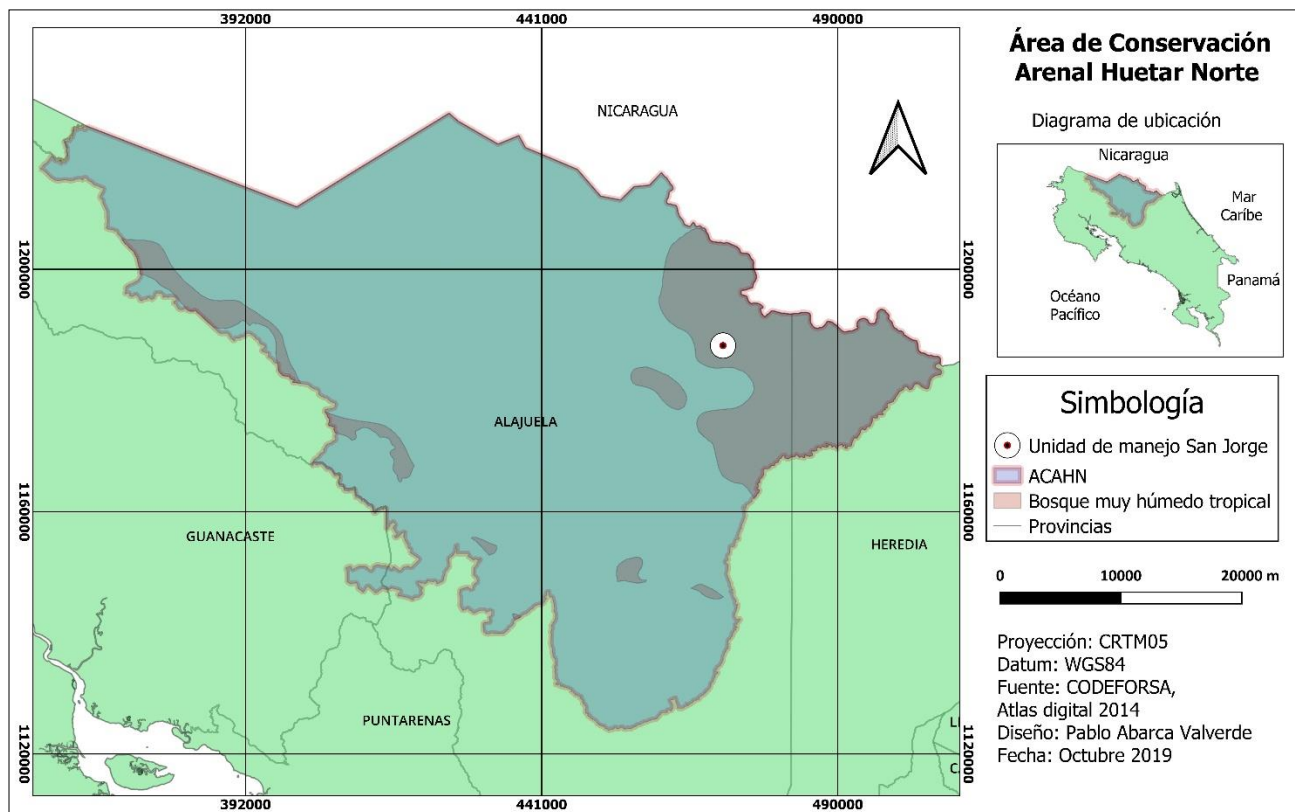
Se refiere al turno productivo donde se maximiza la inversión en términos monetarios, en donde el interés privado refleja el esquema que potencialice la rentabilidad de dedicar la tierra al manejo de

bosques. El supuesto se basa en que a través del cálculo del Valor de Bosque se establece la voluntad de pago que un 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 la Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN) (**Figura 1**). 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 3000 y 4000 mm\*año<sup>-1</sup>, 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 unidad de manejo forestal analizada.

#### 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 (diámetro mínimo de corta), en un área efectiva de 49,6 ha, donde se cortaron 196 árboles (4 arb\*ha<sup>-1</sup>) consiguiendo un volumen de 709 m<sup>3</sup> de madera (14,4 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>).

Una vez finalizadas las operaciones de corta se procedió a realizar los muestreos diagnóstico, 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 eliminando 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) a todos los arboles con diámetro mayor o igual a 10cm.

### **3.3 Indicadores de sostenibilidad de los bosques manejados**

Se consideró el principio N°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 total (G) 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. 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.

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

Donde:

G= Área basal (m<sup>2</sup>)

DAP = Diámetro altura del pecho (1,30 m)

#### **3.3.2 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras**

El Valor de Referencia Máximo (VRMx) se utilizó como indicador para conocer el grado de perturbación de los claros ocasionado por los tratamientos silviculturales, se clasificó 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 bajo dos términos; primeramente se analizó el incremento neto de la masa forestal remante bajo 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 siendo 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 CO<sub>2</sub> 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) 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:

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

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 CO<sub>2</sub> 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 10cm DAP (ecuación 1)

*El volumen comercial del fuste se estimó mediante la ecuación*

$$V = 0,00008379 * Dap^{2,03986} * HC^{0,779} \quad (3)$$

Donde:

V= volumen en m<sup>3</sup>

DAP = diámetro altura del pecho (1,30m)

HC = altura comercial del fuste (en metros)

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)

$$B = 0,1491 * Dap^{2,349} \quad (4)$$

Dónde:

B= biomasa aérea (kg)

DAP = diámetro a la altura del pecho

El cálculo de *dióxido de carbono equivalente* se realizó multiplicando la biomasa anterior por la fracción de carbono equivalente (fc) y la relación de masas molares de CO<sub>2</sub> sobre el carbono (fco<sub>2</sub>)

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

Donde:

MgCO<sub>2</sub>e= mega gramos de dióxido de carbono equivalente

B= biomasa aérea (kg)

fc= 0,45

fco<sub>2</sub>= (44g/moles de CO<sub>2</sub>/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 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.

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

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

a) 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).

b) 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 usando el factor de capitalización del inversionista (1+i), donde i es la tasa mínima aceptable de descuento (TMA) del inversionista.

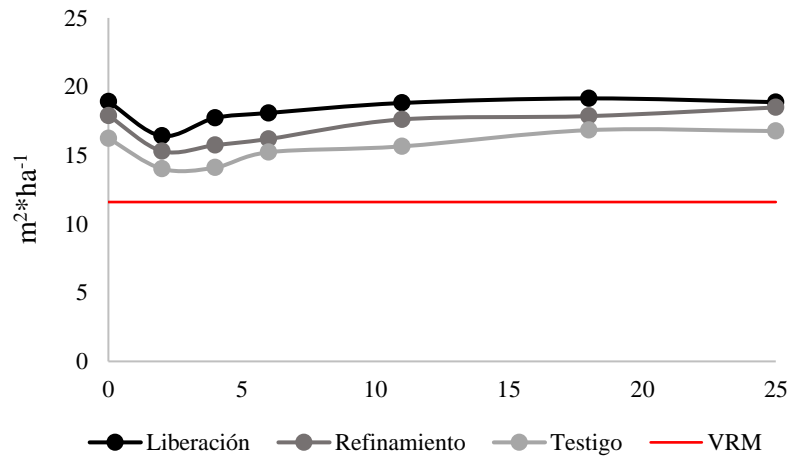
c) Este valor futuro calculado, considera la renta futura del sistema productivo, y se descuenta al presente usando el factor de descuento del inversionista, menos 1 ((1+i)-1) para obtener el valor presente de la renta neta de un sistema productivo en que se ha proyectado a todos sus ciclos productivos 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

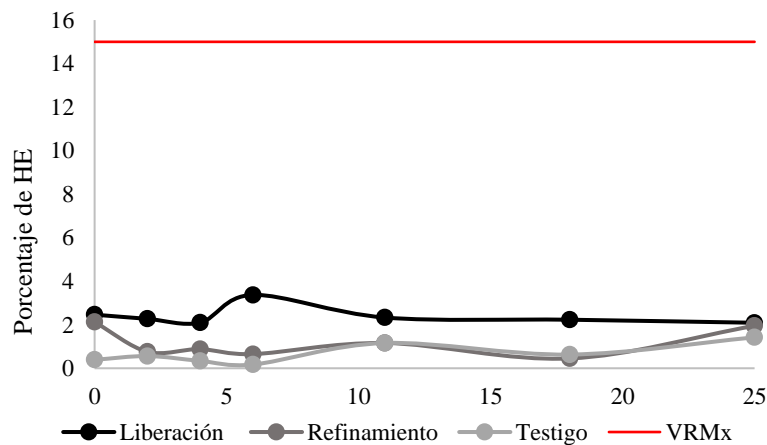
#### 4.1.1 Integridad ecológica del bosque

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 m<sup>2</sup>\*ha<sup>-1</sup> para árboles >30cm DAP (**Figura 2**).



