

PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN

ESCUELA DE POSGRADUADOS

Estudio de condiciones para nuevas cosechas en bosques naturales en la zona Norte de Costa Rica

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo y Conservación
de Bosques Tropicales y Biodiversidad

Por

Teresa Alfaro Reyna

Turrialba, Costa Rica, 2006

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

***Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad**

FIRMANTES:

Bryan Finegan, Ph.D
Consejero Principal

Bastiaan Louman M.Sc.
Miembro del Comité Consejero

Diego Delgado, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero

German Obando, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero

Guillermo Navarro, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero

Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado

Teresa Alfaro Reyna
Candidata

DEDICATORIA

En especial para mis padres *Ambrosio y Nicolasa*, por el inmenso amor que nos han inculcado; así como el respeto y amor a esas pequeñas cosas que hacen que la vida tome sentido.

Con cariño para mis hermanos Lili, Isa, Alme, Gusi, Yito, gordis, lachos y mi adorado e incomparable Chinito, y mis enanos, todos con su apoyo y amor me dan fuerzas para salir adelante con todo lo que emprendo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me apoyaron de alguna u otra manera para la elaboración y desarrollo de este trabajo de tesis.

Al Ing. Mauricio Salazar, presidente municipal de Santander Jiménez por el apoyo recibido durante el 2005 y de manera muy especial a la Fundación Cordillera Volcánica Central por el apoyo recibido para la remediación de las parcelas Corinto y en especial a German Obando y Andrés Sanchun.

De manera especial a los miembros del comité: Bastiaan, Bryan, Diego, German y Guillermo por sus valiosas aportaciones y de manera especial a Fernando Carrera y David Quirós que apoyaron desinteresadamente en la elaboración de este trabajo.

A Edwin Pereira por el apoyo en campo al igual que para Marvin y especialmente a Hugo Brenes por su colaboración con el manejo de la base de datos. A Rogér Villalobos y Víctor Meza Picado, por su colaboración desinteresada y apoyo en el taller realizado.

Con cariño agradezco a mis amigos por hacer la vida más agradable en el catie. En especial para mí amiga Lindsay Canet que siempre teníamos algo más interesante que discutir que las clases (la inmortalidad del cangrejo, por dar un ejemplo.....) y para el Dr. Finegan que nos seguía la corriente en todo y nos enseñó que detrás de una cara seria hay un gran corazón.

Al Ferny que aparte de todas las vicisitudes de la vida tuvo que bancarse al clan de las brujas y anexos.

Yese, Cami, Dalía, Pedrito y Wilson, que me han hecho valorar a los amigos y pensar en su país como un segundo hogar.

¡¡Gracias!!

Que quede asentado que existe un perro de adorables orejas que se llama mechas, que anda errante por la vida con su rabo al hombro y un par de pulgas, y que con tan solo un poco de cariño es todo lo que necesita para vivir.....porque el resto es vanidad....

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	IX
SUMMARY.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
LISTA DE UNIDADES ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XIX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.1.3 PREGUNTAS CLAVE.....	2
2. MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.1 MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE	4
2.1.1 CONCEPTOS.....	4
2.1.2 BASES ECOLÓGICAS PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MADERA	4
2.1.3 IMPACTOS DEL MANEJO FORESTAL.....	6
2.1.4 MARCO LEGAL EN COSTA RICA PARA EL APROVECHAMIENTO FORESTAL	7
2.1.5 ESTÁNDARES DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE.....	8
2.1.6 MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EN COSTA RICA	9
2.1.7 CRITERIOS SILVICULTURALES	11
2.1.8 SEGUNDAS COSECHAS.....	12
3. BIBLIOGRAFÍA	14
ARTÍCULO I. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN BOSQUES HÚMEDOS A TRAVÉS DE INDICADORES ECOLÓGICOS	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
2.1 GENERALIDADES.....	19
2.2 TOPOGRAFÍA.....	19
2.3 CLIMA Y SUELO.....	20
2.4 VEGETACIÓN.....	20

3. METODOLOGÍA	21
3.1 DESCRIPCIÓN DE SITIOS Y DISEÑO DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO	21
3.2 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN Y MANEJO DE LOS BOSQUES ESTUDIADOS	23
3.2.1 GENERALIDADES	23
3.2.2 MEDICIONES	27
3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	28
3.3.1 CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN Y DINÁMICA POR BOSQUE	28
3.3.1.1 ESTRUCTURA DEL BOSQUE	28
3.3.1.2 ANÁLISIS DE INCREMENTO DE ÁREA BASAL	29
3.3.1.3 MORTALIDAD Y RECLUTAMIENTO	30
3.3.1.4 COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	30
3. RESULTADOS	32
3.1. CAMBIOS EN LA DINÁMICA ESTRUCTURAL DEL BOSQUE.....	32
3.1.1 MORTALIDAD Y RECLUTAMIENTO	32
3.1.2 CAMBIOS EN DENSIDAD DE ÁRBOLES Y ÁREA BASAL POR GRUPOS DE RODAL COMPLETO, ÁRBOLES COMERCIALES, DE FUTURA COSECHA Y SEGUNDA COSECHA POR BOSQUE	37
3.1.2.2 BOSQUES CON APROVECHAMIENTO CON FINES DE INVESTIGACIÓN	37
3.1.2.3 BOSQUES CON APROVECHAMIENTO CON FINES COMERCIALES	59
3.1.3 CRECIMIENTO DE ÁRBOLES DE FUTURA COSECHA.....	68
3.1.4 CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA.....	68
4. DISCUSIÓN.....	75
4.1 CAMBIOS EN ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA EN BOSQUES CON FINES DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	75
4.2 CAMBIOS EN ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA EN BOSQUES CON FINES DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	77
4.1 CAMBIOS EN COMPOSICIÓN FLORÍSTICA POR BOSQUE	77
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6. BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS	86
ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS SEIS SITIOS DE ESTUDIO DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA.....	86
ARTÍCULO II. CAMBIOS EN LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE UN BOSQUE: LA APLICACIÓN DE LA GUÍA DE MONITOREO ECOLÓGICO EN BOSQUES APROVECHADOS DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA.....	87
1. INTRODUCCIÓN.....	87
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	89

2.1 TOPOGRAFÍA	89
2.2 CLIMA Y SUELO	90
2.2 VEGETACIÓN.....	90
2.2 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LOS SITIOS DE ESTUDIO	91
3. METODOLOGÍA	92
3.1 GENERALIDADES	92
3.2 DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO.....	92
3.3 BOSQUES DE REFERENCIA	94
3.4 ESTABLECIMIENTO DE UMBRALES.....	95
3.3 SELECCIÓN DE UN ACTIVADOR	96
4. RESULTADOS	97
4.1 DENSIDAD Y ÁREA BASAL	97
4.2 APERTURA DEL DOSEL	99
4.3 ESTRUCTURA VERTICAL DEL BOSQUE	100
4.4. PALMAS	107
5. DISCUSIÓN	108
5.1. IMPACTOS EN DENSIDAD Y ÁREA BASAL	108
5.2. IMPACTOS EN APERTURA DEL DOSEL Y ESTRUCTURA VERTICAL	109
5.3. IMPACTOS EN DENSIDAD DE PALMAS	110
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
7. BIBLIOGRAFÍA.....	112
ARTÍCULO III. EVALUACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS BOSQUES ESTUDIADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTADÍSTICO Y ECOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE SER SOMETIDO A UNA NUEVA COSECHA.....	115
1. INTRODUCCIÓN.....	115
2. METODOLOGÍA	116
2.1 GENERALIDADES	116
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	121
3.2. RESULTADOS DEL TALLER DE GRUPO DE EXPERTOS	121
3.1. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA	122
6. BIBLIOGRAFÍA.....	127
ANEXO	128
ANEXO 1. LISTA DE PARTICIPANTES DEL TALLER DE ANÁLISIS MULTICRITERIO DE LAS VARIABLES UTILIZADAS, SAN JOSÉ, COSTA RICA.....	128

ANEXO 2. FORMULARIO 1 EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS PARA CADA VARIABLE UTILIZADA (INDIVIDUAL)..	129
ANEXO 3 FORMULARIO 2. EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA PARA CADA VARIABLE UTILIZADA (INDIVIDUAL)	
.....	130
NOTA: SI NO SE INCLUYE NO TIENE VALOR DE PONDERACIÓN.....	130
ANEXO 4 FORMULARIO 3. SELECCIÓN DE UMBRALES PARA BOSQUES APROVECHADOS (EN GRUPO)	131
ANEXO 5. RESUMEN DE DATOS ESTADÍSTICOS DE DOS BOSQUES APROVECHADOS EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA.	132
ANEXO 6 EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS ESENCIALES DE LOS INDICADORES UTILIZADOS COMO VARIABLES EN EL ESTUDIO EN SEIS BOSQUES APROVECHADOS DEL NORTE DE COSTA RICA. CUADROS SEÑALADOS EN GRIS, SON LOS ATRIBUTOS CON MÁXIMO VALOR OBTENIDO.....	134

RESUMEN

Alfaro Reyna Teresa. 2006. Estudio de condiciones para nuevas cosechas en bosques naturales en la zona Norte de Costa Rica

Palabras clave: Manejo forestal, segunda cosecha, ppm, dinámica, índice de integridad ecológica

Se evaluaron las condiciones para segundas cosechas en bosques naturales aprovechados en la zona Norte de Costa Rica. El objetivo general era contribuir con elementos ecológicos al proceso de toma de decisiones sobre segundas cosechas en bosques naturales en Costa Rica. Específicamente, se pretendió determinar el impacto de diferentes regímenes de manejo forestal en la estructura, composición y dinámica de bosques muy húmedos tropicales de la Zona Norte de Costa Rica, determinar si el grado de impacto causado por el aprovechamiento forestal es aceptable o no de acuerdo a la evaluación de indicadores claves, e integrar y evaluar la información generada para determinar si los bosques de estudio, desde el punto de vista ecológico, pueden ser sometidos a una segunda cosecha.

El estudio se realizó en seis bosques con Plan de Manejo Forestal y, parcelas permanentes de muestreo que hubiesen concluido o estuvieran por concluir el ciclo de corta; todos los sitios fueron ubicados dentro de la zona de vida de Holdridge de bosque muy húmedo tropical, sobre suelos Ultisoles e Inceptisoles con topografía sinuosa de formas irregulares. A su vez estos bosques fueron divididos en dos categorías: Bosques de investigación científica a largo plazo y bosques con manejo forestal con fines comerciales. El estudio abarcó 19 parcelas en total; 15 de 1 ha de 100 m x 100 m instaladas en los bosques de investigación y, cuatro parcelas de 1 ha: 2 parcelas de 100 m x 100 m y las 2 más con una distribución en fajas en carriles de muestreo preliminar, en bosques con manejo comercial. Las primeras 15 fueron intervenidas en 1990 y 1992, dándole un seguimiento a través de mediciones realizadas por personal del CATIE. Las cuatro restantes son manejadas por FUNDECOR y fueron aprovechados en 1995

Se midieron todos los árboles, palmas y lianas >10 cm de dap encontrados dentro de las parcelas. Se utilizaron datos de mediciones de las parcelas completas utilizadas en cada uno de los bosques. Se analizaron datos a nivel de rodal completo, tanto como en el grupo de especies comerciales, el de especies de futura cosecha y el de segunda cosecha. Las variables de

respuesta que se utilizaron fueron número de árboles total y por clase diamétrica, área basal total y por clase diamétrica, composición florística y densidad de palmas fueron medidas en los bosques con fines de investigación. Las variables de apertura del dosel, estructura vertical fueron medidas en los seis bosques en parcelas temporales de 10 m x 10 m con un densiómetro esférico dirigidas hacia cada uno de los puntos cardinales, tomando el promedio de las cuatro mediciones. De igual manera se estimó el porcentaje de cobertura dividido en estratos 1) 0-2 m, 2-9 m, 10-20 m, 20-30 m, >30 m utilizando una escala de 0 a 3. De estas mediciones se obtuvo el promedio para cada uno de los estratos por bosque y el promedio de la cobertura del follaje en cada estrato.

Los resultados de esta investigación indican que los bosques de investigación a largo plazo sufrieron modificaciones después del aprovechamiento forestal y la aplicación del tratamiento silvicultural en número de árboles, área basal, composición florística pero a 12 y 13 años de aprovechados la mayoría de estos impactos han sido recuperados y en algunos casos sobrepasando el número inicial como es el caso del número de árboles. Sin embargo, estos resultados dependieron de la intensidad del aprovechamiento y de la aplicación de tratamientos silviculturales.

En los seis bosques se mostraron cambios utilizando el enfoque de la guía de monitoreo en número de árboles, área basal, apertura del dosel y estructura vertical, utilizando como indicador de impacto el umbral de cambio bajo. Sin embargo algunos de estos cambios fueron recuperados o no se lograron medir por la alta variabilidad de los bosques.

Utilizando un índice de integridad ecológica con un enfoque estadístico, los dos bosques con fines científicos están preparados para una segunda intervención. Sin embargo al utilizar la guía de monitoreo en uno de los tratamientos no estaría preparado y esto es por no recuperar el área basal total. En términos generales, estos resultados sugieren que los bosques de la zona de estudio, desde el punto de vista ecológico, pueden estar en condiciones para una segunda cosecha a 12 y 13 años después de la primera intervención, siempre que no se haya aplicado tratamiento silvicultural.

SUMMARY

Alfaro Reyna Teresa. 2006. Study of conditions for further harvests in natural forests in the Northern Zone of Costa Rica.

Key words: forest management, second harvest, psp, dynamics, index of ecological integrity

Conditions for second harvests were evaluated in logged natural forests in Costa Rica's Northern Zone. The general objective was to contribute ecological elements to the decision-making process regarding second harvests in natural forests in the country. Specifically, I sought to determine the impact of different forest management regimes on the structure, composition and dynamics of tropical wet forest in the study area, determine if the degree of impact caused by forest management was unacceptable or acceptable using key indicators, and to integrate and evaluate the information generated to determine whether or not, from an ecological standpoint, the study forests should be subject to second harvests.

The study was carried out in six forests with forest management plans and permanent sample plots (psps) which had concluded or were about to conclude their felling cycles. All the sites were located in Holdridge's tropical wet forest life zone, soils were Ultisols and Inceptisols and topography irregular. The forests were divided into two categories: long-term scientific research forests and forest under commercial management. The study used data from 19 psps: 15 of 1.0 ha (100 m x 100 m) in the research forests and four in the managed forests, two of them of 100 m x 100 m and two made up of forest inventory transects. The research forests, in which plot data are managed by CATIE, were intervened in 1990 and 1992 and the managed forests were logged in 1995, under the responsibility of FUNDECOR.

All trees, palms and lianas >10 cm dbh found in the plots were measured. Data were analysed in different categories: whole stand, commercial species, potential crop species and harvestable individuals. Response variables were tree numbers, total and by diameter classes, total basal area and basal area distributed in diameter classes, floristic composition and density of palms. Canopy openness and forest vertical structure were evaluated in 10 m x 10 m temporary plots, using a spherical densiometer in the first case and taking the mean of measurements at the four cardinal points. Vertical structure was estimated subjectively in the following height strata: 1) 0-2 m, 2-9 m,

10-20 m, 20-30 m, >30 m using a scale of 0, 1, 2 and 3 when cover in the stratum was estimated at 00%, 1-33%, 34-66% and 67-100% respectively. From these measurements mean canopy cover per stratum was obtained for each forest.

Results showed that the research forests suffered changes in tree number, basal area and floristic composition following logging and silvicultural treatment, but that 12 and 13 years later differences between logged and treated areas and reference plots were no longer significant, and that variables such as tree number showed higher means than originally. The exact patterns of response depend, however, on the intensity of logging and the silvicultural treatment.

Across forests, changes due to management were shown using the monitoring guide approach in the variables tree number, basal area, canopy openness and vertical structure, applying a low change threshold for evaluation. Some variables could not be evaluated because of high variability and in many cases showed the forest to have recovered.

Using an Index of Ecological Integrity with a statistical approach, it was concluded that the two research forests were sufficiently recovered, from the ecological point of view, for a second harvest to take place. However, the monitoring guide approach suggested that in one management regime, harvesting should not take place because of the lack of recovery of total basal area. Overall, the results suggest that from the ecological point of view, forests with selective logging in the study area may be ready for a second harvest 12-13 yr following the previous one, but that silvicultural treatments of the type used may require longer recovery periods.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Área total m ² de los carriles (PPM) ubicados en los bosques de Paniagua I y II.....	23
Cuadro 2.	Agrupación de árboles en grupos, y variables evaluadas en seis bosques del Norte de Costa Rica.	29
Cuadro 3.	Cambios en el número de árboles y área basal (>10 cm dap), durante 1992-2006, para los tres tratamientos en un área total de 9 ha en el bosque de Corinto, Costa Rica. A=árboles aprovechados.	33
Cuadro 4.	Cambios en el número de árboles y área basal (>10 cm dap), en los tres tratamientos, durante 1992-2006, en un área total de 9 ha en el bosque de La Tirimbina, La Virgen, Costa Rica....	35
Cuadro 5.	Cambios en el número de árboles y área basal (>10 cm dap), en 1.0 ha en cuatro bosques manejados del Norte de Costa Rica.....	35
Cuadro 6.	Tasa anual de mortalidad natural (M%), de árboles >10 cm dap, (modelo de Lieberman y Lieberman 1987), desviación estándar (DE) y Población Inicial de árboles vivos (Ni), para dos bosques aprovechados por tratamiento. Prueba de Andeva.....	36
Cuadro 7.	Medias del número de árboles y área basal por hectárea, dap >10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, en el bosque Corinto, Costa Rica.....	38
Cuadro 8.	Medias del número de árboles y área basal de árboles comerciales ha ⁻¹ , dap >10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, en el bosque Corinto, Costa Rica.	42
Cuadro 9.	Medias del número de árboles (N ha ⁻¹) y área basal de árboles de futura cosecha, (G m ² ha ⁻¹) dap >10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, bosque Corinto, Costa Rica.....	45
Cuadro 10.	Medias del área basal m ² ha ⁻¹ , dap >10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, bosque La Tirimbina, Costa Rica.	49
Cuadro 11.	Medias del número de árboles y área basal de árboles comerciales ha ⁻¹ , dap >10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, para 3 mediciones, en 6 parcelas del bosque La Tirimbina, CR.....	53
Cuadro 12.	Medias del área basal de árboles de futura cosecha, G m ² ha ⁻¹ , dap >10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, bosque Tirimbina, Costa Rica.....	57
Cuadro 13.	Incrementos diamétricos de árboles de futura cosecha, dap >10 cm, de periodos completos en bosques aprovechados del Norte de Costa Rica.....	68
Cuadro 14.	Especies dominantes (dap > 10 cm), de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI) en 3 ha ⁻¹ por tratamiento antes del aprovechamiento (1992) y trece años de aprovechado (2006), por orden de tratamiento Testigo, Aprovechamiento y Liberación. Bosque Corinto, Costa Rica.	70

Cuadro 15.	Especies dominantes (dap > 10 cm), de acuerdo al índice de Valor de Importancia (IVI), en 3 ha-1 por tratamiento antes del aprovechamiento (1990) y a diez años de aprovechado (2003), por orden de tratamiento Aprovechamiento y luego Liberación. Bosque Tirimbina, Costa Rica	71
Cuadro 16.	Especies dominantes (dap > 10 cm), de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI), por 0.1 ha ⁻¹ por bosque primera y última medición (2003, 2004), por orden Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú. Cuatro bosques aprovechados del norte de Costa Rica.....	73
Cuadro 17.	Cambios de composición florística a través del uso del el índice de similaridad de Chao-Jaccard según Chao <i>et al.</i> (2005) en dos bosques de la zona Norte de Costa Rica. *= Significa cambio significativo en composición florística.....	74