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

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.

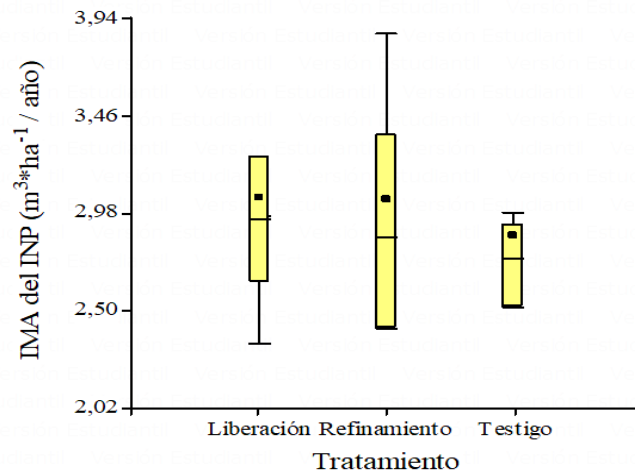


**Figura 3.** Porcentaje de especies Heliófitas efímeras y valor de referencia máximo por tratamiento silvicultural para todo el periodo de medición para aquellos individuos con un DAP ≥ 30 cm.

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

### 4.2.1 Incremento medio del volumen

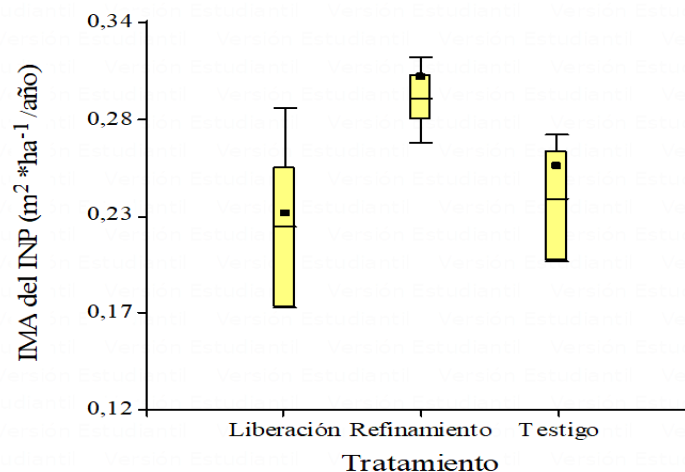
El incremento medio anual del INP en las tres variables no muestra diferencias significativas entre los tratamientos, en los tres casos el tratamiento de refinamiento presenta mayores valores de crecimiento (**Figura 4**).



**Figura 4.** Tasas del incremento medio del volumen comercial para individuos con un DAP  $\geq 10$  cm para el INP según tratamiento silvicultural.

### 4.2.2 Incremento medio del área basal

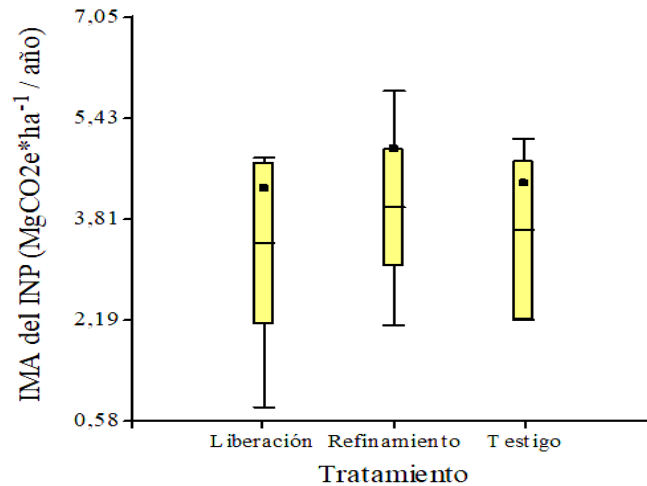
El incremento en área basal es la variable que presenta mayores diferencias entre tratamientos, el refinamiento presenta un 25,80 % más incremento que liberación 22,58 % más que la prueba testigo (**Figura 5**).



**Figura 5.** Tasas del incremento medio del área basal comercial para individuos con un DAP  $\geq 10$  cm para el INP (Incremento Neto Periódico) según tratamiento silvicultural.

### 4.2.3 Incremento medio del dióxido de carbono equivalente

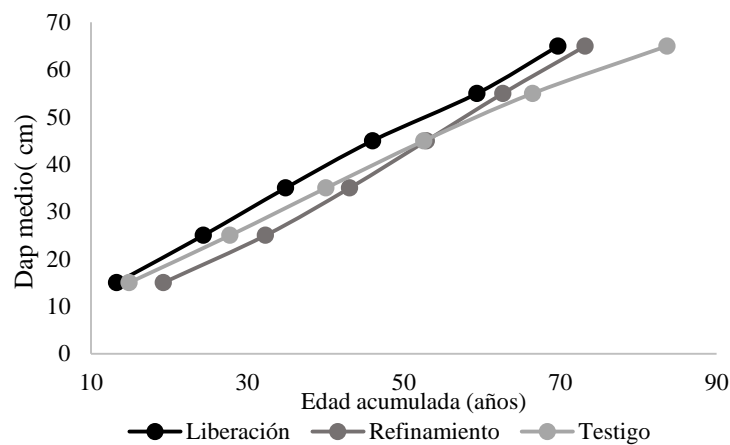
El incremento en dióxido de carbono presentó poca diferencia en los valores medios, la prueba refinamiento presentó diferencias del 5,1 % y 4,6 % con respecto a liberación y refinamiento respectivamente (**Figura 6**).



**Figura 6.** Tasas del incremento medio del dióxido de carbono equivalente para individuos con un DAP  $\geq 10$  cm para el INP (Incremento Neto Periódico) según tratamiento silvicultural.

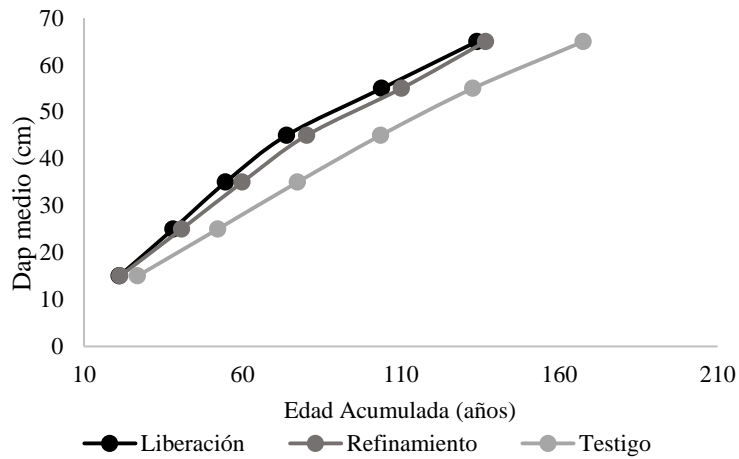
### 4.3 Curvas de crecimiento por dureza de madera

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



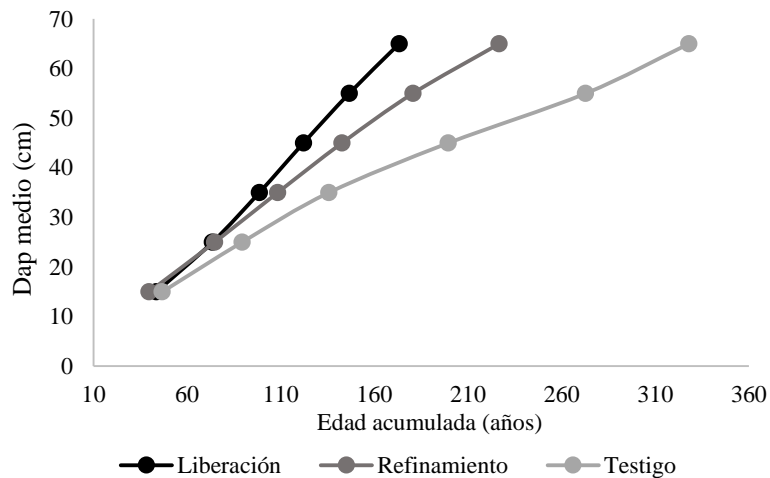
**Figura 7.** Curva de crecimiento acumulado para las especies comerciales tratadas de madera suave según el tratamiento silvicultural.