ARTÍCULO II

Cuadro 1.	Datos de las áreas de cuatro bosques con fines comerciales y número de parcelas temporales establecidas en 4 bosques del Norte de Costa Rica.....	94
Cuadro 2.	Resumen de cambios en las variables número de árboles, área basal, palmas, en el bosque de Corinto y La Tirimbina, Costa Rica. Cuadros rellenos con negro, indican un cambio inaceptable, cuadros rellenos con trama hubo un cambio que se recuperó y cuadros sin relleno, indican ausencia de cambios.	109
Cuadro 3.	Cambios en las variables apertura del dosel y cobertura del dosel en cuatro bosques del Norte de Costa Rica cuadros rellenos con negro, hubo un cambio inaceptable, cuadros sin relleno, no hubo cambios.	110

ARTÍCULO III

Cuadro 1.	Valoración de las variables obtenido a través de la evaluación de expertos.....	119
Cuadro 2.	Evaluación de las variables utilizando el peso de la variable para cada indicador.	120
Cuadro 3.	Evaluación de variables por grupo dos bosques con tratamientos silviculturales en el Norte de Costa Rica, N.A. (no aplica).	122
Cuadro 4.	Cambios en base al índice de integridad ecológica para dos bosques con tratamientos silviculturales en el Norte de Costa Rica.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio en seis bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. Cada círculo indica ubicación de parcelas permanentes. 19
Figura 2.	Cambios en el tiempo de medias del número a) Muertos Naturales y b) Reclutas en el bosque de Corinto, zona Norte de Costa Rica. Letras distintas significan diferencias. Andeva seguida LSD Fisher..... 33
Figura 3.	Cambios en el tiempo de medias del número a) Muertos Naturales y b) Reclutas en el bosque de La Tirimbina, zona Norte de Costa Rica. Letras distintas significan diferencias. Prueba de t de student..... 34
Figura 4.	Cambios en el tiempo de medias del número de árboles $N \text{ ha}^{-1}$ y área basal $G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ por clase diamétrica y desviación estándar. a) N Testigo, b) G Testigo, c) N Aprovechamiento, d) G Aprovechamiento, e) N Liberación, f) G Liberación, bosque Corinto, Costa Rica... 39
Figura 5.	a) Densidad de árboles total ($N \text{ ha}^{-1}$) y b) área basal total, ($G \text{ m}^2$) $\text{ha}^{-1} > 10 \text{ cm dap}$, desviación estándar para el periodo completo (1992-2006) del bosque Corinto. Letras diferentes significan diferencias significativas. ANDEVA y prueba de LSD de Fisher. 40
Figura 6.	Número de árboles comerciales por clases diamétricas ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} > 10 \text{ cm dap}$, desviación estándar. para los años 1992. 2000 y 2006 a) N, Testigo, b) G, Testigo, c) N, Aprovechamiento, d) G Aprovechamiento, e) N Liberación, f) G, Liberación, bosque Corinto, CR..... 43
Figura 7.	El número total de árboles comerciales ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} > 10 \text{ cm dap}$, + desviación estándar para el periodo de medición 1992-2006, a) Número de árboles, b) área basal, bosque Corinto, Costa Rica. Letras diferentes significan diferencias significativas. ANDEVA y prueba de LSD de Fisher. 44
Figura 8.	Número de árboles futura cosecha ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) de árboles de futura cosecha por categoría diamétrica, desviación estándar por clase diamétrica, a) Testigo b) Aprovechamiento c) Liberación, bosque de Corinto, Costa Rica. letras distintas significan diferencias. Prueba de t apareada. 46
Figura 9.	Medias del número total de árboles de futura cosecha $N (\text{ha}^{-1})$ y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) desviación estándar. a) Número de árboles b) Liberación. Bosque Corinto, Costa Rica. Prueba t de Student para muestras apareadas. Letras distintas significan diferencias. 47
Figura 10.	Medias del número de árboles de segunda cosecha $N \text{ ha}^{-1} > 60 \text{ cm dap}$ + error estándar para el bosque Corinto. Letras distintas significan diferencias significativas. Prueba de t apareada. 47
Figura 11.	Distribución de las medias por clase diamétrica + desviación estándar del área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) bosque La Tirimbina. Letras distintas indican diferencias significativas. Prueba de t de Student

	para muestras apareadas a) N Aprovechamiento b) G Aprovechamiento c) N Liberación d) G Liberación.	50
Figura 12.	Distribución del número de árboles total ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) $>10 \text{ cm dap}$, desviación estándar. a) Número de árboles b) Área basal. Bosque La Tirimbina, Costa Rica. Letras distintas significan diferencias. Prueba de t de Student para muestras independientes.	52
Figura 13.	Distribución del número de árboles ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) de especies comerciales por clase diamétrica + desviación estándar. a) N Aprovechamiento, b) G Aprovechamiento, c) N Liberación, d) G Liberación. Bosque La Tirimbina, Costa Rica. Prueba t de Student para muestras apareadas. Letras distintas significan diferencias. Entre años dentro de tratamientos.	54
Figura 14.	Distribución del número total de árboles comerciales ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) $>10 \text{ cm dap}$, + desviación estándar para el periodo de medición 1990-2003, a) Número de árboles, b) Área basal, bosque La Tirimbina, Costa Rica. Letras diferentes significan diferencias significativas. ANDEVA.	55
Figura 15.	Distribución del número de árboles de futura cosecha ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) de especies comerciales por clase diamétrica + desviación estándar. a) N Aprovechamiento, b) G Aprovechamiento, c) N Liberación, d) G Liberación. Bosque La Tirimbina, Costa Rica. Prueba t de Student para muestras apareadas. Letras distintas significan diferencias....	57
Figura 16.	Medias del número total de árboles de futura cosecha $N \text{ ha}^{-1}$ área basal total $G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ desviación estándar. a) Número de árboles b) Área basal. Bosque La Tirimbina, Costa Rica.	58
Figura 17.	Distribución de medias del a) número de árboles de Segunda cosecha ($N \text{ ha}^{-1}$) y b) área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) $> 60 \text{ cm dap}$ desviación estándar. Bosque La Tirimbina. Letras distintas significan diferencias significativas. Prueba de t apareada.	59
Figura 18.	Número de árboles y área basal total $> 10 \text{ cm dap}$ en 1 PPM de una ha. a) número total de árboles b) área basal total de cuatro bosques intervenidos del Norte de Costa Rica.	60
Figura 19.	Distribución del área basal $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ por clase diamétrica para bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. a) N Paniagua I b) G Paniagua c) N Paniagua II, d) G Paniagua II, e) N Manú, f) G Manú, g) N Kay Rica, h) G Kay Rica.	61
Figura 20.	Dinámica de árboles comerciales Rica $> 10 \text{ cm dap}$ en 1 ha, a) número de árboles y b) área basal total, de cuatro bosques intervenidos del Norte de Costa Rica.	63
Figura 21.	Distribución del Número de árboles ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) por clase diamétrica de especies comerciales para bosques aprovechados del Norte de Costa Rica a) N Paniagua I b) G Paniagua c) N Paniagua II, d) G Paniagua II, e) N Manú, f) G Manú, g) N Kay Rica, f) G Kay Rica.	64

Figura 22.	Dinámica de árboles futura cosecha >10 cm dap, a) Número total de árboles ($N\ ha^{-1}$), b) área basal total ($G\ m^2\ ha^{-1}$) de cuatro bosques del Norte de Costa Rica.	65
Figura 23.	Distribución del Número de árboles de segunda cosecha, ($N\ ha^{-1}$) área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) por clase diamétrica para bosques aprovechados del Norte de Costa Rica a) N Paniagua I b) G Paniagua I c) N Paniagua II, d) G Paniagua II, e) N Manú, f) G Manú, g) N Kay Rica, f) G Kay Rica.	66
Figura 24.	Distribución del Número de árboles ($N\ ha$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) de árboles de futura cosecha > 60 cm dap de bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. a) Número de árboles de Paniagua I, Paniagua II, b) Área basal, Paniagua I, Paniagua c) Número de árboles de II Kay Rica, Manú, c) Área basal de II Kay Rica, Manú.	67

ARTÍCULO II

Figura 1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio en seis bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. El círculo indica ubicación de parcelas permanentes.	89
Figura 2.	Cambios en valores de número de árboles en un bosque aprovechado (Corinto) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Ver texto para explicación de valor de referencia y umbrales.	97
Figura 3.	Cambios en valores de área basal en un bosque aprovechado (Corinto) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	98
Figura 4.	Cambios en valores de número de árboles en un bosque aprovechado (Tirimbina) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	98
Figura 5.	Cambios en valores de área basal en un bosque aprovechado (Tirimbina) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	99
Figura 6.	Cambios en valores de Umbrales apertura del dosel en bosques aprovechados en el Norte de Costa Rica, en relación a umbrales de cambio. a) Corinto y b) Tirimbina. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	100
Figura 7.	Cambios en valores de apertura del dosel bosques aprovechados en el Norte de Costa Rica, en relación a umbrales de cambio. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	100
Figura 8.	Cambios en valores de apertura del dosel del bosque Corinto Costa Rica para cinco estratos a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m d) 20-30 m y e) >30 m. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	102

Figura 9.	Cambios en los valores de cobertura del follaje del bosque La Tirimbina, Costa Rica para los cinco estratos a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m d) 20-30 m y e) >30 m. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	104
Figura 10.	Cambios en valores de cobertura del follaje en bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. En cinco estratos a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m d) 20-30 m y e) >30 m. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.....	106
Figura 11.	Cambios en valores de número de individuos de palmas en el bosque Corinto, Costa Rica. a) Tratamiento Aprovechamiento b) Tratamiento de Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.....	107
Figura 12.	Cambios en valores de número de individuos de palmas en el bosque La Tirimbina, Costa Rica. a) Tratamiento Aprovechamiento b) Tratamiento de Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	107

ARTÍCULO III

Figura 1.	Porcentaje de ponderación para cada una de las categorías de individuos >10 cm de dap en dos bosques del Norte de Costa Rica.....	121
Figura 2.	Porcentaje de ponderación para cada uno de los grupos evaluado utilizando el enfoque de la guía de monitoreo en seis bosques al Norte de Costa Rica.....	122

LISTA DE UNIDADES ABREVIATURAS Y SIGLAS

AIR. Aprovechamiento de Impacto Reducido

Bmh-T. Bosque Muy Húmedo Tropical

C. Centígrados N. Número de árboles

CATIE. Centro de Agricultura Tropical de Investigación y Enseñanza

CIFOR. Centro de Investigación Forestal Internacional

CNCF. Comisión Nacional de Certificación Forestal

CNUMAD. Conferencia de las Naciones Sobre Medio Ambiente y Desarrollo

DMC. Diámetro Mínimo de Corta

ECODES. Estrategia de Conservación para el Desarrollo Sostenible.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FSC. Consejo de Manejo Forestal

FUNDECOR. Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central

G. Área basal

Ha. hectáreas

IVI. Índice de Valor de Importancia

M. Metros

MINAE. Ministerio de Ambiente y Energía

MM. Milímetros

Msnm. Metros sobre el nivel del mar

OIMT. Organización Internacional de Maderas Tropicales

ONF. Oficina Nacional Forestal

ONG. Organización no Gubernamental

PPM. Parcelas Permanentes de Muestreo

SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

SINAC. Sistema Nacional de Áreas de Conservación

WCED. Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo

WWF. Fondo Mundial para la Vida Silvestre

1. INTRODUCCIÓN

Costa Rica cuenta con una extensión territorial de un poco más de 5 millones de hectáreas, de las cuales alrededor del 70 % son considerados de aptitud forestal. El área de cobertura forestal natural y plantación, suman alrededor de dos millones de hectáreas (FAO 2002). Estos bosques generan grandes beneficios, como la protección del agua y biodiversidad, la atracción de turistas y la generación de electricidad.

En general la actividad forestal y la producción sostenible de madera ofrecen oportunidades para sustentar estrategias de desarrollo a nivel rural. El aprovechamiento forestal en el país está concentrado principalmente en la región Huetar Norte donde existe un área importante de bosques primarios que proveen de madera al país.

El aprovechamiento forestal en Costa Rica, es regido por la Ley Forestal a través de instituciones gubernamentales que son las encargadas de regular el buen manejo de los bosques. A su vez el manejo del bosque debe estar fundamentado en un plan de manejo forestal. Estos planes de manejo forestal están basados en una serie de prácticas de manejo obligatorias, como el establecimiento de límites mínimos para los ciclos de corta, protección de cauces de agua, diámetros de corta.

La normativa actual prevé asimismo una evaluación de la respuesta del bosque a la intervención humana a través del monitoreo de parcelas permanentes. Por lo tanto, los datos provenientes del monitoreo pueden ser utilizados para evaluar en forma cuantitativa las consecuencias de las decisiones adoptadas en los planes de manejo en cuanto a ciclos de corta y diámetros mínimos de corta (DMC).

El manejo forestal dependiendo de la intensidad de corta y el ciclo de corta puede provocar cambios en la estructura y composición florística. En Costa Rica el ciclo de corta es uno de los criterios silviculturales establecido por la ley forestal. Este ciclo de corta fue establecido en 15 años y para un bosque tropical con más de 100 especies por hectárea es difícil establecer cuántos cambios se han dado por el aprovechamiento y que estos mismos cambios sean recuperados en este lapso de tiempo.

El presente estudio evaluó bosques aprovechados que contaban con datos de parcelas permanentes que permitieron evaluar la respuesta de bosques a lo largo de un periodo de tiempo similar a los ciclos de corta establecidos en la Ley Forestal, donde se observó la variabilidad de cada uno de ellos así como su estado de recuperación a través de indicadores clave. De igual forma se analizó la productividad, estructura y composición florística, después de la intervención silvicultural. Con base en estas evaluaciones se estableció para cada uno de los bosques, su estado actual y la posibilidad de realizarse un segundo aprovechamiento.

1.1. Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Contribuir con elementos ecológicos al proceso de toma de decisiones sobre segundas cosechas en bosques naturales en Costa Rica.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar el impacto de diferentes regímenes de manejo forestal en la estructura, composición y dinámica de bosques muy húmedos tropicales de la Zona Norte de Costa Rica
2. Determinar si el grado de impacto causado por el aprovechamiento forestal es aceptable o no de acuerdo a la evaluación de indicadores claves.
3. Integrar y evaluar la información generada para determinar si los bosques de estudio, desde el punto de vista ecológico, pueden ser sometidos a una segunda cosecha

1.1.3 Preguntas clave

4. ¿Cuál es el estado actual de los bosques en términos de productividad, estructura y composición florística?
5. ¿Las condiciones actuales de los bosques naturales próximos a recibir una segunda cosecha son favorables para un nuevo aprovechamiento y para que éstos sean sostenibles?

6. ¿Cómo está relacionada la intensidad de la primera cosecha con respecto al estado actual del bosque?
7. ¿Cuál es la relación entre el estado actual del bosque y el tiempo transcurrido desde su intervención y que implicaciones tiene para el ciclo de corta?

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Manejo Forestal sostenible

2.1.1 Conceptos

El concepto de sostenibilidad en el manejo forestal ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde un simple enfoque en el rendimiento sostenible de madera, hacia la utilización de una variedad más amplia de productos forestales maderables y no maderables (Heinrich 1997). Como parte del desarrollo de conceptos la FAO en 1988 adaptó la siguiente definición de lo que es el desarrollo sostenible:

“El manejo y la conservación de la base del recurso natural y la orientación del cambio tecnológico e institucional de modo que garanticen el logro y la continua satisfacción de las necesidades humanas de las generaciones presentes y futuras. Dicho desarrollo sostenible conserva la tierra, el agua, los recursos genéticos vegetales y animales, y es ambientalmente no degradante, técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable”.

Pero quizás la definición más citada de desarrollo sostenible es la de la Comisión Brundtland (WCED 1987): "Desarrollo que cubre las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades".

2.1.2 Bases ecológicas para la producción sostenible de madera

Para manejar un bosque causando el menor daño posible es importante conocer la ecología de las especies que lo componen y comprender mejor el por qué de su distribución espacial y su composición florística. La dinámica del bosque se origina a partir de la caída natural de los árboles, provocando claros que permiten la entrada de luz directa al suelo estimulando de esta manera los cambios en la composición orgánica del suelo y el establecimiento de nuevas especies demandantes de luz (Lamprecht 1990).

Las diferentes cantidades de energía determinan la entrada de diferentes especies con exigencias lumínicas propias; pero también influyen los factores biofísicos, la disponibilidad de fuentes de

semillas y el momento y la forma en que el claro ocurrió. De esta manera se forman una gran variedad de microambientes en los claros, permitiendo el desarrollo de una gran cantidad de especies, por lo que es llamado “generador de diversidad biológica” y a su vez es un factor que mantiene la dinámica del bosque (Louman *et al.* 2001).

El tiempo que transcurre desde la apertura del claro determina la dimensión de los árboles que se establecieron en él; a su vez, el tamaño del claro determina la cantidad y calidad de la energía lumínica que penetra en el piso del bosque en un momento determinado (Whitmore 1984, Louman *et al.* 2001).

Whitmore, (1984) identifica tres fases en la dinámica de la regeneración de los bosques en equilibrio, como, crecimientos consecutivos para pasar de una fase a otra. La fase de claro la cual es producida por la apertura del dosel y contiene brinzales, latizales y árboles jóvenes. La fase de construcción es un bosque con árboles jóvenes con un crecimiento muy rápido en altura y diámetro y la fase madura donde contiene árboles de diámetros considerablemente gruesos, principalmente y su crecimiento casi imperceptible.

Las especies de manera natural responden a la interacción de las características genéticas implícitas y a los factores ambientales, lo cual les permite diferentes expresiones de comportamiento. A lo largo del tiempo distintos autores como Whitmore, Lamprecht, Finegan (1978, 1990, 1992), han propuesto una serie de clasificaciones para agrupar estas respuestas de las plantas, basando sus clasificaciones en la tolerancia a la sombra o bajos niveles de radiación lumínica principalmente.

Una de las clasificaciones es la descrita por Finegan (1992), donde su principal factor determinante para esta clasificación es el comportamiento de las especies ante los gradientes ambientales más importantes de los ecosistemas boscosos como es la luz y el suelo.

Su división es en cuatro gremios: la primera es la de las heliófitas efímeras que son las especies intolerantes a la sombra, es decir, que requieren de luz para establecerse, crecer y reproducirse, y que tienen una vida muy corta. Las heliófitas durables son especies intolerantes a la sombra, de vida relativamente larga. Las esciófitas parciales especies que toleran la sombra en las etapas tempranas del desarrollo, pero requieren necesariamente de un grado elevado de iluminación para alcanzar el

dosel y para pasar de las etapas intermedias hacia la madurez y por último las esciófitas totales son aquellas especies que se establecen a la sombra y que no requieren de altos niveles de iluminación para aumentar su crecimiento.

2.1.3 Impactos del manejo forestal

Los bosques tropicales proporcionan productos maderables y no maderables de gran importancia para la sociedad, por lo que se considera de gran necesidad su manejo sostenible y su conservación en el tiempo. El aprovechamiento forestal implica realizar diferentes actividades que pueden provocar impactos en el bosque remanente. La extracción maderera provoca daños en el bosque, y estos dependen de la intensidad de la extracción, de los métodos empleados, la capacidad del personal involucrado y la adecuada supervisión, también del tiempo que transcurre entre cada aprovechamiento, el número de árboles extraídos y el sistema de aprovechamiento utilizado (FAO 1995).

La apertura de caminos principales y secundarios, pistas de arrastre y patios de acopio causan la remoción total de la vegetación, erosión y compactación del suelo (Uhl y Guimaraes 1989, Jackson *et al.* 2000, Carrera y Pinelo 1995, Guzmán y Cordero 1996). Al respecto, van Gardingen *et al.* (1998) creen que los disturbios en los suelos y las operaciones de extracción son los principales factores que limitan la regeneración de las especies forestales.

La apertura del dosel o formación de claros es una modificación de la estructura vertical del bosque y esta se origina por la extracción de árboles durante el aprovechamiento. Toledo *et al.* (2001) reporta en Bolivia un estudio donde el mayor porcentaje de claros son efecto de la extracción de especies por la construcción de caminos Whitman *et al.* (1997), de igual manera afirma que estos claros por extracción causan más impacto al bosque que la construcción de caminos.

Otros de los impactos que pueden causar la formación de los claros durante la extracción de madera, es al abrir el dosel y permitir la entrada de luz. Esto puede causar impactos significativos en algunas especies de aves, plantas epífitas y mariposas, que dependen del bosque con dosel cerrado (Gullison y Nissan 1999). Ordóñez *et al.* (2005-2006) en un bosque húmedo de Nicaragua encontró

que el aprovechamiento forestal causó efectos negativos en un grupo de mariposas que fue tomado como indicador de perturbación.

2.1.4 Marco legal en Costa Rica para el aprovechamiento forestal

Costa Rica, como muchos de los países latinoamericanos, sufrió un acelerado periodo de deforestación a partir de 1940. Hasta la década de los años 50 fue que las organizaciones y el pueblo fueron tomando conciencia del cambio de uso de suelo, pero no se contaba con una ley forestal (Araya 2005). En Costa Rica la primera ley forestal fue la 4469 en el año 1969 y los primeros indicios de realizar una planificación forestal fue en los años 1978-1982. Este plan de desarrollo forestal no llegó a implementarse en realidad por la falta de interés en el tema. A su vez no existía un organismo directamente vinculado con el ámbito forestal, este dependía del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Para el año 1987 se crea una institución que atiende al sector forestal de manera directa, el Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas (MINAЕ). En esta época también se inicia una mayor concientización de cómo planificar los recursos naturales y a su vez se establece la estrategia de conservación para el desarrollo sostenible (ECODES). Al aumentar la preocupación por la problemática ambiental, se favoreció la instalación de varias ONGs con rasgos ambientalistas en el país (FAO, 2005).

En 1987 se crea el Plan Nacional Forestal para Costa Rica como un programa de la FAO, pero fue hasta 1990 cuando se institucionalizó dentro de los marcos legales del estado. En 1996 se anula la Ley Forestal 7174 de 1990 y se define al MINAЕ como ente rector del sector forestal en Costa Rica y se promulga la Ley Forestal 7575. Dicha ley establece lo siguiente: que todo manejo de bosques naturales, incluyendo las fases de planificación, implementación y monitoreo, sea ejecutado de acuerdo con los criterios e indicadores nacionales de sostenibilidad. Los cuales fueron oficialmente aceptados según Decretos No. 27388-MINAЕ del 2 de noviembre, 1998 y no. 27998-MINAЕ del 29 de julio de 1999.

En 1998 se revisa y se define una política para el país por los próximos diez años, pero es hasta el 2000 que el plan nacional de desarrollo forestal es presentado a la opinión pública y se constituye en una herramienta fundamental que plantea el estado para la planificación y el seguimiento con miras a garantizar el manejo y desarrollo sostenible de los recursos derivados del bosque (SINAC, FAO 2005).

2.1.5 Estándares de manejo forestal sostenible

Lograr la sostenibilidad del manejo de los bosques, es uno de los principales propósitos de políticas forestales internacionales y nacionales. Esta iniciativa se abordó en la conferencia de las naciones sobre Medio Ambiente y Desarrollo-CNUMAD, celebrada en Río de Janeiro en 1992, donde los países se comprometieron a manejar el bosque sosteniblemente (Castañeda 2004).

A partir de esta reunión diversas organizaciones vinculadas al manejo forestal, como la Organización internacional de maderas tropicales (OIMT), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Consejo de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas e inglés), entre otros, se han dedicado a la tarea de formular, discutir, experimentar y difundir los criterios e indicadores para el manejo forestal que son un avance hacia la evolución del manejo forestal sostenible (Castañeda 2004). Los estándares son agrupados jerárquicamente en Principios (P), Criterios (C) e Indicadores (I) y son reconocidos por su habilidad para funcionar como una base para el monitoreo y reporte sobre el manejo forestal sostenible. Este esquema ayuda a desglosar nivel por nivel el objetivo de manejo en parámetros que puedan ser evaluados (Lammerts van Bueren y Blom 1997).

En Centroamérica, Costa Rica se ha distinguido por impulsar el desarrollo de criterios e indicadores a través de diferentes instituciones para evaluar el manejo forestal desde diversas perspectivas y escalas los cuales fueron aceptados de manera oficial desde 1998 y están divididos en 11 principios, 44 criterios y 120 indicadores que toman en cuenta las características específicas de los bosques costarricenses (Costa Rica 1996).

Según la ley forestal en su artículo uno, el estado debe velar por la protección, aprovechamiento, conservación, administración y fomento de los recursos forestales del país, y en su artículo dos menciona que los bosques sólo podrán ser aprovechados si cuentan con un plan de manejo que contenga los principios, criterios e indicadores de sostenibilidad. En el artículo cinco menciona la aplicación de los principios criterios e indicadores para un manejo sostenible del bosque con la finalidad de provocar el menor impacto de las labores del manejo forestal y lograr la sostenibilidad del recurso bosque.

El Estado decretó once principios que se deberán observar en los planes de manejo. Los primeros cuatro principios tratan sobre la observación de las leyes, los derechos y la responsabilidad del uso y tenencia de la tierra, los derechos de los trabajadores, derecho de las comunidades indígenas. Los cinco restantes hablan acerca de los beneficios del bosque, impactos del manejo, plan de manejo, monitoreo y evaluación y el mantenimiento de bosques naturales.

2.1.6 Manejo forestal sostenible en Costa Rica

En Costa Rica el manejo forestal sostenible se instauró desde 1996 al implementarse la ley forestal 7575, la cual exige un plan de manejo aprobado por la autoridad forestal, sin embargo, antes de que esta ley entrara en Vigor ya se habían otorgado algunos permisos para realizar planes de manejo. Muchos de estos planes de manejo se regían por la ley 7174 que fue implementada en 1990, para el aprovechamiento del bosque y como un requisito administrativo del estado para cobrar los impuestos.

El Estado en ese tiempo no contaba con la capacidad técnica suficiente para controlar los permisos que se otorgaban, por lo que el aprovechamiento se realizaba de manera convencional. Como en la mayoría de los bosques tropicales del mundo, el manejo convencional se caracteriza por ser más destructivo y poco eficiente (Hendrison 1990). Se extraen por este sistema los mejores árboles y con mayor valor en el mercado, esto se debía a que no existía una planificación y una participación técnica o si existía no era suficiente (Méndez 2003).

El manejo inadecuado del bosque y otros factores como la apertura de la ganadería y de cultivos intensivos y el cambio de uso en general, llevaron a que la cubierta boscosa se fragmentara en pequeñas áreas de bosques o rodales y algunos de ellos quedaron aislados (Watson *et al.* 1998).

Sin embargo de 1990 a 1995 se fomentó la reforestación y al manejo del bosque por medio de algunos programas por parte del Estado como el proyecto COSEFORMA (GTZ), PMIB (DFID). Con base en estos proyectos pilotos se estableció una nueva guía para la elaboración de planes de manejo, con el objetivo de minimizar los impactos del manejo forestal, para lo cual se dividió en dos fases: Fase I (aprovechamiento forestal de bajo impacto) y Fase II (manejo silvicultural post-cosecha). Para mejorar las condiciones para el control se creó la figura del Regente forestal, para supervisar la ejecución adecuada de los Planes de Manejo (MINAE 1996).

La Ley Forestal 7575 aprobada en 1996, dispone en su artículo 20, que “los bosques podrán aprovecharse sólo si cuentan con un plan de manejo que contenga el impacto que puede ocasionar las operaciones forestales sobre el ambiente” (CNCF, 1999).

A partir de la implementación de esta ley fue obligatorio la aplicación del aprovechamiento de impacto reducido (AIR) y el manejo postaprovechamiento, con el fin de reducir daños a la vegetación remanente del bosque el cual asegura un próximo aprovechamiento y cumplir así con los objetivos del desarrollo sostenible (CODEFORSA 2006).

Parte de las actividades del AIR consisten en implementar operaciones de extracción cuidadosamente planificadas y controladas en campo con la finalidad de reducir al mínimo el impacto sobre el bosque residual y sobre el suelo (Carrera 1993, Bull *et al.* 2001).

El AIR toma aspectos en cuenta como la elaboración de un mapa base para la ubicación de los árboles que se van a extraer, las características del terreno y áreas de protección, el empleo de corta dirigida y troceo de fustes, para facilitar la extracción y causar el menor daño posible y ubicación de las pistas de extracción tratando de reducir la presencia del tractor en el bosque.

Como resultado del empleo de estas técnicas Costa Rica ha visto mejoras en su manejo del bosque al lograr mantener las estructuras discretáneas en estos bosques, con un área basal menor que con manejo convencional, pues el área de afectación por la construcción de caminos primarios y

secundarios, pistas de arrastre, claros, y patios de acopio se redujo de un 50 % aproximadamente en casos convencionales, hasta un 17 % con el AIR (CODEFORSA 2006).

A pesar que se cree que el AIR aumenta los costos de la extracción, en un estudio realizado por Carrera (1993) encontró que los rendimientos y costos de la corta dirigida son similares a los reportados por la corta tradicional en Costa Rica, no obstante recalca que el empleo de esta, permitió minimizar los daños a niveles tolerables (12% del número de árboles) y facilitar el resto de las operaciones como son el arrastre.

Por otro lado Bull y colaboradores (2001) señalan en un estudio donde analizaron los costos y beneficios de la extracción de impacto reducido, que el manejo de impacto reducido puede ser más costoso con una visión a corto plazo. Sin embargo, si se consideran los beneficios que estos traen al bosque permitiría aumentar la productividad y la eficiencia en un tiempo reducido. Louman y colaboradores (2006), encontraron que los costos varían entre distintos actores dependiendo del tipo de maquinaria utilizada, herramientas o animales, la propiedad y la capacidad técnica.

2.1.7 Criterios silviculturales

Dentro de los criterios que se siguen al implementar un plan de manejo en Costa Rica está la fijación de un diámetro mínimo de corta (dmc), esto es para las especies o grupos de interés comercial y solo se permite el aprovechamiento a los individuos con diámetros mayores al fijado. El dmc fue establecido por la ley 7575 y es de 60 cm dap. De esta manera se garantiza la conservación de las clases diamétricas medias y bajas, y la regeneración suficiente para con ello consolidar un cierto tipo de producción forestal sostenida (Lamprecht 1990).

El ciclo de corta se define como el intervalo de tiempo entre dos intervenciones consecutivas y programadas dentro de un mismo rodal (SARH 1984) y se debe determinar en función de las tasas de crecimiento de las especies a manejar, la abundancia de dichas especies, y los factores socioeconómicos de los usuarios del recurso (Stanley 1997). En este caso se hace mención en la Ley Forestal, en el capítulo segundo, Artículo 17, que en el plan de manejo se debe contener una amplia justificación del ciclo de corta y en caso de que no se cuente con información suficiente que

justifique el ciclo de corta este no podrá ser menor de 15 años, reservándose la facultad de ampliar o reducir este plazo, previa recomendación técnica (CNCF 1999, Costa Rica 1996).

La intensidad de corta es la relación en porcentaje entre el volumen de corta en una masa forestal y sus existencias reales (SARH 1984). En Costa Rica la CNCF (1999), dice que la intensidad del aprovechamiento y los tratamientos silviculturales se determinan proporcionalmente a la abundancia de cada especie y la intensidad del aprovechamiento no superará el 60% del número de árboles por especie con un dap \geq 60 cm.

En cuanto a la selección de especies que se desean aprovechar y manejar se escogen con base en información del mercado, las leyes imperantes, las funciones ecológicas, el potencial de regeneración y la disponibilidad de la especie en el bosque (Louman *et al.* 2001). Las especies con una abundancia menor a un árbol cada 3 hectáreas (0,3 árboles por ha) según el inventario preliminar de los árboles con dap mayor o igual a 30 cm, se consideran como poco frecuentes en el ecosistema y no se pueden aprovechar (CNCF 1999). La baja abundancia de estas especies arbóreas en bosques húmedos tropicales las hace susceptibles al declive poblacional en paisajes intervenidos (Gallego y Finegan 2004).

2.1.8 Segundas cosechas

A pesar de que Costa Rica, se ha distinguido por sus esfuerzos por mantener sus recursos naturales y apoyar el manejo sostenible del bosque. Actualmente no se cuenta con una propuesta para segundas cosechas. Actualmente, varios bosques con manejo forestal han concluido su ciclo de corta o están por cumplirse, y el Estado aún no ha dado una respuesta concisa a estos propietarios de bosque de cuales son los elementos a considerar en un segundo aprovechamiento y cuales son los criterios para su aprobación y seguimiento de estas operaciones.

Dadas las necesidades de dar una respuesta, los actores del sector forestal, la Oficina Nacional Forestal (ONF) con el apoyo de otras instancias relacionadas, organizaron dos reuniones de trabajo con especialistas en la materia en el 2002 donde se propuso analizar la problemática de la presión

por realizar segundas cosechas en bosques naturales y proponer los mecanismos que garanticen el uso racional del bosque.

Como parte de los resultados de estas reuniones fue describir la situación actual del manejo forestal en Costa Rica y la descripción de su problemática como punto de partida para la búsqueda de soluciones. En principio se tiene que las áreas de bosque en Costa Rica son pequeñas, fraccionadas y con poco valor comercial, porque en la mayoría de los casos ya fueron intervenidos y por lo tanto presentan pocas especies de alto valor comercial. Por otro lado con la poca excepción de algunos casos, no existen historiales de más de 10 años por lo tanto no se lleva un adecuado historial de las intervenciones legales y/o ilegales a las que han sido sometidos los bosques, perdiéndose toda posibilidad de hacer un adecuado control al cambio de uso del suelo (Jiménez 2006).

Se tiene además una limitada capacidad institucional para ofrecer asistencia técnica especializada en el momento oportuno y a bajo costo, y las regulaciones técnicas, legales y administrativas, que están diseñadas para bosques no intervenidos, han sido excesivas, rígidas y afectan la rentabilidad del Manejo Forestal.

La alta incertidumbre con respecto a la tenencia de las áreas con bosque y en cuanto al acceso al recurso forestal y las distorsiones en el mercado de la madera impiden que el propietario del Bosque obtenga mayores ingresos por lo cual el manejo forestal no se considera como una actividad rentable por parte del dueño del Bosque en comparación con otros usos alternativos de la tierra (agricultura y ganadería) (Jiménez 2006).

3. BIBLIOGRAFÍA

- Araya M. 2005. Aplicación de instrumentos económicos para servicios ambientales en Costa Rica. Publicaciones en línea, INE (Instituto Nacional de Ecología). Coyoacán, México D.F
- Bull, G.; Pulkki, R.; Killmann, W.; Schwab, O. 2001. Una investigación de los costos y beneficios de la extracción de impacto reducido. *Actualidad Forestal Tropical*. 9 (2):12-13.
- Carrera, F. 1993. Rendimientos y costos de las operaciones iniciales de manejo en un bosque primario de la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mg. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Carrera, F.; Pinelo, G. 1995. Prácticas mejoradas para aprovechamientos forestales de bajo impacto. Informe Técnico N° 262, Turrialba, Costa Rica. 59 p.
- Castañeda, F. 2004. Tendencias y perspectivas para las iniciativas de criterios e indicadores para la ordenación forestal sostenible. *Recursos Naturales y Ambiente* no. 42: 51-59
- CNCF (Comisión Nacional de Certificación Forestal). 1999. Estándares y procedimientos para el manejo sostenible y la certificación forestal en Costa Rica. Publicación. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Humano Sostenible y la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE. 54 p.
- Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA). 2006. En línea. www.codeforsa.org
- Costa Rica. 1996. Ley Forestal no. 7575. Asamblea legislativa de la Republica de Costa Rica.
- FAO (Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1995. En línea. Consultado el 12 noviembre del 2006. Disponible en: www.fao.org.
- FAO. 2002. Estado de la información forestal en Costa Rica. FAO. Comisión de Europea. Santiago de Chile. 232 p.

- FAO. 2005. Cambios en la cobertura forestal, Costa Rica. Deposito de documentos de la FAO En línea. Consultado el 16 noviembre del 2006. Disponible en: www.fao.org.
- Finegan, B. 1992. Bases Ecológicas para la Silvicultura. Tema 1. V Curso Internacional sobre Silvicultura y Manejo de Bosques Tropicales, CATIE, Turrialba, CR. 170 p.
- Gallego, B; Finegan, B. 2004. Evaluación de enfoques para la definición de especies arbóreas indicadoras para el monitoreo de la biodiversidad en un paisaje fragmentado del corredor biológico mesoamericano. Recursos Naturales y Ambiente. 41: 49-61
- Gullison, R.; Nissan, S. 1999. Evaluación de la factibilidad del modelado de los impactos del manejo forestal sobre la biodiversidad en la concesión de Taruma. Proyecto de manejo forestal sostenible, BOLFOR. Documento técnico no. 79. Santa Cruz, Bolivia.
- Guzmán, R.; Cordero, W. 1996. Manejo sostenible de bosques: una alternativa a los problemas actuales. En: BOLFOR, Hacia el manejo forestal sostenible. Santa Cruz, Bolivia. 205 p.
- Heinrich, R. 1997. Aprovechamiento ambientalmente apropiado para mantener los bosques tropicales. In Simposio Internacional. Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz, Bolivia.
- Henderson, J. 1990. Damage-controlled logging in managed rain forest in Suriname. In Ecology and Management of Rainforest in Suriname. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica. 219 p.
- Jackson, S.; Fredericksen, T.; Malcolm J. 2000. Evaluación de los disturbios y daños causados al bosque residual durante el aprovechamiento por selección en un bosque tropical de Bolivia. Documento Técnico. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.

- Jiménez, J. 2006. Situación actual del Manejo Forestal en Costa Rica, descripción de problemas detectados como punto de partida para la búsqueda de soluciones. Presentación en Taller de Coordinación de una Agenda sobre el Manejo Policíclico de Bosques Naturales en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica
- 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. Trad. por Antonio Carrillo. GTZ, Alemania. 335 p.
- Louman, B.; Quirós, D.; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos de con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico no. 46. CATIE, Turrialba CR
- Méndez, J:G. 2003 El manejo silvicultural para la Boques Húmedos de Costa Rica. Seminario de Bosques. CODEFORSA. San José, CR.
- MINAE (Ministerio Ambiente y Energía). Ley Forestal. 1996. San José, Costa Rica.
- Ordóñez, S.; Delgado, D.; Finegan, B. 2005-2006. Monitoreo ecológico en bosques húmedos tropicales certificados en la RAAN, Nicaragua. Evaluación del impacto ecológico del manejo forestal. Recursos naturales y Ambiente. No. 46-47:66-78 p, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- SARH (Secretaría de agricultura y recursos hidráulicos). 1984. Normas de calidad para la formulación de estudios dasonómicos en bosques, normas del método de desarrollo silvícola. Subsecretaria Forestal, México, DF, 298 p
- SINAC, FAO. 2005. El plan de Acción 2004-2010: para la ejecución del Plan Nacional de Desarrollo Forestal de Costa Rica. San José, CR.
- Stanley, S. 1997. Guía para la interpretación de resultados de un inventario forestal: para concesiones en Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala. Colección Manejo Forestal en la Reserva de la Biosfera Maya Petén, Guatemala. Serie Técnica. Informe técnico no. 297. 38 p

- Toledo, M; Fredericksen, T; Licona, J; Mostacedo, B. 2001. Impactos del Aprovechamiento Forestal en la Flora de un Bosque Semideciduo Pluviestacional de Bolivia. Doc. Técnico. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia
- Uhl, C. y Guimaraes, I. 1989. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: A case study from the Paragominas region of the State of Pará. *Biotropica* 21(2): 98-106
- Van Gardingen, P.; Clearwater, M.; Nifinluri, T.; Effendi, R.; Rusmantoro, W.; Noor, M.; Mason, P.; Ingleby, K.; Munro, R. 1998. Impacts of logging on the regeneration of lowland dipterocarp forest in Indonesia. *Forestry Review* 77 (2):71-80
- Watson, V.; Cervantes, S.; Castro, C.; Mora, L.; Solis, M.; Porras, I.; Cornejo, B.1998. Abriendo espacio para una mejor actividad forestal. Políticas exitosas para los bosques y la gente. Making space for better forestry. Policy that works for forests and people. Policy that Works for Forests and People Series (RU). no. 6. San José (Costa Rica). 1998. 110 p..
- WCED. 1987. Our Common Future. World Commission on Environment and Development, convened by the United Nations General Assembly, New York. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Whitman, A.; Brokaw V.; Hagan, J. 1997. Forest damage caused by selection logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. *Forest Ecology and Management* 92: 87-96.
- Whitmore, T. 1978. The forest ecosystems of Malaysia, Singapore and Brunei: description, functioning and research needs. In tropical forest ecosystems. Ed. By UNESCO/UNEP/FAO. Paris, UNESCO-UNEP. P. 641-653.
- Whitmore, T. 1984. Tropical rain forest of the Far East R. U. Clarendon Press. Oxford. 352. p.