Los tratamientos de refinamiento y liberación en las curvas de crecimiento de madera semidura presentan un incremento similar, tardarían 28,6 % menos que la prueba testigo (**Figura 8**).



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

Las curvas de crecimiento de madera dura (**Figura 9**) presenta mayor diferencia de edad acumulada entre los tratamientos, al tomar 65 cm 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 tratadas de madera dura según el tratamiento silvicultural.

#### 4.4 Determinación de la rentabilidad por ciclo de corta

El (Cuadro 1) muestra las diferencias en la rentabilidad ( $\text{€*ha}^{-1}$ ) 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 presentan 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 siendo inferior a los tratamientos de refinamiento y liberación en los tres ciclos de corta, presentando además una edad superior al ciclo de corta normativo de 15 años.

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

	Ciclos de corta		
	Biológico	Normativo	Financiero
Liberación (años)	8	15	11
<b>VET</b>	<b>310,593</b>	<b>118,011</b>	<b>563,756</b>
Refinamiento (años)	10	15	11
<b>VET</b>	<b>423,510</b>	<b>103,493</b>	<b>501,308</b>
Testigo (años)	16	15	18
<b>VET</b>	<b>117,141</b>	<b>98,470</b>	<b>233,652</b>

## 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, además son los criterios principales que definen la futura cosecha del bosque. El valor de referencia mínimo establecido para este bosque es de  $11,6 \text{ m}^2*\text{ha}^{-1}$ , 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 este valor de referencia, presentando valores promedios de 14 y  $16 \text{ m}^2*\text{ha}^{-1}$ . En bosques sin intervención de la Región Huetar Norte se presentan áreas basales de entre 19 y  $21 \text{ m}^2*\text{ha}^{-1}$  para árboles mayores a 30 cm de DAP (Gallo, 1999), mientras en bosques intervenidos se presentan para la misma región áreas basales de entre 16 y  $17 \text{ m}^2*\text{ha}^{-1}$ , 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 2), esto por las condiciones específicas de competencia que presenta cada área de muestra, la (Figura 2) expresa como 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 de tiempo 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); Finegan y Camacho (1999) demuestran de igual forma que las parcelas tratadas presentan menor tiempo de recuperación del área basal presentando mayor dinamismo que las pruebas testigo.

### **5.1.2 Valor de referencia máximo de especies Heliófitas efímeras**

Los resultados mostrados en la (**Figura 3**) muestran 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 muestran 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 a 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 está 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 presenta 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 presento  $3,05 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  esto representa 10 % y 11 % más que testigo y liberación, esta cifra es similar a lo reportado por Maitre (1986) que reporta incrementos en rodales aprovechados y refinados de 2,8 a  $3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . 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 muestran diferencias significativas con una disminución de área basal de 65 % repercutiendo 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) presentando 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  $4,94 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , demostrando una mejor reacción de la biomasa en las intervenciones principalmente en el refinamiento, como lo mencionan Brown (1997); Villanova, Ramírez, y Torres (2010) 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; 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 todas los arboles presentaron  $0,48$  y  $0,56 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$  similar a lo expuesto por Finegan y Camacho, (1998) quienes reportaron  $0,3$  y  $0,5 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$  en la Tirimbina, en este mismo trabajo se demostraron diferencias significativas de  $0,2 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$  de crecimiento en las parcelas tratadas silviculturalmente.

El incremento diamétrico de las especies de esta influenciada 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 presento  $0,61 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$ , liberación  $0,46 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$  y testigo  $0,35 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$

#### **5.4 Determinación de la rentabilidad por ciclo de corta**

Según lo mostrado en el (**Cuadro 5**) 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, indicando 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  $398.263 \text{ ¢/ha}$  comparado con CCF y  $320.017 \text{ ¢/ha}$  comparado con el CCB. Asimismo la rentabilidad del tratamiento de liberación se redujo en  $681.767 \text{ ¢/ha}$  al esperar alcanzar el CCN según el CCF con 4 años de diferencia y la reducción fue de  $428.604 \text{ ¢/ha}$  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 a 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 presentó 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 tardo menos tiempo en los ensayos de refinamiento y liberación alcanzando los valores antes de la cosecha a los 11 y 9 años después, 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  $\text{CO}_2$  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 indica 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 los esfuerzos de la investigación justificando su aplicación y como puede contribuir la adopción de las técnicas a mejorar del MFS en Latinoamérica.

## 7. 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, CR. 70-92 p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. (CATIE). 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M (eds.). (Serie técnica, Manual técnico / CATIE; n° 46). Turrialba, Costa Rica. 256 p.
- Chaverri, A. (1996). Bases ecológicas para el Manejo Forestal Sostenible. *UNICIENCIA* 13 pp. 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. 43 p. (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 maestría).Turrialba, CR, CATIE. 82, 57p.
- 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, 229p
- Finegan, B; Camacho, M. (1998). Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rica rain forest, 1988-1996. *Forest ecology and management* 121, 177-189p.
- 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 Maestría) Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Holdridge, LR. (1977). *Ecología basada en zonas de vida*. Jiménez Saa, H (trad.). San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Hutchinson, I; Wadsworth, H. (1995). *La liberación, una práctica forestal prometedora*. Memorias de la II Semana Científica Turrialba, CR, CATIE. 100-102 p.
- 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](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf)
- IPCC. (2006). *Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. 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*. Carrillo, A (trad.). Rossdorf, Alemania. GTZ. 335 p.
- 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](http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Industria/2003_McKenzie_tendencias2020_CR.pdf)
- Méndez, J. (2008). *El manejo silvicultural policíclico en bosques húmedos de bajura en la Región Norte de Costa Rica*. Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos, CODEFORSA. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/repdoc/A2703e/A2703e.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). 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\\_-](http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/meza_and_mendez_2002_-)

[segundas cosechas bajo un sistema policlico 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. s.e. 57 p. 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 ed. Roma, Italia. 46 p.
- Pedroni, L; Camino, R. (2001). Un marco lógico para la formulación de estándares de manejo forestal sostenible. (Serie Técnica. Informe Técnico no 317). Turrialba, CR, CATIE. 37 p.
- 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. 36 p.
- 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. Turrialba, CR, CATIE. 54 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 323. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 21).
- 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](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 Ph.D). Idaho, Estados Unidos. UI - CATIE. 175 p.
- 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
- Siteo, A. (1992). *Crecimiento diamétrico de las especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención*. (Tesis de Maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- 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*. Eschborn República Federal de Alemania. Recuperado de: <http://www.bionica.info/biblioteca/Wagner2000CortaSelectiva.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). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

## Artículo 2. **Predicción de Bosque Normal y determinación de un ciclo de corta adaptativo mediante ensayos silviculturales en bosques tropicales de la Región Huetar Norte, Costa Rica**

### **1. Introducción**

La investigación científica y el manejo de recursos naturales aparecieron como respuesta directa a las necesidades del ser humano. En el ámbito de la conservación de los bosques, las ciencias forestales y el manejo forestal no son la excepción. Ya que con la manipulación de la vegetación del bosque, por medio de prácticas silviculturales, se busca cumplir los objetivos de mantener la biodiversidad mientras se aumenta la rentabilidad del manejo forestal, de acuerdo con las condiciones propias donde se encuentran los bosques y a los momentos específicos en que se han desarrollado (Klaus, Puettmann, Coates, Messier, 2016).

Estas necesidades derivadas de los acontecimientos económicos, sociales y culturales llevaron a desarrollar gran variedad de modelos silvícolas. Se encuentran los modelos que de forma independientes se ajustan a las condiciones locales a pequeña escala, y los que, responden a las necesidades de productores de grandes extensiones de tierra, coincidiendo con la *planificación a nivel de bosque* u *ordenación forestal*. El fin de la ordenación forestal es que el recurso perdure, cambiando los procesos y las técnicas a través de los años. En un principio, los procedimientos tradicionales de la ordenación forestal estuvieron fundados en la existencia en la estructura del “bosque meta” (Clutter, Fortson, Pienaar, Brister, Bailey, 1983).

El bosque meta de la ordenación forestal fue originalmente denominado como bosque normal, el adjetivo “normal” a tales bosques se refiere a constructos ideales. El bosque normal tradicional es una colección de rodales coetáneos que se manejan en una rotación  $N$  de años. Los rendimientos de estos rodales están dados por alguna tabla de producción normal, de manera que todos los rodales se asumen como normalmente o completamente poblados, se considera que todos los rodales crecen en sitios equiproductivos y se asume que la distribución por clases de edad en el bosque esta balanceada (Clutter *et al.*, 1983).

Para el manejo en bosques tropicales el término de bosque normal no ha sido utilizado regularmente principalmente por la complejidad del ecosistema y a la poca semejanza que existe entre estos bosques y la estructura fundamental del bosque normal. Es por esto, que han surgido otras definiciones similares que se adaptan mejor a la sostenibilidad de este tipo de ecosistemas como la ordenación forestal, rendimiento sostenible, bosque regulado entre otros. Para el presente artículo tomaremos el término de bosque normal para idealizar las mayores tasas de crecimiento y producción mediante supuestos y con la ayuda de datos empíricos de ensayos post cosecha de un bosque húmedo tropical de la Región del Huetar Norte de Costa Rica.

Mediante esta idealización de producción se pretende determinar un ciclo de corta óptimo que cumpla con las condiciones ecológicas y financieras. Se pretende justificar un turno menor a 15 años según lo indica el Estándar de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques Naturales en Costa Rica, para lo que se comparó estadísticamente la similitud de las “comunidades de especies comerciales” antes y después de las intervenciones, en donde al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre ambas comunidades y al cumplir con los umbrales de área basal y especies heliófitas efímeras, se estableció un ciclo de corta de 13 años.

### **1.1 La estructura del bosque normal**

La estructura de los bosques completamente ordenados se refiere a considerar un bosque de N hectáreas manejadas con una rotación de R años de edad. El bosque está constituido por X clases de edad de 1 año con igual superficie en todas las clases. El volumen promedio por hectárea para cada clase de edad es obtenido a partir de una tabla de rendimiento apropiada. Se asume que los rodales de la clase de edad de R años pasan a la clase de edad de 1 año después de la cosecha, cada año, los rodales de clase de edad más vieja en el bosque son cosechados y esta superficie se convierte en los rodales de la clase de edad de 1 año para el próximo año. Todos los demás rodales adelantan una clase de edad cada año. Puesto que todas las clases de edad tienen igual superficie, la distribución de áreas por clases de edad no se modifica año tras año y, puesto que todas las áreas son igualmente productivas, la distribución del volumen por clases de edad también permanece inalterada. (Clutter *et al.*, 1983, Klaus *et al.*, 2016)

### **1.2 Manejo silvicultural policíclico**

En los bosques tropicales se utiliza el sistema policíclico que tiene como objetivo resguardar la sostenibilidad, definiendo los ciclos de corta en función de las cosechas futuras y del mantenimiento de los servicios ambientales del bosque (Maginnis *et al.*, 1998). Para lo cual se utilizan criterios de decisión como: ciclos de aprovechamiento cortos (15-30 años) con base en el crecimiento anual, aprovechamientos de bajo impacto (planificados y controlados para reducir el daño a la masa residual), tala selectiva de un número reducido de individuos comerciales maduros (1-10 árboles/ha), tratamientos silviculturales, entre otros; todo esto con el fin de que el capital del bosque (en términos de cantidad y calidad) se mantenga, y de ser posible aumente.

### **1.3 Ideales del Manejo Forestal Sostenible (MFS)**

El MFS de bosques tropicales plantea sus ideales desde su definición “*la administración de los bosques deben mantener la diversidad biológica, la productividad, la capacidad de regeneración, la vitalidad y su potencial para cumplir, ahora y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes a nivel local y global*” (Granholm *et al.*, 1996). El concepto más amplio y concordante que hoy en día se tiene sobre la sostenibilidad de los bosques es complementado de ideales que vienen del manejo forestal diversificado el cual pretende generar múltiples productos y servicios, del manejo forestal adaptativo que evalúa los actores externos como el mercado, las políticas y los objetivos de los actores.

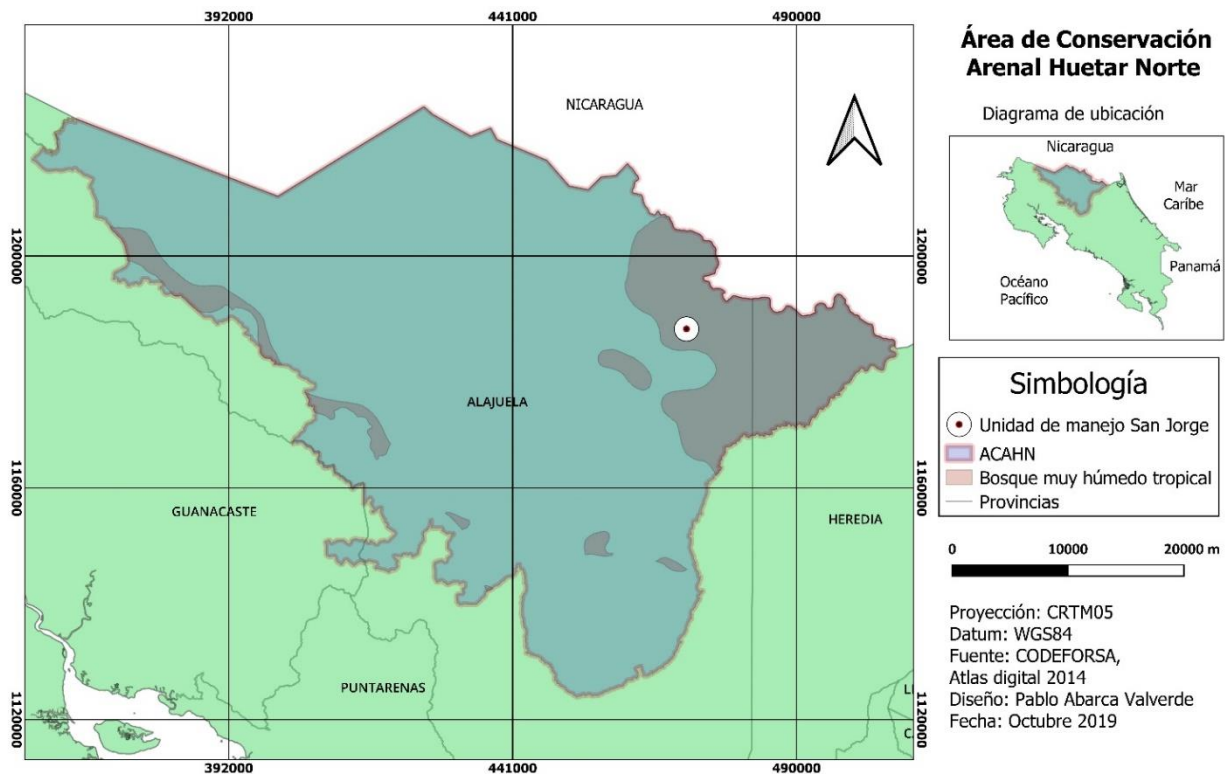
### **1.4 Ideal productivo de bosques manejados**

El ideal productivo del MFS busca que se logre la mayor cantidad de volumen posible en cada ciclo de corta. No obstante, para alcanzar la máxima producción posible deben respetarse los ideales de sostenibilidad que persigue el MFS. Para lo que, es necesario realizar una manipulación de la masa remante - con el fin de que -por medio de la disminución de la competencia- se iguale o aumente la producción en las siguientes cosechas. Es necesario, la aplicación de tratamientos silviculturales dirigido a que los árboles de futura cosecha tengan un crecimiento constante y de ser posible, se reduzca el tiempo entre ciclos de corta; sin poner en peligro la composición y estructura del bosque (Louman, Quirós, Nilsson, 2001).

## 2. Metodología

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio se ubica en la Región Huetar Norte (**Figura 1**), donde según Abarca *et al.*, (2020) 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 3000 y 4000 mm\*año<sup>-1</sup>, 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).