Artículo I. Evaluación del impacto del aprovechamiento forestal en bosques húmedos a través de indicadores ecológicos

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica como en la mayor parte de Centroamérica, los bosques están siendo aprovechados dentro de un marco legal; sin embargo, también se extrae madera de forma ilegal (Campos *et al.* 2001, ONF 2004, Navarro 2006, SIREFOR 2007). El Estado para regular los aprovechamientos y lograr la sostenibilidad del recurso bosque ha establecido una serie de requisitos para regular su manejo por medio de planes de manejo forestal que permiten planificar las actividades a corto y mediano plazo (CNCF 1999).

A raíz de la ley 7575 se establecieron los estándares nacionales que toman en cuenta las características específicas de los bosques costarricenses, tales como la elevada diversidad de especies, la gran proporción de especies comercialmente aprovechadas, y las reducidas extensiones de la mayoría de los bosques (CNCF 1999).

Con base en estos requisitos se otorgaron permisos para el aprovechamiento de bosques con manejo policíclico con ciclos de corta de 15 años, con un diámetro mínimo de corta de 60 cm de dap, extrayendo el 60 % del volumen comercial (60-40%). Actualmente existen bosques que fueron aprovechados con ciclos de corta de 15 años y que han cumplido con este plazo por lo cual están los propietarios solicitando un nuevo aprovechamiento en su bosque.

Ante esta situación el Estado ha visto la necesidad a buscar propuestas de cómo se manejará el bosque en un segundo ciclo, pues no cuenta con información necesaria para responder a esta necesidad puesto que no se sabe cuanto del volumen aprovechado ha sido restablecido y cuanto ha impactado el aprovechamiento forestal en la estructura disetánea del bosque. A la fecha se han realizando una serie de reuniones con expertos involucrados en el tema forestal para dar pautas a seguir y una serie de nuevos requerimientos en caso de no contar con información suficiente del aprovechamiento. Por lo cual este trabajo pretende generar pautas que lleven a establecer el impacto que causan los distintos regímenes forestales, en la estructura, composición y dinámica de bosques muy húmedos tropicales.

2. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Generalidades

La zona de estudio se ubica al Norte del país, al pie de la Cordillera Volcánica Central, en las provincias de Heredia y Limón en los cantones de Sarapiquí y Pococí, abarcando cuatro distritos: Guápiles, Horquetas, Puerto Viejo y La Virgen (Fig. 1).

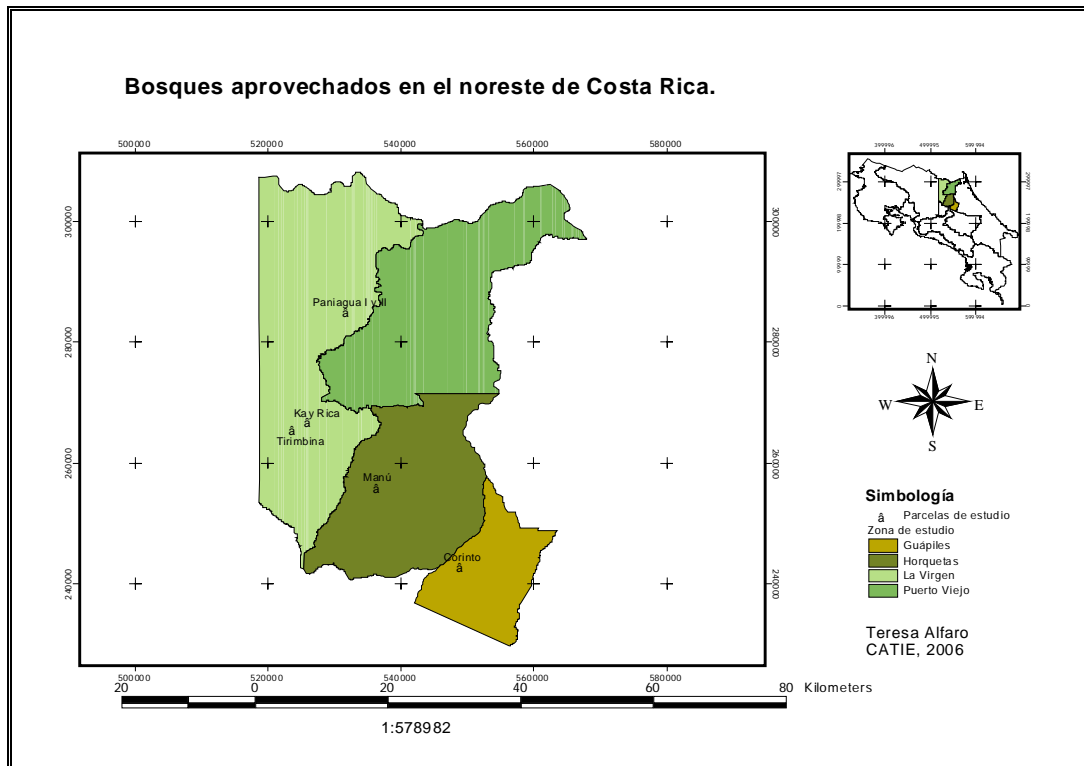


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en seis bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. Cada círculo indica ubicación de parcelas permanentes.

2.2 Topografía

En general el paisaje de la zona de estudio, es muy diverso, pues en la parte norte se presenta un conjunto de lomas o colinas bajas de formas irregulares con elevaciones de hasta 100 msnm, la parte central es caracterizada por suelos y topografía de origen aluvial y en el sur se muestra un sistema montañoso complejo con elevaciones hasta los 2800 msnm (Atlas de Costa Rica 2000).

2.3 Clima y suelo

La región esta influenciada por las condiciones climáticas del Atlántico y la mayor parte del territorio presenta un clima tropical lluvioso de zonas bajas, con un rango de precipitación anual que varía entre los 3000 mm hasta los 5200 mm. La media anual se estima en 3,800 mm, y la humedad relativa entre 85-95%, con ausencia de sequías prolongadas o épocas secas. La temperatura media anual es de alrededor de 24° C, oscilando entre los 20 ° C y 27 ° C (Atlas de Costa Rica 2000).

Los suelos en el área de estudio son de origen volcánico con formaciones superficiales, principalmente de la época del cuaternario, predominando el orden de los Ultisoles los cuales son de relativamente baja fertilidad. También se encuentran áreas importantes de Inceptisoles; estos son suelos jóvenes de baja fertilidad con elementos formados con baja saturación de bases presentes en terrenos suavemente ondulados con pendientes de 2-15%. De igual forma se encuentran presentes los suelos del orden de los Entisoles, que son suelos recientes con poco desarrollo de horizonte, presentes en terrenos planos y pendientes de 0-2% (Atlas de Costa Rica 2000).

2.4 Vegetación

La vegetación natural presente en la zona de estudio, según la clasificación de Holdridge (1987), es bosque muy húmedo tropical (bmh-T) y en menor medida se encuentra al bosque muy húmedo premontano, transición a basal (bmh-P), bosque muy húmedo transición a premontano (bmh-T12), bosque pluvial premontano (bp-P) y bosque pluvial montano bajo (bp-MB).

El paisaje de la zona de estudio, en la parte Norte presenta un 70% de su cobertura vegetal (Ramos 2004) y según la clasificación de McIntyre y Hobbs (1999) es un paisaje variegado por contener entre el 60-90% de su cobertura original, en donde aún es posible mantener una conectividad natural. La zona Sur se clasifica como un paisaje fragmentado por tener entre un 10 y 60% de su cobertura boscosa (Ramos 2004).

El tipo de bosque según la clasificación de Ramos y Finegan (2005) para los bosques de La Tirimbina, Corinto, Paniagua I, Paniagua II y Manú, se clasifica como bosques de *Pentaclethra*

macroloba con palmas y el bosque de Kay Rica que no tiene dominancia de *Pentaclethra macroloba*, se clasifica como un bosque sin información.

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción de sitios y diseño de las parcelas de estudio

Se seleccionaron seis bosques que cuentan con un plan de manejo forestal aprobado ante el MINAE y que presentan parcelas permanentes de muestreo. Estos bosques, además, tienen un ciclo de corta concluido o que está por finalizar. Los bosques seleccionados fueron, La Tirimbina, Corinto, Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú. Estos bosques fueron divididos en dos categorías: Bosques de investigación científica a largo plazo y Bosques con manejo forestal con fines comerciales.

Los bosques de investigación a largo plazo son Corinto y La Tirimbina, que cuentan con parcelas permanentes de muestreo con un diseño experimental formal, el cual permite llegar a conclusiones con base en pruebas estadísticas. Las parcelas fueron instaladas por personal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

En el bosque de Corinto fue instalada una parcela en 1987, tres en 1988, dos en 1989 y dos más se instalaron en 1990. El área del estudio es de 29,9 ha. En ella se han instalado nueve parcelas de una hectárea (100 m x 100 m), cada una de las cuales esta subdividida en 25 subparcelas de 20 m x 20 m, con una faja de amortiguación de 40 m de ancho.

En 1992 se realizó en Corinto un aprovechamiento en seis parcelas solamente, dejando a tres como Testigo (sin intervención). A este estudio se le ha dado seguimiento a través de mediciones que se realizan periódicamente por personal del CATIE, y de las cuales se han realizado varias publicaciones (Sabogal *et al.* 1991, Carrera 1993, Zoglmeier 1996, Carrera *et al.* 1996, Wagner 1997).

En el bosque de La Tirimbina se instalaron tres parcelas en 1988 y seis en 1990. El área de estudio es de 29,9 ha con diseño de bloques completos al azar, con parcelas de una hectárea (100 m x 100 m) subdivididas en subparcelas de 20 m x 20 m, con una franja de amortiguación de 40 m. Se realizó un aprovechamiento planificado en toda el área. En 1989 se inició con dos parcelas y las siete

restantes se aprovecharon en 1990 (Quirós y Finegan 1994). Se han realizado diversas investigaciones técnicas y científicas utilizando de base esta información generada de las PPM en los 16 años de estudio (Quirós y Finegan 1994, Delgado 1995, Delgado *et al.* 1997, Camacho y Finegan 1997, Mata 1997, Finegan *et al.* 1999, Finegan *et al.* 2001).

Los bosques con manejo forestal con fines comerciales lo conforman: Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú. Estos bosques están siendo manejados por FUNDECOR. Los cuatro bosques fueron aprovechados en 1995 con el método de selección individual en especies con fuste ≥ 60 cm dap. En los bosques de Kay Rica y Manú se instaló una parcela permanente de una hectárea (100 m x 100 m) dividida en 100 subparcelas de 10 m x 10 m. Esta parcela fue instalada después de efectuado el aprovechamiento forestal, por lo tanto no se tienen datos específicos de cuánto fue extraído para esa hectárea, solamente se tienen datos de extracción para el rodal completo.

En los bosques de Paniagua I y Paniagua II, se tomaron como parcelas permanentes de medición las parcelas del inventario. Estas parcelas están ubicadas en los carriles que fueron utilizados en el censo forestal de medición, los cuales están distanciadas cada 70 m con un largo indefinido; dependiendo del largo del bosque. Estas parcelas son de 10 m de ancho y de largo variable (Cuadro 1). En el bosque de Paniagua I se tenían 9 parcelas con un área total de 1,25 ha, para efectos de este estudio se seleccionaron solamente 8 parcelas que conforman 1.0 ha. En el bosque de Paniagua II se tenían 11 parcelas con un área total de 1,46 ha, por lo cual se eligieron 7 subparcelas que constituyen 1.0 ha. Esta medida se realizó para tener un área comparable con los cuatro bosques con plan de manejo forestal comercial.

Cuadro 1. Área total m² de los carriles (PPM) ubicados en los bosques de Paniagua I y II.

Sitio	Subparcela	Área Carril (ha)	Sitio	Subparcela	Área Carril (ha)
Paniagua I	1301	0.12	Paniagua II	1410	0.14
Paniagua I	1302	0.12	Paniagua II	1411	0.07
Paniagua I	1303	0.19	Paniagua II	1412	0.06
Paniagua I	1304	0.25	Paniagua II	1413	0.24
Paniagua I	1305	0.11	Paniagua II	1414	0.12
Paniagua I	1306	0.12	Paniagua II	1415	0.2
Paniagua I	1307	0.16	Paniagua II	1416	0.26
Paniagua I	1308	0.12	Paniagua II	1417	0.1
Paniagua I	1309	0.06	Paniagua II	1418	0.07
Paniagua I	-	-	Paniagua II	1419	0.1
Paniagua I	-	-	Paniagua II	1420	0.1
Total	9	1.25	Total	11	1.46

Fuente: FUNDECOR 2006.

3.2 Antecedentes de investigación y manejo de los bosques estudiados

3.2.1 Generalidades

Los seis bosques seleccionados (Anexo 1) fueron aprovechados con el método de selección individual. Se extrajo el 60% de los árboles comerciales aprovechables con un diámetro mayor a 60 cm de dap, dejando áreas de protección en cauces de agua, fuentes semilleros. También se aplicaron tratamientos silviculturales para favorecer al grupo de las especies comerciales.

Bosque La Tirimbina

El bosque de La Tirimbina fue aprovechado en 1962, cuando se extrajeron las especies *Minquartia guianensis*, *Cedrela odorata*, y *Terminalia amazonia*, y nuevamente en 1980 cuando se incluyó a la especie *Pentaclethra macroloba* (Camacho y Finegan 1997).

El experimento establecido por CATIE a finales de los 80s, incluye tres tratamientos con tres repeticiones cada uno: testigo (solo aprovechado), liberación con refinamiento parcial y dosel protector. En 1989 se realizó el aprovechamiento forestal en dos de las parcelas de una hectárea (4 y 7), en el resto de las parcelas se efectuó a finales de 1990. Posteriormente, en 1991, se aplicó el tratamiento de liberación con refinamiento parcial en las parcelas 3, 5 y 9, que consistió en la eliminación de árboles de especies no comerciales con dap ≥ 40 cm (etapa de refinamiento parcial) y luego de los árboles con dap ≥ 10 cm de cualquier especie que compitieran con los árboles

seleccionados para futura cosecha (etapa de liberación), en un radio de 10 m aproximadamente (Quirós y Finegan 1994).

Las parcelas 2, 4 y 8 fueron tomadas como el grupo “testigo”, en ellas sólo se realizó aprovechamiento. En el resto de las parcelas 1, 6 y 7 se aplicó el tratamiento de dosel protector, este mismo no fue tomado en cuenta para este estudio porque es un tratamiento que ya no se aplica en los bosques normalmente.

Para la primera medición de las parcelas todos los individuos ≥ 10 cm dap fueron medidos y etiquetados en cada subparcela de 20 m x 20 m y fueron identificados a nivel de especie, tomándose las variables de exposición de la copa a la luz, la forma de la copa y la infestación por lianas utilizando escalas descritas en la sección 2.4. Las mediciones de las PPM se iniciaron en 1988 en tres parcelas (3, 4 y 8) y el resto en 1990, fueron anuales hasta 1994 y luego por periodos más extendidos (Camacho y Finegan 1997), la más reciente medición fue en el año 2003.

El número promedio de árboles ≥ 60 cm de dap cortados durante el aprovechamiento fue de 4.3 ha^{-1} , con un volumen promedio de $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El tratamiento en las parcelas liberadas, eliminó un promedio de 72 árboles por ha con dap entre 10 y 60 cm y un promedio de 6.9 m^2 de área basal por ha^{-1} (Camacho y Finegan 1997).

Bosque Laureles de Corinto

El sitio de investigación Laureles de Corinto tiene un área 29.9 hectáreas. En 1987 se instaló la parcela 4, en 1988 las parcelas 1, 2 y 3, en 1989 la 6 y 7, y finalmente las parcelas 5, 8 y 9 en 1990. Los tratamientos fueron tres parcelas testigo o sin intervenir, tres parcelas con aprovechamiento forestal y tres parcelas con aprovechamiento y liberación.

En 1992 se realizó el aprovechamiento forestal en las parcelas 1, 3, 4, 5, 6 y 9, dejando a las parcelas 2, 7 y 8 como parcelas testigo o control. Se aprovecharon en total 200 árboles con un volumen de 609.2 m^3 , en un área de 43 ha. Para esto se contó con el apoyo técnico de FUNDECOR. Este aprovechamiento equivale a un promedio de 4.6 árboles por ha^{-1} para un volumen promedio de $14.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Carrera *et al.* 1996, Wagner 1997).

En 1996 se aplicó un tratamiento silvicultural en las parcelas 3, 5 y 9, como una actividad previa al tratamiento se ejecutó un muestreo diagnóstico que determinó la prescripción del tratamiento de saneamiento, el cual incluyó una liberación dirigida, donde se eliminaron los árboles con $dap \geq 10$ cm dap , que compitieran con árboles seleccionados para futura cosecha. Las parcelas 1, 4 y 6 se quedaron como el tratamiento de aprovechamiento.

Dentro de las parcelas fueron medidos y etiquetados todos los individuos ≥ 10 cm dap identificados a nivel de especie, tomándose las variables de exposición de la copa a la luz, la forma de la copa y la infestación por lianas. Se han realizado 13 mediciones en un periodo de 18 años, la última medición fue realizada en 2006.

Bosque Kay Rica

El plan de manejo forestal del bosque de Kay Rica, está conformado por pequeños propietarios de bosque que conforman un área total de 219 ha, sin embargo, el estudio solo se enfocó a la finca del Sr. Julio Jiménez por ser el predio en el cual se encontraba ubicada la PPM. Este bosque fue aprovechado en 1994, extrayéndose en total 23 árboles con un volumen de 66.6 m^3 . El promedio del número de árboles y volumen es de 2 y $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente. Este bosque ya había sido intervenido anteriormente, por lo cual en el plan de manejo se seleccionaron solamente las especies que presentaban un volumen comercial alto para no afectar la estructura del bosque.

En 1995 se instaló una PPM de una hectárea por parte de los técnicos de FUNDECOR que llevan el control del plan de manejo. La parcela fue dividida en subparcelas de $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, en la cual se registraron todos los árboles ≥ 10 cm dap , se tomaron las variables de forma de fuste e iluminación de la copa, y presencia de lianas en copa y fuste. Esta parcela ha sido medida desde 1995 todos los años hasta 1998 y luego cada dos años, su última medición fue en el 2003. Se han realizado en total seis mediciones.

Bosque Paniagua I y II

El bosque de Paniagua I y Paniagua II son dos bosques contiguos que fueron divididos para facilitar el plan de manejo forestal. En Paniagua I, se aprovechó en un área de 70 ha^{-1} y se extrajeron 30 árboles con un volumen de 122 m^3 . En 1996 se realizó un muestro diagnóstico donde se prescribió el

tratamiento silvicultural de liberación. En el bosque de Paniagua II en un área de 23 ha⁻¹ se aprovecharon 115 árboles con un volumen de 346 m³ ha⁻¹, en 1996 se aplicó un tratamiento silvicultural de liberación de lianas. En 1995 se iniciaron las mediciones de las PPM. Se tomaron como parcelas permanentes de medición las parcelas del inventario forestal.

Bosque Manú

La finca Manú, cuenta con un área total de 146 ha, y tiene un área efectiva para el aprovechamiento de 56 ha. Este bosque fue aprovechado en 1994 –1995 y el plan de manejo fue elaborado por el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR). Se aprovecharon los árboles comerciales ≥ 60 cm dap, extrayéndose 152 árboles con un volumen de 502.94 m³, el nivel de intervención realizado no superó al proyectado en el plan de manejo inicial, llegando a un 60.56% en volumen y un 59.14 % en número de árboles. Fueron aprovechados un promedio de 2.7 árboles por ha⁻¹ con un volumen de 8.9 m³ ha⁻¹.