Fuente: Abarca *et al.*, 2020

**Figura 10.** Ubicación geográfica del ACAHN y unidad de manejo forestal analizada.

### 2.2 Ciclo de corta óptimo o adaptativo

Se propuso el ciclo de corta óptimo utilizando el concepto de bosque normal, la intención es organizar los supuestos de manejo sobre la relación de las existencias volumétricas, crecimiento y producción para calcular los niveles de corta sostenible. Se establecieron una serie de supuestos básicos que permiten que los sistemas silvícolas maximicen la productividad forestal, los supuestos utilizados en este caso fueron.

#### 2.2.1 Incremento máximo potencial constante según el tipo dureza de la madera

Mediante datos de parcelas permanentes de muestreo de la unidad de manejo San Jorge en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN), se calculó el crecimiento del bosque en términos

de volumen comercial. Al volumen actual (medición 2) se le restó el volumen remanente (medición 1), para calcular el cambio en volumen comercial ( $\Delta VC$ ). Este crecimiento de los árboles (volumen) se realizó para las 7 mediciones que van desde el año 1992 hasta el 2017, calculándose el  $\Delta VC$ , con una regresión que permitió calcular el incremento del volumen comercial permisible a aprovechar en diferentes ciclos de corta (CC), desde el año 1 hasta el 25. En el bosque normal el volumen se idealizó utilizando los valores del incremento máximo volumétrico anual de las especies por dureza de la madera. Este valor debe considerarse como el crecimiento idealizado constante que aportara el volumen comercial disponible para todos los años en la función de producción, lo que genera una tabla de producción.

### 2.2.2. Intervenciones silviculturales

Este incremento máximo potencial es justificado por las intervenciones silviculturales regulares entre cosechas. El fin es mantener la dinámica del bosque y que se mantenga creciendo a su máximo potencial, en consecuencia se simuló dos intervenciones silviculturales pos cosecha, análisis que se complementó incluyendo los costos de las intervenciones en la función de producción y el impacto en la masa residual.

Estas intervenciones silviculturales se prevén que puedan generar madera comercial. Se prescriban tratamientos dirigidos a cosechar especies maderables de rápido crecimiento. Con este enfoque, se recomienda un raleo al año 4 y al año 8 que pueda generar ingresos, con esto los tratamientos se puedan costear por sí solos y se logre disminuir la competencia para que el bosque siga un crecimiento constante máximo.

### 2.3 Valoración del activo de la tierra según bosque normal: el valor esperado de la tierra (VET)

Para el cálculo de la rentabilidad, se utilizó la estructura de costos de Zúñiga (2018) citado por Abarca *et al.*, (2020) 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 como lo realizado en Abarca *et al.*, (2020):

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

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

a) 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 ( $DM$ ).

b) 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 usando el factor de capitalización del inversionista ( $1+i$ ), donde  $i$  es la tasa mínima aceptable de descuento (TMA) del inversionista.

c) 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.

## **2.4 Indicadores para el mantenimiento de la condición disetánea**

Con el fin de determinar si el bosque puede aceptar un nuevo aprovechamiento forestal se comparan los valores actuales de los parámetros (indicadores) que caracterizan el bosque con valores de referencia preestablecidos para asegurar la conservación de los bosques y sus funciones vitales. Los valores de referencia son los establecidos por los Estándares, Código de Prácticas, y Manual de Procedimientos Administrativos para el manejo policíclico de bosques naturales en Costa Rica de conformidad con lo que dicta el Decreto Ejecutivo 34559-MINAE de la gaceta 115 del 16 de junio, 2008.

### **2.4.1 Coeficiente de similitud de Jaccard**

Para evaluar los cambios en el tiempo en la composición de las especies comerciales se utilizó el Índice de similitud de Jaccard de acuerdo a una derivación probabilística sugerida por Chao et al. (2005). Como lo dicta las normas para la determinación de los ciclos de corta del decreto 34559-MINAE, que para justificar un turno menor a 15 años, pero no menor a 10 años, se debe comparar estadísticamente la similitud de las “comunidades de especies comerciales”. De valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambas mediciones, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies comerciales para un DAP  $\geq 10$  cm. Para el caso de este estudio se refiere a la comparación entre años de medición.

$$I_j = \frac{c}{a + b + c} \quad (2)$$

Donde:

a: número de especies presentes en la medición A

b: número de especies presentes en la medición B

c: número de especies presentes en ambas mediciones A y B

### **2.4.2 Valor de referencia mínimo de área basal**

El área basal total (G) 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. Según el estándar el bosque sujeto de aprovechamiento se encuentra sobre un valor de referencia mínimo de área basal de los individuos arriba de 30 cm de DAP para las especies comerciales y no comerciales. Según Abarca *et al.*, (2020) 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  $11,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ; esto de acuerdo al mapa de tipos de bosque para la región Huetar Atlántica y Huetar Norte (Sesnie, 2006), 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.

$$G = (\text{Dap})^2 * \frac{\pi}{4} \quad (3)$$

Donde:

G= Área basal ( $\text{m}^2$ )

DAP = Diámetro altura del pecho (1,30 m)

### 2.4.3 Valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras

Según Abarca *et al.*, (2020) el Valor de Referencia Máximo (VRMx) se utilizó como indicador para conocer el grado de perturbación de los claros ocasionado por los tratamientos silviculturales, se clasificó las especies arriba de 10 cm del 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. Resultados

### 3.1 Determinación de un ciclo de corta menor a 15 años

Las normas para la determinación del ciclo de corta es producto del cumplimiento de tres indicadores que son consideradas como salvaguardas para mantener la composición y la condición disetánea del bosque. En el marco de la normativa, el cumplimiento de cada uno de los indicadores es obligatorio y en el caso de que no se cumpla con uno de ellos la posibilidad de realizar una nueva cosecha es inviable.

La determinación del ciclo de corta menor a los 15 años, se inicia con la comparación de la similitud de especies comerciales. En el **Cuadro 1**, se muestra como el porcentaje de similitud utilizando Chao-Jaccard (2005) para las especies comerciales, presenta una leve disminución a medida que pasa el tiempo; donde a los 12 años después del aprovechamiento la similitud es de 87,65 % al comparar la composición del bosque antes del aprovechamiento. La similitud llegar a ser mínima a los 18 años después del aprovechamiento con un 86,9 %, para lo que se analizan los cambios de 62 especies comerciales.

**Cuadro 1.** Indicador de cambio para la composición florística comercial según el índice de similitud de Chao-Jaccard (2005), tomando como referencia la condición antes del aprovechamiento. Región Huetar Norte, Costa Rica.

<b>Indicador / Edad post aprovechamiento (años)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	
Bosque Real (E.C)	comunes	56	55	55	52	53	50
	no comunes	4	4	6	7	8	9
	Total	60	59	61	59	61	59
	<b>% de similitud</b>	<b>93,33</b>	<b>93,22</b>	<b>90,16</b>	<b>88,14</b>	<b>86,89</b>	<b>88,75</b>

(E.C) especies comerciales

Al comprobar que no se encontraron cambios significativos en la composición de especies comerciales. Complementariamente, se analiza el valor de área basal antes del aprovechamiento, la cual se recupera al año 10; no obstante, la reducción del área basal no llega nunca a ser menor al valor de referencia mínimo de área basal (VRMn) de  $11,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  (**Cuadro 2**).

En cuanto al porcentaje de especies heliófitas efímeras no llega a sobrepasar el 4 % en ningún momento de los 25 años analizados. En consecuencia nunca llega a superar el VRMx que corresponde al 15 %.

**Cuadro 2.** Indicadores para justiciar la cosecha forestal, tomando en cuenta valores de referencia de área basal y especies heliófitas efímeras según el Estándar de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques Naturales en Costa Rica.

<b>Indicadores</b>	<b>1994</b>	<b>1996</b>	<b>1998</b>	<b>2003</b>	<b>2010</b>	<b>2017</b>	
VRMn (G)							
DAP $\geq$ 30 cm	$11,6 \text{ (m}^2 \cdot \text{ha}^{-1})^*$	12,36	12,84	12,92	14,03	15,27	15,13
VRMx (HE)							
DAP $\geq$ 10 cm	$15 \text{ (\%)}^+$	2,46	2,27	2,1	3,37	2,33	2,23

\*Valor del umbral del área basal (G) y del + Valor del Umbral para el porcentaje de heliófitas efímeras (HE) según la normativa vigente.