Se aplicó un tratamiento silvicultural en 1996, en un área efectiva de 56 ha, para esto se realizó un muestreo diagnóstico donde se propuso la liberación de lianas, eliminándose las lianas de 25 arb/ha. Para este tratamiento se tomó en cuenta la información sobre el tipo de liana que estaba afectando a los árboles si era leñosa se cortaba y si era herbácea se dejaba pues se consideró que no tiene ningún efecto negativo en el árbol.

Se realizó también un tratamiento de mejora dirigido a los árboles deseables sobresalientes, lo que implicó realizar una remoción de fustes viejos, defectuosos, y sin valor comercial. Estas actividades se realizaron en un periodo de cuatro años donde primero se eliminaron las lianas y se aplicó el tratamiento de mejora y al final se efectuó una evaluación del bosque remanente.

En 1995 FUNDECOR instaló una parcela permanente de medición de una hectárea, esta parcela fue dividida en subparcelas de 10 m x 10 m, se registraron e identificaron todos los árboles ≥ 10 cm dap, y las variables de forma de fuste e iluminación de la copa, y presencia de lianas en copa y fuste. Esta parcela ha sido medida periódicamente, y luego más espaciada, en total se han realizado seis mediciones.

3.2.2 Mediciones

Las mediciones de las PPM de los sitios de investigación a largo plazo del CATIE, se mantienen en bases de datos que maneja el Departamento de Recursos Naturales y Ambiente. En cada remediación de estas parcelas se registran todos los árboles, palmas y lianas con diámetro ≥ 10 cm de dap de cada subparcela. El diámetro se mide a 1.30 m de altura con una cinta diamétrica, pero en caso de presentar gambas o alguna alteración se mide a 30 cm por encima de estas. Todos los individuos son registrados con un código único colocado en una placa de aluminio con una numeración ascendente y son identificados a nivel de especie por Nelson Zamora, botánico curador del INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica).

Las variables que se toman para cada uno de los individuos son: la exposición de la copa (emergente, plena iluminación superior, alguna iluminación superior, iluminación lateral solamente, ninguna iluminación directa) forma de la copa (círculo entero, círculo irregular, medio círculo, menos de medio círculo y con solamente pocas ramas) grado de infestación de la copa del árbol por lianas (0–19%, 20–39%, 40–59%, 60–79%, 80–100% del volumen de la copa infestado), forma de fuste (maderable, potencialmente maderable, deformada, dañado y podrida) y por último la condición del árbol (muerto en pie, en el suelo, desraizado, quebrado o descopado, muerto por caída de ramas-lianas, por caída de árbol, no apareció y otros). A cada una de las categorías se les asigna un valor numérico (1-5, etc.).

Se registra los individuos reclutas y los muertos. Los reclutas o ingresos se consideran a todos los individuos que sobrepasaron el umbral ≥ 10 cm dap y no habían sido incluidos en mediciones anteriores. Estos reclutas se identificaron y registraron a nivel de especie. Los muertos son aquellos individuos que se registraron vivos en alguna de las mediciones y que posteriormente en remediciones el individuo estaba muerto, en este caso se registró la causa de su muerte de acuerdo a los códigos que se contemplan en la variable condición del árbol (ver párrafo anterior).

Los registros de las PPM de bosques con aprovechamiento forestal comercial se mantienen en bases de datos manejadas por FUNDECOR. Para cada medición se registran todos los árboles ≥ 10 cm dap en cada parcela de 1 ha dividida en 10 m x 10 m y se identifican de ser posible a nivel de

especie. Las variables evaluadas fueron: forma del fuste (buena, regular y mala), iluminación de la copa (iluminación vertical y lateral plena, iluminación vertical plena, iluminación vertical parcial, únicamente iluminación oblicua y sin iluminación). Por último se registró la presencia de lianas (sin lianas, lianas en el fuste, lianas en fuste y copa sin afectar crecimiento y lianas en el fuste y copa afectando crecimiento).

3.3 Análisis de la información

3.3.1 Cambios en la estructura y composición y dinámica por bosque

3.3.1.1 Estructura del bosque

En el bosque de Corinto se utilizó la información de las nueve parcelas en los años 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000 y 2006. En el bosque La Tirimbina, se utilizó la información de 6 parcelas, 3 con aprovechamiento y 3 con aprovechamiento y liberación. Se utilizó la información de los años 1990, 1991, 1993, 1994, 1996 1998, 2000 y 2003.

En el caso de los cuatro bosques con aprovechamiento forestal comercial se tomó los datos de las cuatro parcelas desde la primera medición (1995) hasta la última.

Para todos los sitios se tomaron como variables de respuesta: el número de árboles total ($N \text{ ha}^{-1}$), el número de árboles por clase diamétrica ($N \text{ ha}^{-1}$), el área basal total ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y el área basal por clase diamétrica ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Esta información se utilizó para los árboles del rodal completo, árboles comerciales, árboles de futura cosecha y árboles de segunda cosecha, de acuerdo a la clasificación usada por CATIE (Cuadro 2). En el caso de los bosques de Corinto y La Tirimbina, el análisis de los datos se realizó separando las parcelas para cada tratamiento.

Cuadro 2. Agrupación de árboles en grupos, y variables evaluadas en seis bosques del Norte de Costa Rica.

Grupo	Características	Variabes a evaluar
Rodal Completo	Todos los árboles ≥ 10 cm de dap, palmas y lianas.	N Total, N por clase diamétrica, G total, G por clase diamétrica
Grupo de árboles Comerciales	≥ 10 cm de dap, árboles aceptables (árboles comerciales) y deseables.	N Total, N por clase diamétrica, G total, G por clase diamétrica
Grupo de árboles de Futura Cosecha	≥ 10 cm de dap y ≤ 60 cm de dap aceptables y deseables, fuste recto (1 troza de 4 m) y copa redonda y de buena forma	N Total, N por clase diamétrica, G total, G por clase diamétrica, incrementos diamétricos
Grupo de árboles de Segunda Cosecha	≥ 60 cm de dap y catalogados como aceptables y deseables con forma de fuste recto (1 troza de 4 m) y copa redonda o de buena forma.	N Total, N, G total,

Para el caso de los bosques de Corinto y La Tirimbina, se realizaron comparaciones entre tratamientos y entre años para cada una de las variables y grupos antes descritos. En Corinto se aplicó un ANDEVA, para realizar comparaciones entre tratamientos para cada uno de los años de medición, en este caso se tomaron los años 1992, 1993, 1996, 1997, 1998, 2000 y 2006. Se utilizó una prueba posterior de comparaciones de medias de *Fisher* con un nivel de significación de 5%.

Se realizó una prueba de t de Student para muestras apareadas para comparar entre los años 1992 y 2000, 2000 y 2006, 1992 y 2006 dentro de un mismo tratamiento, con la finalidad de comparar las variables analizadas antes, durante y después del aprovechamiento.

En el bosque de La Tirimbina se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes para realizar comparaciones entre los tratamientos para cada uno de los años de medición; en este caso se analizaron los años 1990, 1991, 1993, 1994, 1996, 1998 y 2003. Nuevamente se aplicó una prueba de t de Student para muestras apareadas para realizar comparaciones entre años dentro de un mismo tratamiento, comparándose los años 1990 y 1993, 1993 y 2003, 1990 y 2003, es decir antes (1990), tres años después (1993) y diez años después (2003).

Los cuatro bosques con plan de manejo forestal comercial, como solo cuentan con una parcela de una hectárea cada uno, solamente se analizaron las tendencias por medio de gráficos y cuadros para el total de mediciones realizadas en cada uno de los bosques.

3.3.1.2 Análisis de incremento de área basal

Para este análisis se consideró solamente al grupo de árboles de futura cosecha, que presentaran un diámetro inicial y un diámetro final a la última medición (no muertos). El incremento se tomó para

solo un periodo de tiempo, el más largo en cada caso. Se realizó un análisis de varianza para comparar medias entre los tratamientos.

3.3.1.3 Mortalidad y Reclutamiento

Este análisis se hizo únicamente para el rodal entero. Con los números de reclutas y muertos por periodo del estudio se estimó tasas de reclutamiento y mortalidad. La tasa de reclutamiento se determinó con los árboles que ingresaron a la clase diamétrica más baja (10-19.9 cm dap). La mortalidad natural es el número de árboles muertos/ha por causas distintas al aprovechamiento forestal. La tasa de mortalidad natural se calculó mediante el modelo logarítmico propuesto por Lieberman y Lieberman (1987):

$$m=100(\log_e N_i - \log_e N_f)/t$$

donde:

m = tasa de mortalidad

N_i = número inicial de árboles

N_f = número final de árboles (sin incluir reclutas), ósea, los sobrevivientes del grupo inicial

t = tiempo

3.3.1.4 Composición florística

La descripción de la composición de la vegetación se realizó con base en el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual fue propuesto por Curtis y McIntosh (1950), considerando los parámetros de abundancia, dominancia y frecuencia relativa para cada una de las especies asignándoles un valor para la determinación de la importancia ecológica de las especies. Para esto, en los dos bosques con fines de investigación se tomó el año antes del aprovechamiento y el último año de medición, y para los bosques con fines comerciales se tomó el primer año de medición y el último, comparándose entre si para detectar los cambios ocurridos en este transcurso de tiempo.

El IVI se obtuvo de la siguiente manera, (Curtis y McIntosh 1950):

$$IVI \text{ especie} = A\% + D\% + F \%$$

donde: $A\%$ = Abundancia relativa de la especie, calculada como $A/N \times 100$, A = Número de individuos de la especie, N = Número total de individuos, $D\%$ = Dominancia relativa de la especie, calculada como $D/G \times 100$, D = Suma de áreas basales de todos los individuos de la especie, G = Suma de áreas basales de todos los individuos, $F\%$ = Frecuencia relativa de las especies, calculada como $F/S \times 100$, F = Número de subparcelas donde ocurre la especie/ número total de subparcelas, S = Suma de las frecuencias absolutas de todas las especies.

El índice de similaridad de Chao-Jaccard según Chao *et al.* (2005) fue calculado mediante el programa de EstimateS (Colwell 2005). El índice es el Chao-Jaccard, que utiliza la abundancia de cada especie en cada parcela, y estima la verdadera similaridad (como cualquier muestreo estima parámetros de una población) tomando en cuenta el número probable de especies que se encuentran en ambas comunidades, pero que no se encuentran en ambas comunidades pero que se encuentran en las muestras. Por medio de procedimiento *bootstrap* genera una medición de la varianza de la estimación de la similaridad. Esto permite determinar, entre otras cosas, si un cambio en el tiempo de la composición (similaridad inicial – final ≤ 1.0) es significativa, viendo si el valor de similaridad es $1.0-2$ (error estándar), que $=p \leq 0.05$.

3. RESULTADOS

3.1. Cambios en la dinámica estructural del bosque

Esta sección inicia con un análisis descriptivo del recambio en los bosques de estudio, el cual establece un marco general de importancia primordial para el resto del estudio (Ver Lieberman *et al.* 1985, Swaine *et al.* 1987, Finegan y Camacho 1999, Putz *et al.* 2000). En seguida describe los cambios en estructura horizontal (número de árboles y área basal) dados en el transcurso del tiempo antes y después del aprovechamiento forestal.

3.1.1 Mortalidad y Reclutamiento

En el bosque de Corinto se realizó un análisis de los cambios estructurales por cada tratamiento separando la mortalidad natural y la causada directamente por el tratamiento (Cuadro 3). Durante los catorce años de monitoreo, de la población inicial en el rodal testigo, el 73% de los árboles sobrevivieron, la mortalidad natural fue mayor que el reclutamiento. El área basal presentó un aumento de $2.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para el año 2006.

En el tratamiento de Aprovechamiento redujo un 1.4%, del número total de árboles del periodo (1992-2006), por muerte natural un 35.7%, mientras que el reclutamiento al 2006 representó el 35 %, ligeramente inferior a la mortalidad natural. En cuanto al área basal se observó un aumento de 1% con respecto del al área basal inicial, lo que pudiera ser porque algunos individuos respondieran a la intervención por un incremento en diámetro.

En el tratamiento de Liberación de la población original el 35.2% se redujo por muerte natural, el 8.1% por aprovechamiento, mientras que el reclutamiento al año 2006 significó un 38.7%, habiendo una reducción del 4.5 % de la población final. El área basal final se redujo un 9%, con respecto a la población inicial.

Al aplicar una prueba de t apareada, se observaron diferencias significativas en el reclutamiento. Este fue menor en el periodo 1992-1993 que en el periodo 2000-2006 ($t=10$, $p=0.02$), para los tres tratamientos. De igual forma hubo diferencias significativas en la mortalidad natural en los tres tratamientos ($t=7$, $p=0.04$) para el primer y último año. Sin embargo estas diferencias pueden ser

porque en el periodo 2000-2006 existe una mayor acumulación porque el periodo de tiempo es más amplio.

Entre tratamientos (Fig. 2) se mostraron diferencias significativas en la mortalidad natural antes del aprovechamiento, sin embargo para el último periodo no mostraron diferencias. El reclutamiento fue mayor en el último periodo (2000-2006) en el tratamiento de Liberación. Esto puede ser debido a que en este tratamiento se tuvo una mayor apertura del dosel provocando mayor cantidad de claros y por lo tanto mayor entrada de luz, permitiendo la instalación a las especies heliófitas o de rápido crecimiento.

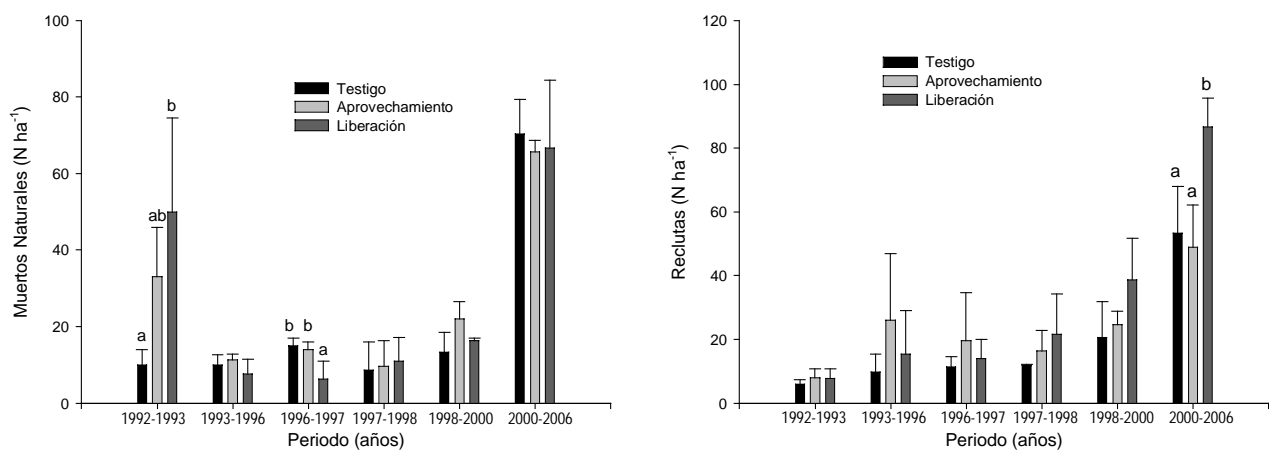


Figura 2. Cambios en el tiempo de medias del número a) Muertos Naturales y b) Reclutas en el bosque de Corinto, zona Norte de Costa Rica. Letras distintas significan diferencias. Andeva seguida LSD Fisher.

Cuadro 3. Cambios en el número de árboles y área basal (≥ 10 cm dap), durante 1992-2006, para los tres tratamientos en un área total de 9 ha en el bosque de Corinto, Costa Rica. A=árboles aprovechados.

Tratamiento	1992	Reclutas	Muertos	A	2006		Cambio
					(Sobrevivientes)	Total	
<i>Testigo</i>							
N árboles	1429	334	372	-	1057	1391	-38 (2.6%)
Área basal (m ²)	87.32	27.22	24.52	-	62.8	90.02	2.7 (3.0 %)
<i>Aprovechamiento</i>							
N árboles	1301	460	465	19	817	1277	-24 (1.8 %)
Área basal (m ²)	81.42	33.12	32.28	8.337	40.81	82.36	0.94 (1.1%)
<i>Liberación</i>							
N árboles	1372	532	483	17	872	1309	-63 (4.5 %)
Área basal (m ²)	87.33	34.27	28.28	6.83	45.15	79.42	-7.9 (9.0%)

En el bosque La Tirimbina, en el tratamiento de Aprovechamiento sobrevivieron el 70% de la población inicial, el 26% de los árboles murieron por causas naturales el 4% por aprovechamiento o efecto de este. Hubo un aumento en la densidad de individuos para el año 2003, mostrándose un cambio positivo de 6 %, lo que sugiere que a pesar del aprovechamiento en la población se produjo un cambio en el tamaño de la población debido al alto reclutamiento (Cuadro 4).

El tratamiento de Liberación redujo un 15% el número de árboles, un 8% por muerte de árboles dañados, 23% por muerte natural, mientras que el 48.8% lo aportaron los ingresos (reclutas) en el periodo 1990-2003. Hubo un aumento del 3.3% a la población final. En cuanto al área basal a pesar de que hubo mayor reclutamiento esta disminuyó un 11% con respecto al área basal total de 1990. Esta disminución es atribuida al tratamiento silvicultural y al hecho de que los árboles grandes fueron eliminados por el tratamiento y son reemplazados por el reclutamiento de árboles pequeños.

En el reclutamiento no se observaron diferencias significativas al aplicar una prueba de t apareada entre el primer y último año, para ninguno de los dos tratamientos. Sin embargo en la mortalidad natural fue mayor en el tratamiento de Liberación ($t=5.5$, $p=0.03$).

Entre tratamientos no se observaron diferencias significativas para el reclutamiento y la mortalidad natural (Fig. 3).

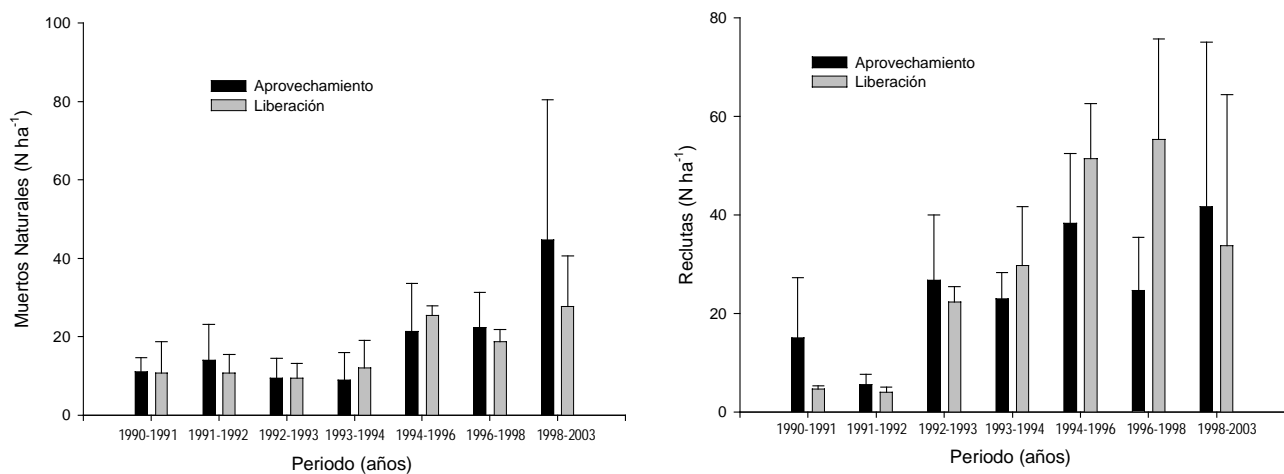


Figura 3. Cambios en el tiempo de medias del número a) Muertos Naturales y b) Reclutas en el bosque de La Tirimbina, zona Norte de Costa Rica. Letras distintas significan diferencias. Prueba de t de student.

Cuadro 4. Cambios en el número de árboles y área basal (≥ 10 cm dap), en los tres tratamientos, durante 1992-2006, en un área total de 9 ha en el bosque de La Tirimbina, La Virgen, Costa Rica.