El análisis de los indicadores es concordante con el Estándar de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques Naturales para justificar un aprovechamiento menor a los 15 años. La comparación del recambio de la composición florística comercial antes y después del aprovechamiento, aunado al cumplimiento del valor de referencia mínimo de área basal y del valor de referencia máximo de especies heliófitas efímeras presentan la evidencia empírica para sugerir un ciclo de corta de 13 años, dos años menor al ciclo de corta normativo que corresponde a los 15 años.

### 3.2 Supuestos para alcanzar el bosque normal

En el **Cuadro 3**, se muestra los supuestos necesarios para lograr el bosque ideal. Los supuestos planteados son concordantes con los ideales que busca el MFS. En primera instancia, se busca mantener el máximo crecimiento posible de los árboles por medio de dos intervenciones silviculturales; una primera intervención a los 4 años después del aprovechamiento la que producirá una cosecha de  $1,38 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y a los 8 años, una segunda intervención que genera  $1,18 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Con estas intervenciones se busca reducir la competencia entre los individuos, logrando que las especies

de maderas semiduras con un  $DAP \geq 50$  produzcan  $0,295 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . En segunda instancia, se trata de mantener la estructura disetánea del bosque, para lo que plantean los umbrales de referencia máximos a la edad de 13 años después de realizado el aprovechamiento. En este sentido, el porcentaje de heliófitas efímeras es de 2,23 % que se encuentra por debajo del  $VRM_x$  (HE) de 15 %; el área basal es de  $15,13 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  que se encuentra por encima de  $VRM_n$  (G) de  $11,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Complementariamente, la similitud de especies comerciales utilizando el índice de similitud de Chao-Jaccard debe ser  $\geq 85$  %.

**Cuadro 3.** Supuestos productivos del bosque normal y referencias ecológicas permisibles de producción.

<b>Incremento máximo potencial (<math>\text{m}^3 \cdot \text{arb}^{-1} / \text{año}</math>) por tipo de madera</b>		
Dura		0,217
Semidura	$DAP \geq 50 \text{ cm}$	0,295
Suave		0,358
<b>Intervenciones silviculturales y cosecha (<math>\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}</math>)</b>		
Año	4	1,38
Año	8	1,18
Año	13	16,85
<b>Valor Máximo de Referencia según umbral permitido</b>		
Similitud de especies comerciales	$DAP \geq 10 \text{ cm}$	> 85%
Valor de referencia mínimo (AB)	$DAP \geq 30 \text{ cm}$	$11,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$
Valor de referencia máximo (HE)	$DAP \geq 10 \text{ cm}$	< 15%

### 3.3 Propuesta de manejo para la producción del bosque normal

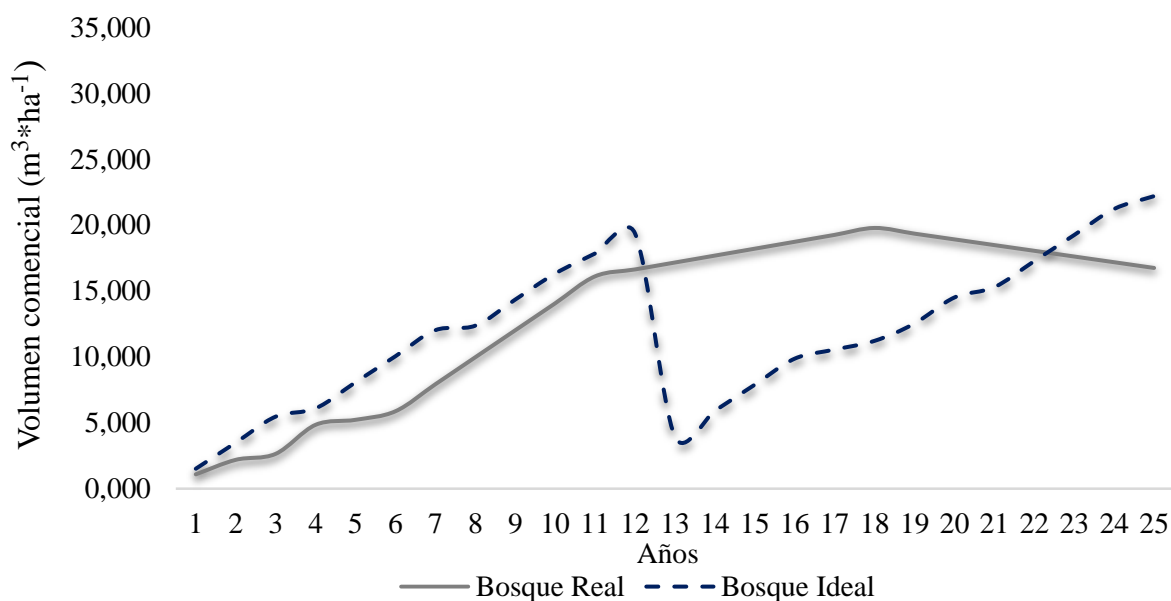
Se idealizó un incremento volumétrico máximo constante según la dureza de la madera. La propuesta silvicultural busca mantener constante el potencial máximo de crecimiento de los árboles. Por medio de una intervención oportuna, se proponen dos intervenciones silviculturales, una a la edad de 4 años y la otra a los 8 años; ambas se buscan que se han comerciales. Estas intervenciones corresponden a la corta de  $2 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$  (en cada caso) de especies heliófilas efímeras con valor comercial. Además una cosecha a los 13 años después del primer aprovechamiento, que corresponde a unos  $6 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$  representando  $16,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (**Cuadro 4**).

**Cuadro 4.** Propuesta de manejo silvicultural para la producción del bosque normal en la Región Huetar Norte, Costa Rica.

Edad	Masa remanente antes de la intervención (DAP $\geq$ 50 cm)			Masa remanente cosechada (Intervención silvicultural)			Masa remanente después de la intervención (DAP $\geq$ 50 cm)		
	Años	arb*ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> *ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> *ha <sup>-1</sup>	arb*ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> *ha <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> *ha <sup>-1</sup>	arb*ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> *ha <sup>-1</sup>
1	6	1,524	0,144	0	0	0	6	1,524	0,144
2	7	3,500	0,337	0	0	0	7	3,500	0,337
3	7	5,476	0,494	0	0	0	7	5,476	0,494
4	8	7,453	0,553	2	1,348	0,152	6	6,104	0,401
5	9	8,081	0,698	0	0	0	9	8,081	0,698
6	9	10,057	0,927	0	0	0	9	10,057	0,927
7	8	12,033	1,157	0	0	0	8	12,033	1,157
8	8	13,557	1,322	2	1,179	0,137	6	12,378	1,186
9	8	14,354	1,341	0	0	0	8	14,354	1,341
10	9	16,330	1,403	0	0	0	9	16,330	1,403
11	9	17,854	1,694	0	0	0	9	17,854	1,694
12	9	19,378	1,848	0	0	0	9	19,378	1,848
13	9	20,901	1,918	6	16,955	1,513	3	3,946	0,405
14	3	5,922	0,665	0	0	0	3	5,922	0,665
15	4	7,899	0,855	0	0	0	4	7,899	0,855
16	5	9,875	1,063	0	0	0	5	9,875	1,063
17	6	10,564	1,066	2	1,288	0,149	4	9,276	0,918
18	5	11,223	0,818	0	0	0	5	11,223	0,818
19	6	12,540	0,970	0	0	0	6	12,540	0,970
20	7	14,516	1,325	0	0	0	7	14,516	1,325
21	7	16,493	1,580	2	1,192	0,201	5	15,300	1,379
22	5	17,277	1,633	0	0	0	5	17,277	1,633
23	6	19,253	1,888	0	0	0	6	19,253	1,888
24	7	21,229	2,043	0	0	0	7	21,229	2,043
25	8	23,206	2,198	0	0	0	8	23,206	2,198

### 3.4 Comparación volumen disponible del bosque normal (BN) y bosque real (BR)

En la **Figura 2** se observa la comparación del volumen disponible para los individuos que cumplen el diámetro mínimo de corta para la siguiente cosecha. Los datos idealizados en el BN presentan una diferencia promedio de 0,52 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup> mayor en el incremento corriente anual del volumen al compararlo con los datos del volumen del BR.



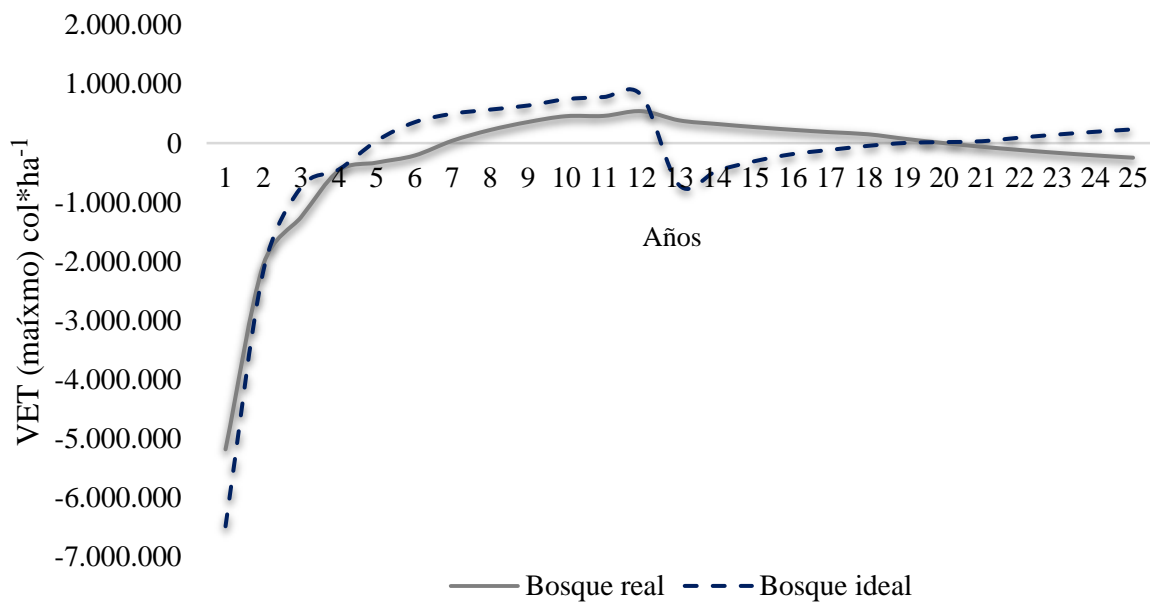
**Figura 11.** Comparación del incremento del volumen comercial disponible del bosque real y el bosque normal. Región Huetar Norte, Costa Rica.

La curva en el BN se encuentra siempre por encima de la BR en los primeros 13 años (después de realizado el aprovechamiento). Esto, a pesar de que se realizan dos intervenciones silviculturales (a los 4 y 8 años), los mismos se notan en los picos decrecientes que se observan en la curva del BN. El pico decreciente máximo se observa a la edad de los 13 años que es concordante con el segundo aprovechamiento en el caso del BN; se evidencia que hasta el aprovechamiento en ningún momento la curva del BR supera la curva del BN.

Seguidamente, la curva del BN presenta una pendiente pronunciada que se mantiene durante los 12 años posteriores a la segunda cosecha. Caso contrario, se observa que la curva del BR después del año 13 empieza a presentar una forma más plana, lo que significa crecimientos menores de los árboles como producto de una mayor competencia. Estas diferencias que observan entre las curvas justifican la realización de intervenciones más seguidas en el bosque y con esto promover el crecimiento de los árboles.

### 3.5 Rentabilidad del bosque normal y bosque real

La **Figura 3** muestra la rentabilidad según el VET ( $\text{col*ha}^{-1}$ ) a lo largo de un periodo de 25 años a partir de la cosecha forestal. El BR alcanza el máximo en el año 12 con ingresos de  $372.526 \text{ col*ha}^{-1}$ , en el caso del BN el máximo VET se alcanza en el año 12 obteniendo  $669.324 \text{ col*ha}^{-1}$ , lo que significa una diferencia de  $371.856,68 \text{ col*ha}^{-1}$ . Complementariamente, en la **Figura 3** muestra que el BN normal empieza a obtener rentabilidad positiva a partir del año 4, producto de la primera intervención, mientras el BR empieza a tener renta positiva al año 7. Para el caso del BN las intervenciones en el año 4 y 8 pueden generar ingresos en promedio de  $184.873 \text{ col*ha}^{-1}$ . Los que vienen a mejorar el flujo de caja en el MFS.



**Figura 12.** Rentabilidad del bosque real y bosque normal al mantener al bosque creciendo a su máximo potencial a lo largo del periodo de medición.

### 3.6 Determinación de los ciclos de corta para el bosque normal y el bosque real

En términos generales, lo mostrado en el cálculo de los ciclos de corta del BN y el BR se presenta antes del ciclo de corta normativo (CCN) (**Cuadro 5**). El CCF, para ambos casos se da a los 12 años, esto es 3 años antes del CCN. Para el caso del CCB el BN es capaz de alcanzarlo a la edad de 9 años, y el BR logra a los 10 años., En términos de rentabilidad, el CCF presenta el máximo VET en comparación a los CCB y CCN, esto para ambos casos. En el BN el CCF representa un 23 % más rentable que el CCN; y en el BR el CCF significa un 17 % más que la rentabilidad que genera el CCN, con un una diferencia de tres años para cada caso.

**Cuadro 5.** Valor esperado de la tierra para los ciclos de corta biológico, financiero y normativo para el bosque normal y el bosque real.

	Ciclos de corta		
	Biológico (CCB)	Normativo (CCN)	Financiero (CCF)
Bosque Normal (años)	9	15	12
<b>VET (C\$*ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>431.209</b>	<b>545.541</b>	<b>669.840</b>
Bosque Real (años)	10	15	12
<b>VET (C\$*ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>305.769</b>	<b>273.288</b>	<b>386.769</b>

#### 4. Discusión

La determinación de un ciclo de corta menor a 15 años surge como una posibilidad real y viable para los dueños de bosques naturales, esto para mejorar la productividad y la demanda actual del recurso, sin que comprometa la provisión de bienes, servicios y cumpla el marco normativo vigente. La similitud de especies comerciales indica la variación de las especies de valor comercial después del aprovechamiento a lo largo del tiempo, el **Cuadro 1** indica la secuencia de esta variación demostrando una disminución del 12 % al año 11 de las especies comerciales (DAP > 10 cm), Finegan, Delgado, Zamora y Mier (1997) mostraron disminución en la similitud de las especies del 7 %, 5 años después del aprovechamiento, Wagner (2010) indica cambios en la similitud florística 14 años después en áreas intervenidas (claros de corta y caminos) del 22 % ambos casos en bosques húmedos en el noreste de Costa Rica; diferencias mayores al 25 % de similitud indicarían significancia negativa.

Los dos indicadores restantes para ejecutar el ciclo de corta menor a 15 años son los que determinan si un bosque puede ser aprovechado. La capacidad de carga del sitio se ve reflejado por el área basal de referencia, si el valor de área basal se encuentra por debajo del valor de referencia mínimo, indicaría un sitio degradado que no logro recuperarse de las intervenciones anteriores, (Louman, Quirós, Nilsson, 2001). En este caso, los datos señalan que el bosque nunca estuvo por debajo del valor de referencia mínimo (**Cuadro 2**). El aprovechamiento de bajo impacto es fundamental en cómo se van a generar claros en el bosque; claros de mayor tamaño tienen un rol importante en el establecimiento de la regeneración natural (Calderón, 2013), por lo tanto en el establecimiento de especies heliófitas efímeras. Así, en bosques manejados del atlántico norte se presentan porcentajes que van del 2 al 5 % de especies heliófitas efímeras (Delgado, 1997) similar a lo mostrado en el **Cuadro 2**.

La modelación del BN se realizó para expresar una forma de manejo idealizada que incremente de manera realista y sostenida la producción de madera. Con el fin de reflejar la dinamización en el bosque, se propone en el **Cuadro 3** los supuestos de crecimiento según la dureza de la madera que mejorarían la producción, estos incrementos concuerdan con incrementos máximos según la dureza de la madera (Finegan y Camacho, 1998). El crecimiento máximo se sostiene por medio de dos intervenciones intermedias, al año 4 y al año 8, respectivamente. Tienen como objetivo dinamizar el bosque reduciendo la competencia de manera controlada. En este sentido, Finegan y Sabogal (1988) recomiendan la ejecución de intervenciones silviculturales a los 4 años después del aprovechamiento como forma de respuesta para dinamizar la producción.