Tratamiento	1990	Reclutas	Muertos	MA	MD	ML	2003	2003	Cambio
<i>Aprovechamiento</i>									
N árboles	1513	532	390	17	36	-	1070	1602	89 (5.8%)
Área basal (m ²)	65.8	34.4	16.8	5.8	1.22	-	42	76.4	10.6 (16 %)
<i>Liberación</i>									
N árboles	1448	716	334	7	111	216	780	1496	48 (3.3%)
Área basal (m ²)	75.5	33	14.5	3	3.5	20.7	33.6	67.04	-8.4 (11%)

MA=Aprovechados, MD = Muertos por daño, ML= Muertos por anillamiento

Al igual que en los dos estudios experimentales los cuatro bosques manejados mostraron tasas elevadas de recambio tanto de número de individuos como de área basal (Cuadro 5). El número de reclutas en los ocho y nueve años de estudio osciló entre un 16% y casi un 30% de la población inicial y el número de muertos entre un 19% y un 22%. En cuanto al área basal, los reclutas conformaron entre un 4.7% y casi un 8% del área basal final, mientras que los muertos conformaron entre un 20% y un 26% del área basal final. No obstante este recambio, los cambios netos fueron pequeños, y los valores se encuentran dentro del rango de bosques primarios (Lieberman *et al.* 1985, Cátedra Latinoamericana de Ecología y Manejo de Bosques Tropicales, datos sin publicar).

Cuadro 5. Cambios en el número de árboles y área basal (≥ 10 cm dap), en 1.0 ha en cuatro bosques manejados del Norte de Costa Rica.

Sitio	N-1995	Reclutas	Muertos	Sobrevivientes 2003	N-2003	Cambio
<i>Manú</i>						
N árboles	501	81	97	404	485	-16 (-3.1%)
Área basal (m ²)	26.6	1.2	5.4	25.4	26.68	0.08 (0.12%)
<i>Kay Rica</i>						
N árboles	467	98	106	361	459	-8 (-1.71%)
Área basal (m ²)	20.32	1.38	5.07	19.8	21.18	0.86 (4.2%)
	<i>N-1995</i>			<i>2003</i>	<i>N-204</i>	
<i>Paniagua I</i>						
N árboles	449	134	92	357	491	42 (9.3%)
Área basal (m ²)	27.7	2.18	7.29	25.2	27.4	-0.30 (-1.0%)
<i>Paniagua II</i>						
N árboles	448	124	93	355	479	31(6.9%)
Área basal (m ²)	29.9	1.98	7.07	28	30.02	0.12 (0.4%)

La tasa anual de mortalidad natural estimada (Cuadro 6), en el bosque de Corinto en el periodo 1992-2006, en las parcelas Testigo fue de 2.5%. En otros bosques sin intervenir la tasa de mortalidad es similar como es el caso de La Selva donde la tasa de mortalidad durante un periodo de estudio de 13 años fue de 2.03% (Lieberman *et al.* 1985). Las medias de las tasas de mortalidad

fueron superiores en las parcelas aprovechadas, sin embargo, el ANDEVA no mostró diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 6). En La Tirimbina las tasas de mortalidad se encontraron entre los valores de Corinto y la citada para La Selva por Lieberman y colaboradores (1985), aunque para La Tirimbina la mortalidad fue significativamente mayor en el tratamiento de Liberación, 1993-1996 (Finegan y Camacho 1999).

Cuadro 6. Tasa anual de mortalidad natural (M%), de árboles ≥ 10 cm dap, (modelo de Lieberman y Lieberman 1987), desviación estándar (DE) y Población Inicial de árboles vivos (Ni), para dos bosques aprovechados por tratamiento. Prueba de Andeva.

Bosque	Tratamiento	Periodo	Ni	M %	DE	N	p
Corinto	Aprovechamiento	1992-2006	434	3.68	0.5	3	0.21
Corinto	Liberación	1992-2006	457	3.68	1.19	3	0.21
Corinto	Testigo	1992-2006	476	2.57	0.42	3	0.24
Tirimbina	Aprovechamiento	1990-2003	504	2.46	0.52	3	0.71
Tirimbina	Liberación	1990-2003	483	2.27	0.66	3	0.71

En los cuatro bosques manejados comercialmente la tasa de mortalidad natural total fue muy similar al rango de valores para La Selva. El bosque Paniagua I presentó una tasa de mortalidad de 2.2% para el periodo completo (1995-2004), en el bosque de Paniagua II fue de 2.3 % del año 1995 al 2004, en Kay Rica fue de 2.1%, en el periodo de 1995-2003, y por último en el bosque de Manú el porcentaje de mortalidad fue de 1.7% (1995-2003). Estos bosques están dentro del mismo rango, parece no existir variaciones entre bosques manejados, sin embargo se tiene una cantidad de repeticiones muy baja lo cual le resta potencia estadística al estudio.

Los muertos naturales por clase diamétrica en el bosque de Corinto, entre los tratamientos por categoría diamétrica, se encontraron diferencias estadísticamente significativas, en los años 1992-1993 en la clase 10-19.9 ($p=0.024$), y de igual forma en los años 1996-1997 ($p=0.002$). La mortalidad natural fue mayor en los tratamientos de aprovechamiento y de Liberación; estas diferencias podrían atribuirse a la intensidad de los tratamientos. Sobre todo en el año 1993 que fue después del aprovechamiento y el año 1997 que fue un año después de los tratamientos de liberación.

En el periodo 2000-2006 se presentó una mortalidad mayor ($p=0.03$) en la clase ≥ 60 en las parcelas testigo, estas diferencias de mortalidad en las parcelas testigo fueron influenciadas por efectos de vientos presentados en la zona que causó el derribe de árboles (observaciones personales de la autora). En el bosque de La Tirimbina se tienen diferencias en el año 1998 en la clase 20-29.9

($p=0.03$) donde fue mayor la mortalidad en las parcelas de Aprovechamiento que en las parcelas de Liberación.

3.1.2 Cambios en densidad de árboles y área basal por grupos de rodal completo, árboles comerciales, de futura cosecha y segunda cosecha por bosque

3.1.2.2 Bosques con aprovechamiento con fines de investigación

En cuanto al grupo de árboles del rodal completo del bosque Corinto (Cuadro 7 y Fig.4), el número de árboles totales y por clase diamétrica no mostró cambios significativos entre los años 1992 y el 2000 y entre los años 1992 y 2006. El área basal total mostró diferencias estadísticamente significativas en las parcelas con tratamiento de Liberación ($t=12.84$, $p=0.0060$) al reducirse para el año 2000. Caso contrario en las parcelas del tratamiento testigo que aumentó el área basal total para este año ($t=-6.66$, $p=0.0218$).

En la variable área basal por clases diamétricas se mostraron cambios en el tratamiento Testigo en la clase diamétrica ≥ 60 cm dap, al presentar un área basal promedio menor en el año 1992 ($8.35 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) que para el año 2000 ($10.01 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Sin embargo a trece años de medición no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para el área basal total y por clase diamétrica.

Cuadro 7. Medias del número de árboles y área basal por hectárea, $dap \geq 10$ cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, en el bosque Corinto, Costa Rica.

Tratamiento	Clases diamétricas	Años de estudio Corinto					
		1992		2000		2006	
		N	G	N	G	N	G
Testigo	10-19.9	276 (43)	4.43 (0.6)	272 (38)	4.19 (0.7)	269 (28)	4.28 (0.5)
	20-29.9	88 (25)	4.24 (1.2)	88 (17)	4.20 (0.8)	77 (19)	3.80 (0.9)
	30-39.9	55 (31)	5.14 (2.9)	55 (29)	5.28 (2.8)	52 (21)	4.81 (1.9)
	40-49.9	23 (8)	3.55 (1.2)	28 (12)	4.32 (1.7)	31 (13)	4.70 (2.0)
	50-59.9	15 (4)	3.41 (0.8)	14 (3)	3.27 (0.8)	16 (4)	3.81 (0.9)
	≥ 60	20 (12)	8.35 (5.4)	23 (10)	10.01 (5.2)	19 (12)	8.60 (6.2)
	<i>N Total</i>	<i>476 (97)</i>	<i>29.11 (1.2)</i>	<i>480 (81)</i>	<i>31.27 (1.2)</i>	<i>464 (64)</i>	<i>30.01 (0.2)</i>
Aprovechamiento	10-19.9	253 (43)	4.03 (0.6)	265 (57)	4.32 (0.9)	239 (56)	4.05 (0.9)
	20-29.9	80 (20)	3.77 (0.9)	78 (22)	3.65 (1.1)	77 (18)	3.64 (0.7)
	30-39.9	44 (4)	4.11 (0.5)	43 (4)	4.04 (0.3)	46 (15)	4.29 (1.3)
	40-49.9	24 (8)	3.74 (1.1)	27 (4)	4.21 (0.5)	29 (5)	4.52 (0.8)
	50-59.9	13 (3)	2.87 (0.7)	15 (4)	3.48 (0.8)	17 (5)	4.06 (1.2)
	≥ 60	20 (9)	8.63 (4.3)	13 (4)	5.6 (1.9)	17 (6)	6.91 (2.6)
	<i>N Total</i>	<i>434 (66)</i>	<i>27.15 (3.4)</i>	<i>442 (71)</i>	<i>25.31 (.5)</i>	<i>425 (82)</i>	<i>27.46 (2.7)</i>
Liberación	10-19.9	267 (28)	4.32 (0.5)	258 (4)	4.08 (0.1)	266 (13)	4.34 (0.2)
	20-29.9	82 (4)	3.80 (0.3)	71 (7)	3.24 (0.3)	77 (5)	3.49 (0.2)
	30-39.9	40 (6)	3.82 (0.5)	36 (8)	3.38 (0.6)	37 (5)	3.50 (0.3)
	40-49.9	30 (6)	4.69 (0.8)	23 (2)	3.65 (0.2)	25 (4)	4.03 (0.4)
	50-59.9	18 (1)	4.31 (0.2)	15 (3)	3.56 (0.5)	13 (6)	3.10 (1.3)
	≥ 60	20 (10)	8.19 (4.3)	15 (4)	6.40 (2.6)	18 (2)	8.01 (2.1)
	<i>N Total</i>	<i>457 (31)</i>	<i>29.12 (2.2)</i>	<i>418 (1)</i>	<i>24.31 (2.1)</i>	<i>436 (21)</i>	<i>26.47 (2.5)</i>

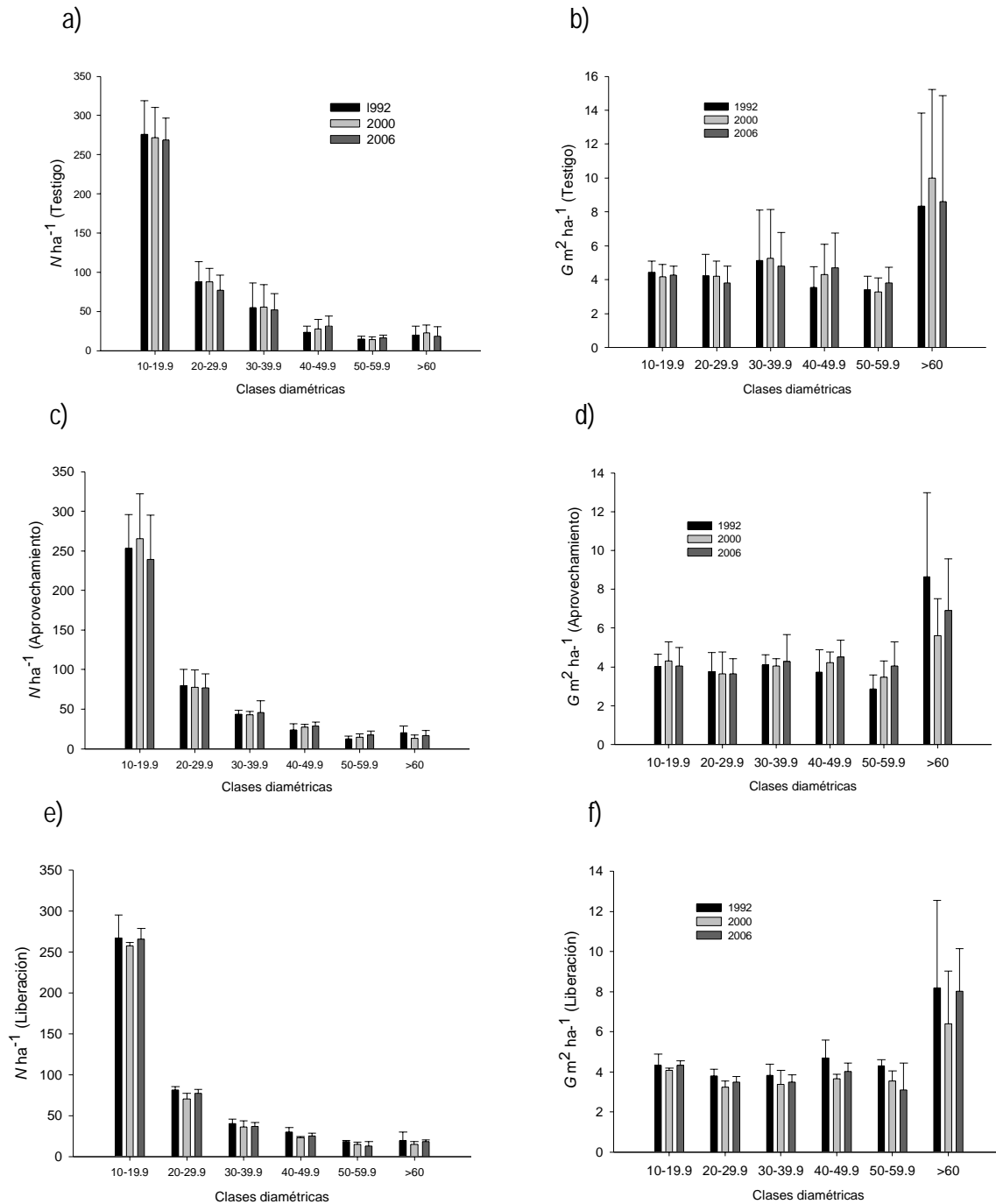


Figura 4. Cambios en el tiempo de medias del número de árboles $N\ ha^{-1}$ y área basal $G\ m^2\ ha^{-1}$ por clase diamétrica y desviación estándar. a) N Testigo, b) G Testigo, c) N Aprovechamiento, d) G Aprovechamiento, e) N Liberación, f) G Liberación, bosque Corinto, Costa Rica.

En el bosque Corinto no mostró cambios entre tratamientos (Fig. 5) en el número de árboles total y por categoría diamétrica. Sin embargo, no así en área basal, pues en el año 1993 las parcelas Testigo mostraron un área basal total mayor que en las parcelas de Aprovechamiento y en las de Liberación ($p=0.021$). Estas diferencias entre tratamientos se mantuvieron para los siguientes años:

1996 ($p=0.014$), 1997 ($p=0.0005$), 1998 ($p=0.0004$) y 2000 ($p=0.002$). Pero ya para el 2006 el G de las áreas intervenidas se había recuperado.

De igual forma se presentaron diferencias en el área basal por clases diamétricas. En el año 1996 ($p=0.0551$), en la categoría diamétrica 50-59.9 cm dap, el tratamiento de Aprovechamiento mostró un área basal menor que el tratamiento de Liberación sin embargo al comparar con el tratamiento Testigo no mostró diferencias.

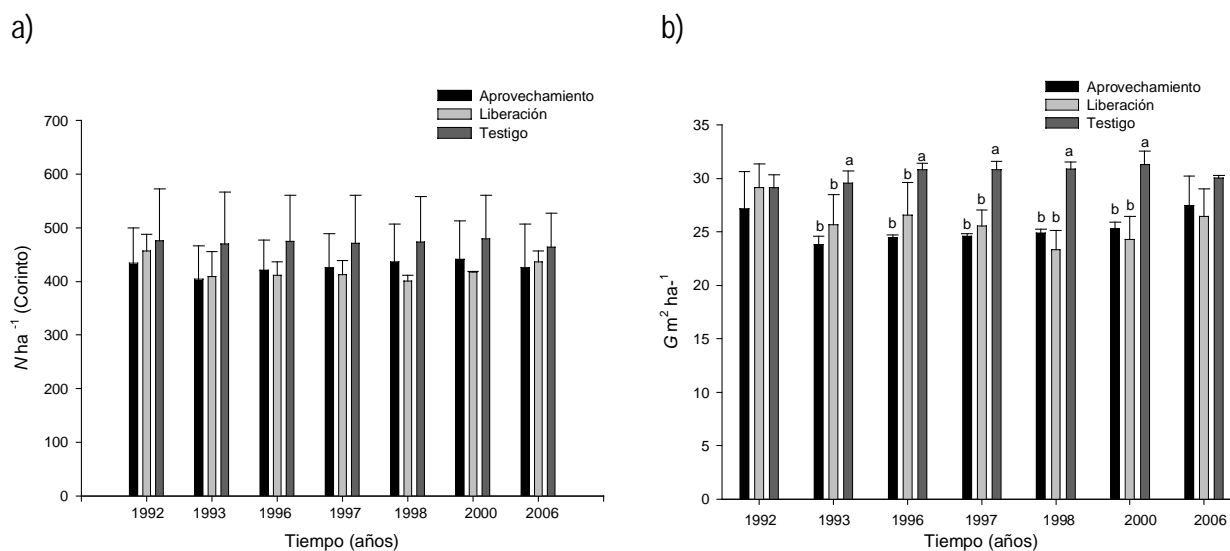


Figura 5. a) Densidad de árboles total ($N\ ha^{-1}$) y b) área basal total, ($G\ m^2\ ha^{-1}$) $\geq 10\ cm\ dap$, desviación estándar para el periodo completo (1992-2006) del bosque Corinto. Letras diferentes significan diferencias significativas. ANDEVA y prueba de LSD de Fisher.

El grupo de árboles comerciales del bosque de Corinto, el número total de árboles mostró diferencias significativas (Cuadro 8 y Fig. 6) al comparar el año 1992 y el 2000. El tratamiento de Aprovechamiento presentó menor número de árboles ($t=5.48$, $p=0.0317$) en el año 2000, sin embargo, estas diferencias ya no se observaron para el 2006. De igual forma en el tratamiento de Liberación se observaron cambios entre el año 1992 y el 2006 presentando una disminución del número de árboles a trece años del aprovechamiento ($t= 9.57$, $p=0.0107$). No obstante el número de árboles por categoría diamétrica no presentó cambios estadísticamente significativos ($p\leq 0.05$).

El área basal total del grupo de árboles comerciales en el tratamiento de Liberación, mostró una disminución ($t=7.31$, $p=0.001$) a ocho años de aprovechamiento (2000), no obstante a los trece años (2006) las diferencias no fueron estadísticamente significativas. En el tratamiento testigo entre el año

1992 y el 2000 se tuvieron diferencias ($t=-10.78$, $p=0.008$) pues el área basal al inicio fue menor que en el año 2000.

El área basal por categoría diamétrica presentó diferencias significativas entre años dentro de un mismo tratamiento en las parcelas de Aprovechamiento. En la categoría 10-19.9 ($t=4.3$, $p=0.050$), el año 1992 presentó un área basal mayor que en el año 2000 al igual que en la clase 20-29.9 ($t=4.85$, $p=0.039$). El área basal fue menor en el año 2000, en la clase diamétrica 30-39.9 se observaron diferencias entre el año 1992 y el 2000 ($t=-4.92$, $p=0.038$) y entre el 2000 y el 2006 ($t=5.93$, $p=0.027$), esto fue porque para el área basal es mayor en el año 2000 que en los otros dos años.

De igual forma se presentaron diferencias en el Testigo en la clase 50-59.9 ($t=-6.65$, $p=0.021$) entre los años 2000 y 2006 pues el área basal disminuyó en el año 2006, en la clase ≥ 60 cm dap se tienen diferencias ($t=-5.82$, $p=0.0085$) entre el año 1992 y el 2000, pues aumentó el área basal en el 2006. Estas diferencias ya no se observan para el 2006 pues el área basal disminuyó y no presenta diferencias con el año 1992.