En el **Cuadro 4** se muestra la tabla de producción del BN la cual simula el crecimiento durante 25 años e incluye la extracción silvicultural de al menos 2 arb\*ha<sup>-1</sup> en el año 4 y en el año 8 dentro de un ciclo de corta de 13 años, esta propuesta pretende exponer el crecimiento del bosque a su máximo potencial, mediante intervenciones en años estratégicos dentro del ciclo de corta, con la finalidad de generar la mayor producción comercial posible mientras se generan ingresos a los productores.

Comparando bosques manejados en la misma región (Zúñiga, 2018) con áreas similares de aprovechamiento la propuesta del BN presenta un 18 % más de volumen comercial disponible al momento de la cosecha. La comparación se evidencia en la **Figura 1**, donde se muestra que el

volumen disponible del BR en comparación con el BN, representó en el año doce un 14,3 % menos de producción. Por consiguiente, en el caso del BN refleja una mayor rentabilidad en el ciclo de corta si se compara con el BR. En este sentido, en la **Figura 2** se muestran las curvas de rentabilidad según el VET, el BN empieza mostrar rentabilidad positiva en el año 5 mientras el BR dos años más tarde. La premisa de la realización de los tratamientos es que mientras se dinamiza el bosque y se potencializa el crecimiento de otras especies se puedan generar ganancias que costeen los mismos tratamientos mediante la extracción de árboles de rápido crecimiento como *Vochysia ferruginea* y *Couma macrocarpa*.

Analizando las cifras económicas del **Cuadro 5** el BN presenta mayor rentabilidad en los tres ciclos de corta analizados, para el ciclo de corta financiero el VET presenta un 53,5 % más rentabilidad cumpliéndose ambas en el año 12, lo mismo sucede en el ciclo de corta normativo donde la rentabilidad del BN duplica la del BR, en bosques manejados de la región la rentabilidad por hectárea varía entre los ₡ 180.000 y los ₡ 320.000 por ha (Zúñiga, 2018).

Actualmente, en Costa Rica los dueños de bosques manejados logran obtener una renta muy reducida por el uso del suelo con cobertura forestal en comparación con cualquier otro uso del suelo (agricultura, ganadería, urbanístico, turístico, etc.). Se reconocen una serie de aspectos críticos que limitan el crecimiento y el desarrollo de la actividad forestal, que se traducen en una desvalorización del bosque y del resto de ecosistemas forestales. Para contrarrestar esto, al aumentar la productividad y disminuir el tiempo entre los ciclos de corta son alternativas para aumentar la rentabilidad del MFS. En este sentido, la ejecución de tratamientos silviculturales demuestra beneficios productivos. Sin embargo, se necesita generar más evidencia empírica para demostrar cómo sería la reacción del crecimiento del bosque cuando es intervenido más de una vez en periodos cortos de cada 4 años.

## 5. Conclusiones

El análisis de los valores observados para las referencias ecológicas permisibles de producción en el Bosque Real (**BR**) en la idealización del Bosque Normal (**BN**), demuestran que se cumple con las condiciones normativas, ecológicas y financieras para ser aprovechados antes del ciclo de corta normativo de 15 años.

Los supuestos de crecimiento buscan mantener el bosque creciendo a su máximo potencial según lo definido como el **BN**. La propuesta de manejo del **BN** se enfoca en la realización de dos tratamientos silviculturales a los años 4 y 8, que buscan disminuir la competencia de los árboles dirigidos a mejorar el crecimiento de las especies con mayor valor comercial (madera semidura), estas intervenciones incluyen la extracción de árboles de especies heliófitas efímeras comerciales que mejoren el flujo de caja y aligeren los costos de los tratamientos.

Según la propuesta de manejo para el **BN** se produciría entre un 13 y 15 % más de volumen comercial disponible al compararlo con lo producido en el **BR**, esto se refleja en un aumento en la rentabilidad del **BN** para cada uno de los tres ciclos de corta analizados.

La idealización del bosque y el manejo silvicultural propuesto pretende cambiar un paradigma en el manejo del bosque donde intervenciones entre los ciclos de corta aumenten la rentabilidad, generar investigación en tratamientos más intensivos que mantengan el bosque creciendo a su máximo potencial permitiría demostrar una mejora en el aspecto productivo y financiero sin que afecta la sostenibilidad del manejo.

La ejecución de dos tratamientos silviculturales en un ciclo de corta de 15 años cada cuatro años, sugiere beneficios productivos. Sin embargo, se necesita generar más evidencia empírica para demostrar cómo sería la reacción del crecimiento del bosque cuando es intervenido más de una vez en un ciclo de corta, en periodos cortos de cada 4 años.

## 6. Referencias

- Abarca, P; Meza, V y Méndez, J. (2020). Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sc)*. 54(1): 140-16.
- Briscoe, C.B., (1968). Medición del Crecimiento de los Arboles en los Bosques Tropicales. División de investigación en selvicultura instituto de dasonomía tropical. VOL 2 No.1.1962
- Calderón, C. (2013). *Evaluación del tamaño de los claros producidos por el aprovechamiento forestal en la comunidad nativa Santa Mercedes, rio Putumayo, Perú*. (Tesis de licenciatura) Facultad de ciencias forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- 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+)
- Clutter J., Fortson, J. Pienaar, L., Brister, G., Bailey, R. (1983). Timber management: a quantitative approach. Chapter 9. Forest-level management planning: basic concepts: 238: 271. Recuperado de: [http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/12885/mod\\_resource/content/2/clutter\\_capitulo\\_9.pdf](http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/12885/mod_resource/content/2/clutter_capitulo_9.pdf)
- Decreto n.º 30763, 2002. Principios, criterios e indicadores (PCI) de manejo sostenible para bosque natural. Diario Oficial La Gaceta. Costa Rica. 9 Oct.
- 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
- Finegan, B., Sabogal, C. (1988). El desarrollo de sistemas de sistemas de producción sostenible en bosques tropicales húmedos de bajura un estudio de caso en Costa Rica. (Parte 2). *El Chasqui*, no 18: 16-24.
- Finegan, B., Camacho, M. (1998). Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rica rain forest, 1988-1996. *Forest ecology and management*.
- Fredericksen, T. (2004). 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>

- Holdridge, L.R. (1977). *Ecología basada en zonas de vida*. Jiménez Saa, H (trad.). San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Klaus, J., Puettmann, K., Coates, D., Messier, C. (2006). *Critica de la silvicultura. El manejo de la complejidad*. Madrid, España. Asociación cultural y científica iberoamericana. Recuperado de: [https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/1-puettmann-et-al-2016\\_criticas-a-la-silvicultura.pdf](https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/1-puettmann-et-al-2016_criticas-a-la-silvicultura.pdf)
- 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.
- Montes, C. (2014). La silvicultura como elemento crítico para la sostenibilidad y el manejo del bosque. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, Volumen 5 Número 1. Recuperado de: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-LaSilviculturaComoElementoCriticoParaLaSostenibili-5344970.pdf>
- Navarro, G., Bermúdez, G. (2006). Rentabilidad del manejo de bosques naturales y su competitividad respecto a otros usos de la tierra en Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza División de Investigación y Desarrollo Turrialba, Costa Rica.
- Navarro, G., Vieto, R., Bermúdez, G. (2006). Costos de acceso a la legalidad, cadenas y actores de mercado de la madera legal e ilegal en Costa Rica. Informe de consultoría, Proyecto de Fortalecimiento Institucional para la Ejecución de la Estrategia Nacional de Control de la Tala Ilegal de Recursos Forestales en Costa Rica. Recuperado de: <http://www.fao.org/forestry/12925-0876f8fe8d9a597707a654029b82a818a.pdf>
- Navarro, G., Vieto, R., 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. Informe de consultoría, Proyecto de Fortalecimiento Institucional para la Ejecución de la Estrategia Nacional de Control de la Tala Ilegal de Recursos Forestales en Costa Rica. Recuperado de: <http://www.fao.org/forestry/12924-05025d5e690b91036419c00100747b1cb.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). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- 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. Eschborn República Federal de Alemania.