Cuadro 8. Medias del número de árboles y área basal de árboles comerciales ha⁻¹, dap \geq 10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, en el bosque Corinto, Costa Rica.

Tratamiento	Clases diamétricas	Años de estudio Corinto					
		1992		2000		2006	
		N	G	N	G	N	G
Testigo	10-19.9	64 (11)	1.10 (0.2)	60 (6)	0.98 (0.1)	54 (1)	1.11 (0.3)
	20-29.9	43 (18)	2.12 (0.9)	44 (11)	2.13 (0.6)	38 (14)	1.70 (0.6)
	30-39.9	37 (23)	3.41 (2.1)	35 (19)	3.40 (1.8)	32 (12)	1.78 (0.9)
	40-49.9	18 (8)	2.67 (1.1)	23 (12)	3.51 (1.7)	23 (11)	1.85 (0.9)
	50-59.9	10 (3)	2.24 (0.7)	10 (2)	2.39 (0.3)	12 (2)	1.91 (0.3)
	\geq 60	12 (10)	5.16 (4.6)	15 (9)	6.43 (4.6)	13 (9)	3.93 (2.4)
	N Total	183 (48)	16.71 (3.3)	186 (42)	18.83 (3.0)	172 (30)	12.27 (0.8)
Aprovechamiento	10-19.9	54 (14)	0.86 (0.2)	50 (13)	0.81 (0.2)	52 (13)	0.88 (0.2)
	20-29.9	40 (14)	1.96 (0.6)	33 (14)	1.65 (0.7)	27 (10)	1.38 (0.4)
	30-39.9	30 (3)	2.81 (0.3)	31 (4)	2.88 (0.3)	29 (14)	2.79 (1.3)
	40-49.9	17 (8)	2.62 (1.1)	19 (2)	2.93 (0.4)	21 (4)	3.29 (0.5)
	50-59.9	10 (4)	2.18 (0.7)	12 (4)	2.83 (0.9)	14 (6)	3.31 (1.5)
	\geq 60	14 (8)	5.89 (3.3)	10 (5)	4.27 (2.3)	14 (8)	5.55 (3.3)
	N Total	165 (28)	16.32 (2.5)	155 (27)	15.37 (1.6)	158 (29)	17.19 (2.7)
Liberación	10-19.9	63 (1)	1.03 (0.0)	54 (8)	0.84 (0.1)	58 (4)	0.95 (0.0)
	20-29.9	31 (2)	1.5 (0.0)	24 (5)	1.13 (0.2)	29 (5)	1.38 (0.2)
	30-39.9	29 (4)	2.82 (0.5)	23 (4)	2.19 (0.3)	21 (1)	2.10 (0.1)
	40-49.9	22 (5)	3.49 (0.8)	19 (1)	2.98 (0.2)	20 (2)	3.18 (0.2)
	50-59.9	13 (1)	3.08 (0.3)	12 (4)	2.86 (0.8)	10 (5)	2.48 (1.2)
	\geq 60	13 (8)	5.02 (2.9)	8 (1)	3.03 (0.5)	12 (0)	5.25 (1.3)
	N Total	172 (1)	16.93 (1.7)	140 (11)	13.04 (1.0)	150 (4)	15.35 (2.4)

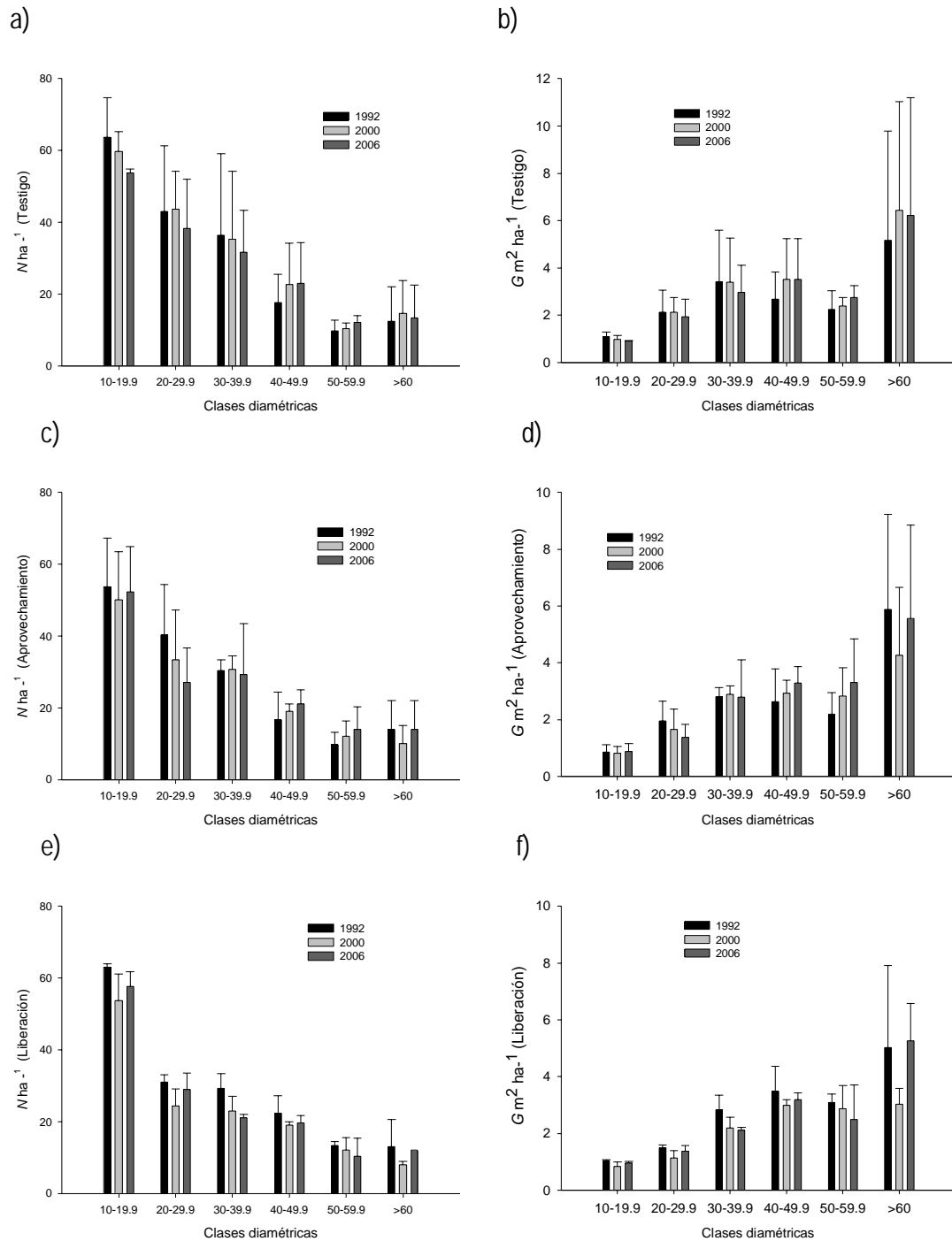


Figura 6. Número de árboles comerciales por clases diamétricas ($N\ ha^{-1}$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) $\geq 10\ cm\ dap$, desviación estándar, para los años 1992, 2000 y 2006 a) N, Testigo, b) G, Testigo, c) N, Aprovechamiento, d) G Aprovechamiento, e) N Liberación, f) G, Liberación, bosque Corinto, CR.

El bosque de Corinto en el grupo de árboles comerciales (Fig. 7), no mostró cambios estadísticamente significativos en el número de árboles total y por categoría diamétrica entre tratamientos del periodo completo de medición (1992-2006).

El área basal total presentó diferencias entre tratamientos en el año 1998 ($p=0.0285$), el tratamiento de Liberación mostró menor área basal que el testigo. En el año 2000 se observaron diferencias ($p=0.037$), por que el tratamiento testigo tenía $5.79 \text{ G m}^2 \text{ ha}^{-1}$ más que el tratamiento de Liberación.

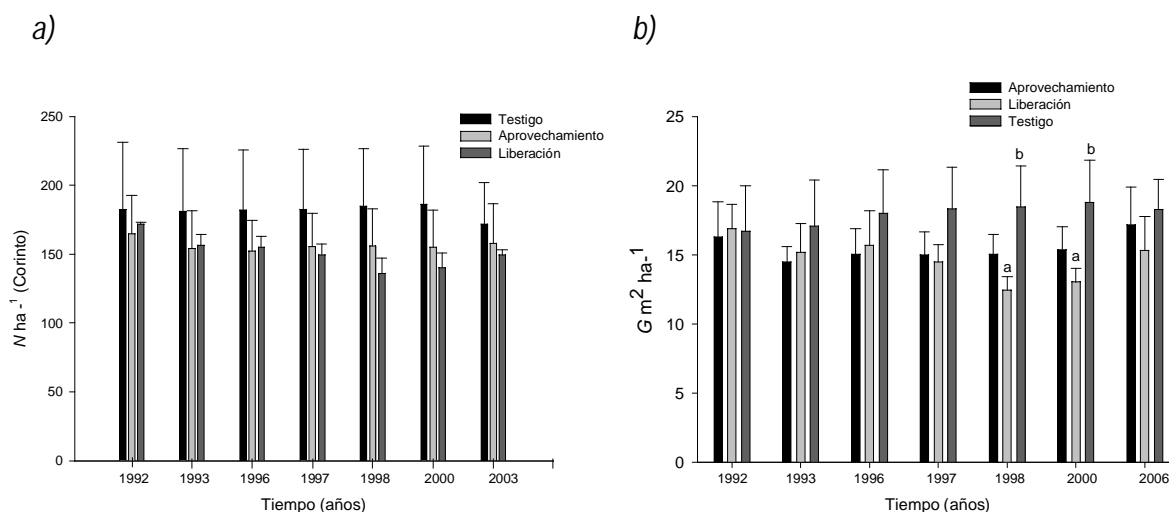


Figura 7. El número total de árboles comerciales ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) $\geq 10 \text{ cm dap}$, \pm desviación estándar para el periodo de medición 1992-2006, a) Número de árboles, b) área basal, bosque Corinto, Costa Rica. Letras diferentes significan diferencias significativas. ANDEVA y prueba de LSD de Fisher.

El grupo de árboles de Futura cosecha presentó diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 9, Fig. 8) en el número total de árboles entre años. En el año 1997 y 2006 el tratamiento de Liberación ($t=4.72$, $p=0.04$) presentó una disminución para este año (2006). De igual forma el número de árboles por clase diamétrica presentó diferencias entre años. En el tratamiento de aprovechamiento, en la clase 50-59.9 ($t=-4.4$, $p=0.04$) presentó una menor densidad de árboles en el año 2000 que en el 2006. En el tratamiento de Liberación se tuvo una menor cantidad de árboles en el año 2000 ($t=4.14$, $p=0.05$) que en los años 1997 ($t=22$, $p=0.002$) y 2006 ($t=-7.2$, $p=0.018$). El número de árboles por clases diamétricas no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos,

El área basal total entre años, dentro de un mismo tratamiento, presentó diferencias significativas (Cuadro 9). En el año 2000 se tenía un área basal de $4.07 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y para el 2006 aumentó $2.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ($t=-7.63$, $p=0.016$). Se presentaron diferencias significativas entre años por clases diamétricas; en el tratamiento de Liberación en la clase 30-39.9 ($t=-4.75$, $p=0.04$) se tenía un área basal menor en el 2000 y para el 2006 aumentó $0.43 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, en la clase 40-49.9 se presentaron diferencias

significativas ($t=7.98$, $p=0.01$), pues el área basal en el año 2000 fue menor que para los años 1997 y 2006.

Cuadro 9. Medias del número de árboles ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal de árboles de futura cosecha, ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) dap ≥ 10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, bosque Corinto, Costa Rica.

Tratamiento	Clases diamétricas	Años de estudio Corinto					
		1992		2000		2003	
		N	G	N	G	N	G
Testigo	10-19.9	21 (8.0)	0.37 (0.1)	13 (4.0)	0.2 (0.0)	17 (7.2)	0.3 (0.1)
	20-29.9	15 (5.1)	0.71 (0.2)	9 (3)	0.41 (0.0)	15 (5.5)	0.76 (0.2)
	30-39.9	15 (8.9)	1.47 (0.8)	8 (2.3)	0.72 (0.2)	14 (6)	1.36 (0.6)
	40-49.9	9 (3.6)	1.43 (0.5)	4 (1.5)	0.67 (0.2)	14 (6.9)	2.11 (1.0)
	50-59.9	6 (0.5)	1.3 (0.0)	5 (0.5)	1.11 (0.1)	8 (2.8)	1.93 (0.7)
N Total		66 (23.4)	5.29 (1.8)	38 (6.5)	3.1 (0.2)	69 (12.5)	6.46 (1.4)
Aprovechamiento	10-19.9	18 (2.0)	0.31 (0.0)	11 (4.5)	0.19 (0.0)	13 (8.0)	0.23 (0.1)
	20-29.9	19 (10.6)	0.94 (0.5)	10 (2.5)	0.49 (0.1)	10 (6.5)	0.51 (0.3)
	30-39.9	14 (3.7)	1.39 (0.3)	8 (0)	0.75 (0.0)	14 (10.5)	1.36 (1.0)
	40-49.9	10 (3.7)	1.54 (0.6)	8 (4.0)	1.27 (0.5)	12 (2.0)	1.97 (0.3)
	50-59.9	6 (2)	1.35 (0.4)	5 (2.5)	1.21 (0.6)	11 (3.0)	2.49 (0.7)
N Total		66 (9.8)	5.53 (0.4)	43 (5.0)	3.92 (0.9)	61 (25.1)	6.56 (1.8)
Liberación	10-19.9	20 (1.5)	0.35 (0.0)	11 (4.9)	0.17 (0.0)	13 (8.5)	0.23 (0.1)
	20-29.9	16 (6.1)	0.79 (0.3)	8 (3)	0.41 (0.1)	12 (5.0)	0.63 (0.2)
	30-39.9	14 (3)	1.34 (0.3)	10 (0.5)	0.98 (0.1)	14 (3)	1.41 (0.2)
	40-49.9	14 (0.5)	2.14 (0.1)	6 (1.1)	0.94 (0.1)	17 (1.5)	2.77 (0.2)
	50-59.9	8 (3.2)	1.94 (0.7)	7 (2.3)	1.58 (0.5)	7 (2)	1.74 (0.5)
N Total		73 (10.7)	6.57 (1.2)	41 (7.0)	4.07 (0.5)*	64 (17)	6.77 (1.1)*

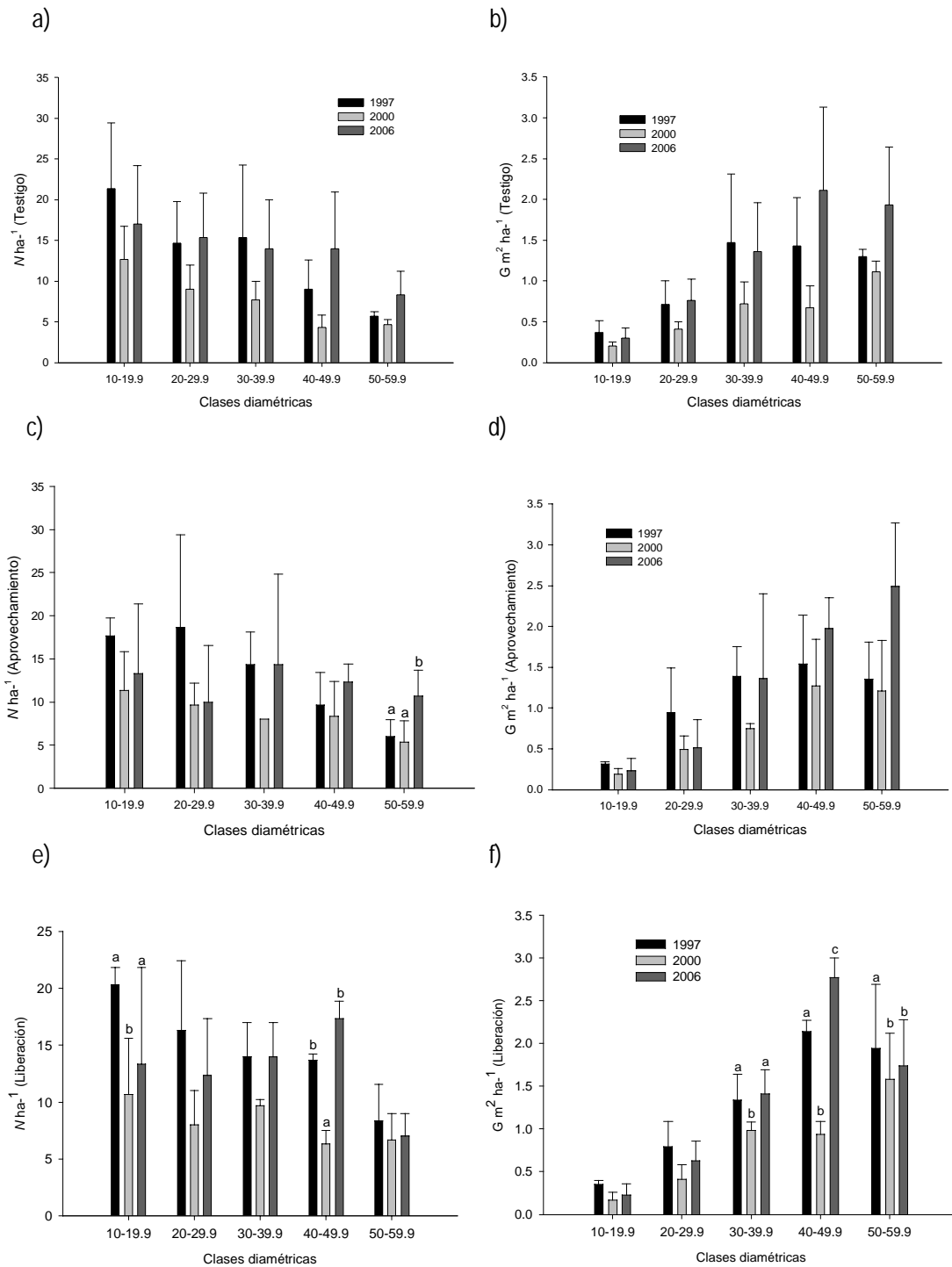


Figura 8. Número de árboles futura cosecha ($N\ ha^{-1}$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) de árboles de futura cosecha por categoría diamétrica, desviación estándar por clase diamétrica, a) Testigo b) Aprovechamiento c) Liberación, bosque de Corinto, Costa Rica. letras distintas significan diferencias. Prueba de t apareada.

Entre tratamientos no se observaron diferencias en el total de individuos por años (Fig. 9). El grupo de árboles de futura cosecha no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos según el ANDEVA, para el total de área basal.

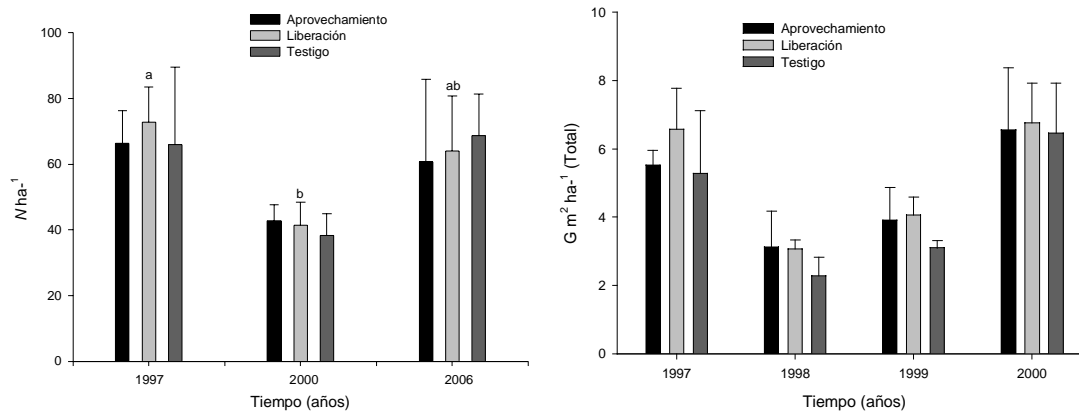


Figura 9. Medias del número total de árboles de futura cosecha N (ha^{-1}) y área basal ($G m^2 ha^{-1}$) desviación estándar. a) Número de árboles b) Liberación. Bosque Corinto, Costa Rica. Prueba t de Student para muestras apareadas. Letras distintas significan diferencias.

El grupo de árboles de segunda cosecha del bosque de Corinto presentó diferencias significativas en el número de individuos entre años. En el tratamiento Aprovechamiento presentó una mayor cantidad de árboles en el año 2006 que en el año 2000 ($t=-4.33$, $p=0.049$). En el tratamiento de Liberación en el año 1997 se encontró una mayor densidad de árboles que para el 2000 ($t=-4.00$, $p=0.057$), pero estas diferencias ya no se presentaron para el último año (2006) lo que indica que hubo un aumento en densidad de árboles totales.

El número total de árboles entre tratamientos, no se presentó diferencias estadísticamente significativas según los resultados del ANDEVA. El área basal total no mostró diferencias estadísticamente significativas entre años dentro de un mismo tratamiento ni entre tratamientos para el periodo de medición (Fig. 10).

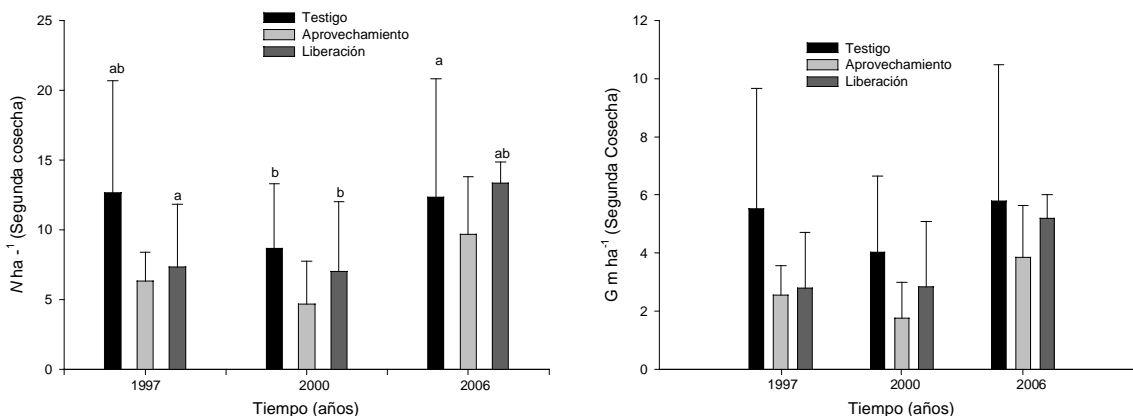


Figura 10. Medias del número de árboles de segunda cosecha $N ha^{-1} \geq 60 cm dap \pm$ error estándar para el bosque Corinto. Letras distintas significan diferencias significativas. Prueba de t apareada.

La Tirimbina - rodal completo

El grupo de árboles del rodal completo en el bosque La Tirimbina, mostró cambios estadísticamente significativos (Cuadro 10, Fig. 11). El número de árboles antes del aprovechamiento era ligeramente más alto que en bosques primarios no intervenidos. La media del número de árboles para La Selva fue de 407 árboles ha^{-1} (Base de datos CATIE 2006).

El número de árboles total mostró diferencias en el año 1990 y 1993 en el tratamiento de Liberación ($t=13.93$, $p=0.0051$), mostrando una disminución para el año 1993. También se observaron variaciones en el número de árboles por categoría diamétrica. En el tratamiento de Liberación entre los años 1990 y 1993, en las clases diamétricas 30-39.9 ($t=19$, $p=0.002$), 50-59.9 ($t= 5.2$, $p=0.035$), ≥ 60 ($t=5$, $p=0.0377$), sin embargo, estas diferencias no se presentaron para el año 1990 y 2003.

El área basal total mostró diferencias entre el año 1990 y 1993 en el tratamiento de Liberación ($t=-7.0$, $p=0.009$), al presentar menor área basal en el año 1993. El área basal por categorías diamétricas también presentó diferencias significativas. En el tratamiento de Aprovechamiento en la clase 10-19.9, en el año 1990 se tenía un área basal menor que para el año 2003. Esto se debe al ingreso de nuevos individuos a la clase menor por la apertura del dosel (Delgado *et al.* 1997). De igual forma se observaron diferencias significativas en la clase mayor de 60 cm ($t=-2.85$, $p=0.05$), donde se tiene una menor área basal en el año 1993 que en el 2003, alcanzando en este año el valor del área basal inicial.

Cuadro 10. Medias del área basal $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, $\text{dap} \geq 10$ cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, bosque La Tirimbina, Costa Rica.

Tratamiento	Clases diamétricas	Años de estudio Tirimbina					
		1990		1993		2003	
		N	G	N	G	N	G
Aprovechamiento	10-19.9	337 (73)	5.22 (0.8)	332 (87)	5.22 (1.1)	348 (88)	5.48 (1.2)
	20-29.9	90 (10)	4.15 (0.4)	92 (14)	4.23 (0.6)	91 (21)	4.23 (0.9)
	30-39.9	38 (5)	3.59 (0.5)	40 (8)	3.74 (0.4)	44 (6)	4.30 (0.5)
	40-49.9	23 (9)	3.60 (1.3)	24 (7)	3.73 (1.1)	27 (2)	4.21 (0.1)
	50-59.9	9 (4)	2.04 (0.9)	11 (2)	2.57 (0.5)	14 (3)	3.30 (0.6)
	≥ 60	8 (6)	3.37 (2.6)	6 (5)	2.76 (2.1)	9 (6)	3.96 (2.7)
	<i>N Total</i>	<i>504 (76)</i>	<i>21.96 (1.7)</i>	<i>504 (97)</i>	<i>22.25 (0.7)</i>	<i>534 (101)</i>	<i>25.48 (1.0)</i>
Liberación	10-19.9	313 (48)	4.86 (0.4)	280 (44)	4.58 (0.4)	358 (75)	5.73 (1.0)
	20-29.9	81 (12)	3.72 (0.6)	52 (12)	2.28 (0.6)	73 (14)	3.39 (0.6)
	30-39.9	38 (8)	3.61 (0.6)	23 (4)	2.24 (0.3)	27 (12)	2.51 (1.1)
	40-49.9	23 (12)	3.58 (1.7)	16 (8)	2.58 (1.1)	16 (7)	2.61 (1.0)
	50-59.9	14 (2)	3.17 (0.3)	10 (3)	2.27 (0.6)	9 (2)	2.07 (0.4)
	≥ 60	14 (4)	6.25 (1.8)	11 (5)	4.79 (2.2)	14 (6)	6.05 (2.9)
	<i>N Total</i>	<i>483 (76)</i>	<i>25.18 (3.4)</i>	<i>393 (54)</i>	<i>18.74 (1.5)</i>	<i>498 (103)</i>	<i>22.35 (2.7)</i>

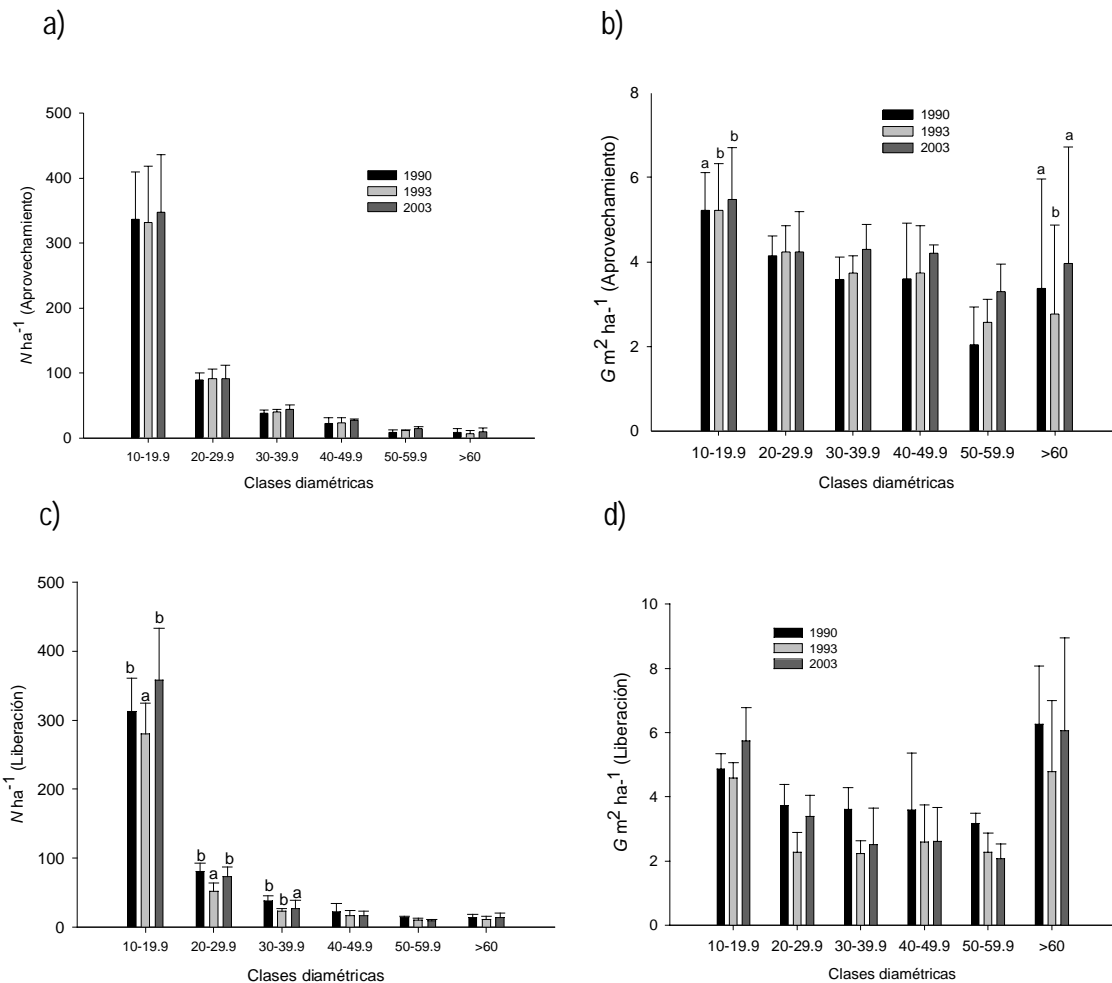


Figura 11. Distribución de las medias por clase diamétrica \pm desviación estándar del área basal ($m^2 ha^{-1}$) bosque La Tirimbina. Letras distintas indican diferencias significativas. Prueba de t de Student para muestras apareadas a) N Aprovechamiento b) G Aprovechamiento c) N Liberación d) G Liberación.

El bosque de La Tirimbina mostró cambios significativos entre tratamientos (Fig. 12). En el primer año (1990) no se presentó diferencias estadísticamente significativas, sin embargo en el año 1993 mostró diferencias ($t=-3.72$, $p=0.020$) en la clases diamétricas 20-29.9, donde el tratamiento Aprovechamiento presentó una mayor cantidad de árboles que el tratamiento de liberación. De igual forma se mostraron diferencias en la clase 30-39.9 cm ($t=-4.95$, $p=0.0078$) donde siguió siendo mayor el número de árboles para las parcelas de aprovechamiento.

Estas diferencias entre los tratamientos continuaron para los años 1994, 1996 y 1998 en las clases diamétricas 20-29.9, 30-39.9 y 40-49.9 cm siendo mayor los valores para el tratamiento Aprovechamiento. Estas diferencias, sin embargo, ya no fueron significativas para el año 2003, cuando por otra parte se presentó un mayor número de árboles en el tratamiento de

Aprovechamiento en la categoría diamétrica 50-59.9 ($t=-3.02$, $p=0.0390$). Las diferencias del número de árboles entre tratamientos fueron dadas por la importante reducción en el número de individuos que provocó la aplicación del tratamiento silvicultural en el año 1991 donde se eliminaron 55 árboles ha^{-1} con dap entre 10 y 60 cm lo que redujo en un 20 % el área basal (Quirós y Finegan 1994).

El área basal total entre tratamientos no mostró diferencias para el año 1990, sin embargo se observaron diferencias significativas en el año 1994 ($t=-5.8$, $p=0.002$), donde fue menor en las parcelas de Liberación, esta condición se mantuvo para los años 1996 ($t=-4.7$, $p=0.004$), 1998 ($t=-3.3$, $p=0.01$), sin embargo ya no se observaron estas diferencias al año 2003, lo que indicó una recuperación debido al crecimiento del rodal remanente y al reclutamiento.

El área basal por categoría diamétrica presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, en el año inicial 1990 no se tuvieron diferencias pero a partir del año 1993 se observaron diferencias en las clases 20-29.9 ($t=-3.89$, $p=0.008$) y en la 30-39.9 ($t=-4.67$, $p=0.004$) donde el área basal fue menor para el tratamiento Liberación que el tratamiento Testigo. De igual forma para el año 1994 se presentaron diferencias en las clases 20-29.9 ($t=-4.77$, $p=0.004$), 30-39.9 ($t=-5.46$, $p=0.002$) y 40-49.9 ($t=-2.74$, $p=0.02$) estas diferencias se siguieron manteniendo para los años 1996, 1998 y para el año 2003; solo que en este último año las clases diamétricas fueron, 30 -39.9 ($t=-2.43$, $p=0.035$), 40-49.9 ($t=-2.59$, $p=0.03$) y 50-59.9 ($t=-2.7$, $p=0.02$). Por lo que se pudo observar el área basal removida por área basal fue diferente para los dos tratamientos siendo mayor en el tratamiento de Liberación.

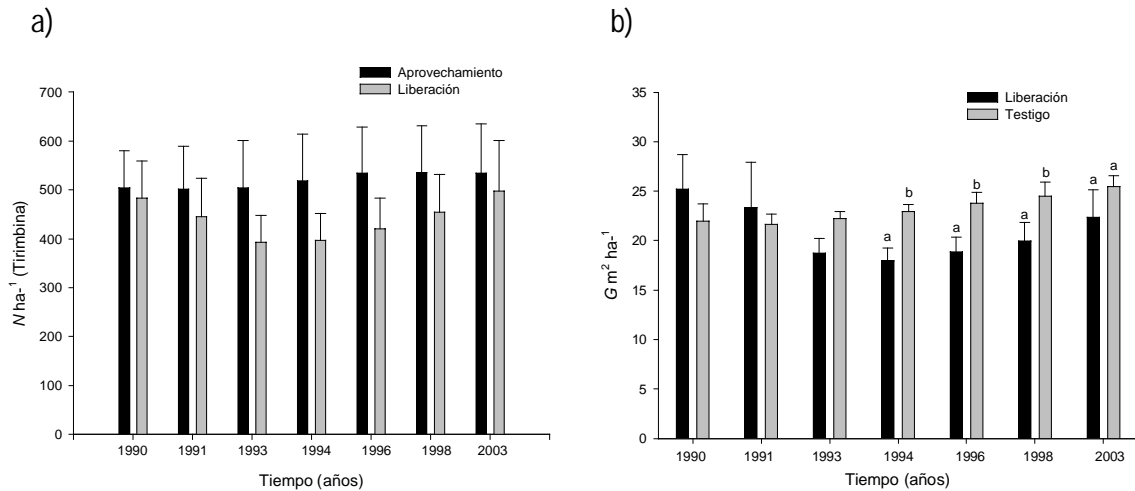


Figura 12. Distribución del número de árboles total ($N\ ha^{-1}$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) $\geq 10\ cm\ dap$, desviación estándar. a) Número de árboles b) Área basal. Bosque La Tirimbina, Costa Rica. Letras distintas significan diferencias. Prueba de *t* de Student para muestras independientes.

El Grupo de árboles Comerciales del bosque La Tirimbina (Cuadro 11, Fig. 13), no mostró diferencias estadísticamente significativas para el número total entre años. Sin embargo, en el número de árboles por categoría diamétrica, entre años, presentó diferencias para tratamiento de Liberación en la clase diamétrica $\geq 60\ cm$, entre los años 1990 y 1993 ($t=-3.50$, $p=0.0364$), disminuyendo el número de árboles para el año 1993. Entre los años 1993 y 2003 el número de árboles se incrementó ($t=-4.00$, $p=0.08$), recuperando el número de árboles extraídos durante el aprovechamiento.

El área basal total presentó diferencias estadísticamente significativas. En el tratamiento de Aprovechamiento ($t=-8.2$, $p=0.014$) entre 1990 y 1993, el área basal fue mayor en $3.3\ m^2$ para el año 1993. También entre los años 1993 y 2003 se observaron diferencias ($t=-25$, $p=0.001$) pues el área basal fue estadísticamente mayor en el tratamiento de aprovechamiento para el último año. En el tratamiento de Liberación se encontraron diferencias entre los años 1990 y 1993 ($t=16.1$ $p=0.003$), y para los años 1993 y 2003 ($t=-4.04$ $p=0.056$). En 1990 se tenía un área basal de 12.35 , en 1993 se redujo en un 24% después por el aprovechamiento, pero para el año 2003 recuperó el área basal inicial del grupo comercial.

El área basal por clases diamétricas presentó diferencias en el tratamiento Liberación en los años 1990 y 1993 en las categorías diamétricas 20-29.9 ($t=5.07$, $p=0.0368$), 30-39.9 ($t=8.87$, $p=0.0125$), 40-49.9 ($t=4.53$, $p=0.0454$), 50-59.9 ($t=9.92$, $p=0.01$). Estas diferencias fueron causadas por efecto

del aprovechamiento, causando una disminución del área basal para el año 1993, sin embargo, no se observaron diferencias entre el primer y último año por lo que se puede decir que el bosque recuperó el área basal que fue removida durante el aprovechamiento. En la clase ≥ 60 cm dap se observaron diferencias ($t=-5.15$, $p=0.0357$) entre el año 1990 y 2003 esto fue porque hubo un aumento en el área basal para el último año.

Cuadro 11. Medias del número de árboles y área basal de árboles comerciales ha^{-1} , dap ≥ 10 cm, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, para 3 mediciones, en 6 parcelas del bosque La Tirimbina, CR.

Tratamiento	Clases diamétricas	Años de estudio Tirimbina					
		1990		1993		2003	
		N	G	N	G	N	G
Aprovechamiento	10-19.9	67 (20)	1.06 (0.3)	71 (27)	1.14 (0.3)	73 (30)	1.22 (0.4)
	20-29.9	33 (8)	1.63 (0.1)	33 (8)	1.60 (0.3)	33 (16)	1.6 (0.7)
	30-39.9	27 (4)	2.52 (0.4)	28 (3)	2.66 (0.3)	30 (5)	2.87 (0.4)
	40-49.9	17 (5)	2.71 (0.7)	19 (4)	3.02 (0.6)	23 (5)	3.64 (0.7)
	50-59.9	7 (4)	1.73 (0.8)	8 (2)	1.87 (0.6)	12 (3)	2.78 (0.7)
	≥ 60	5 (4)	1.95 (1.6)	4 (4)	1.67 (1.5)	7 (6)	2.79 (2.4)
	N Total	156 (26)	11.59 (1.8)	162 (31)	11.97 (1.0)	177 (42)	14.89 (1.1)
Liberación	10-19.9	58 (15)	0.95 (0.2)	51 (11)	0.88 (0.2)	67 (22)	1.11 (0.3)
	20-29.9	31 (14)	1.44 (0.5)	24 (15)	1.09 (0.6)	34 (12)	1.70 (0.6)
	30-39.9	22 (3)	2.05 (0.2)	16 (3)*	1.48 (0.2)	19 (9)	1.78 (0.9)
	40-49.9	15 (5)	2.32 (0.6)	10 (3)*	1.57 (0.4)	12 (6)	1.85 (0.9)
	50-59.9	11 (1)	2.42 (0.3)	7 (2)	1.77 (0.4)	8 (2)*	1.91 (0.3)
	≥ 60	7 (5)	3.17 (2.2)	6 (4)	2.47 (1.8)	10 (6)	3.93 (2.4)
	N Total	143 (24)	12.35 (1.0)	114 (21)	9.27 (0.7)	149 (41)	12.27 (0.8)

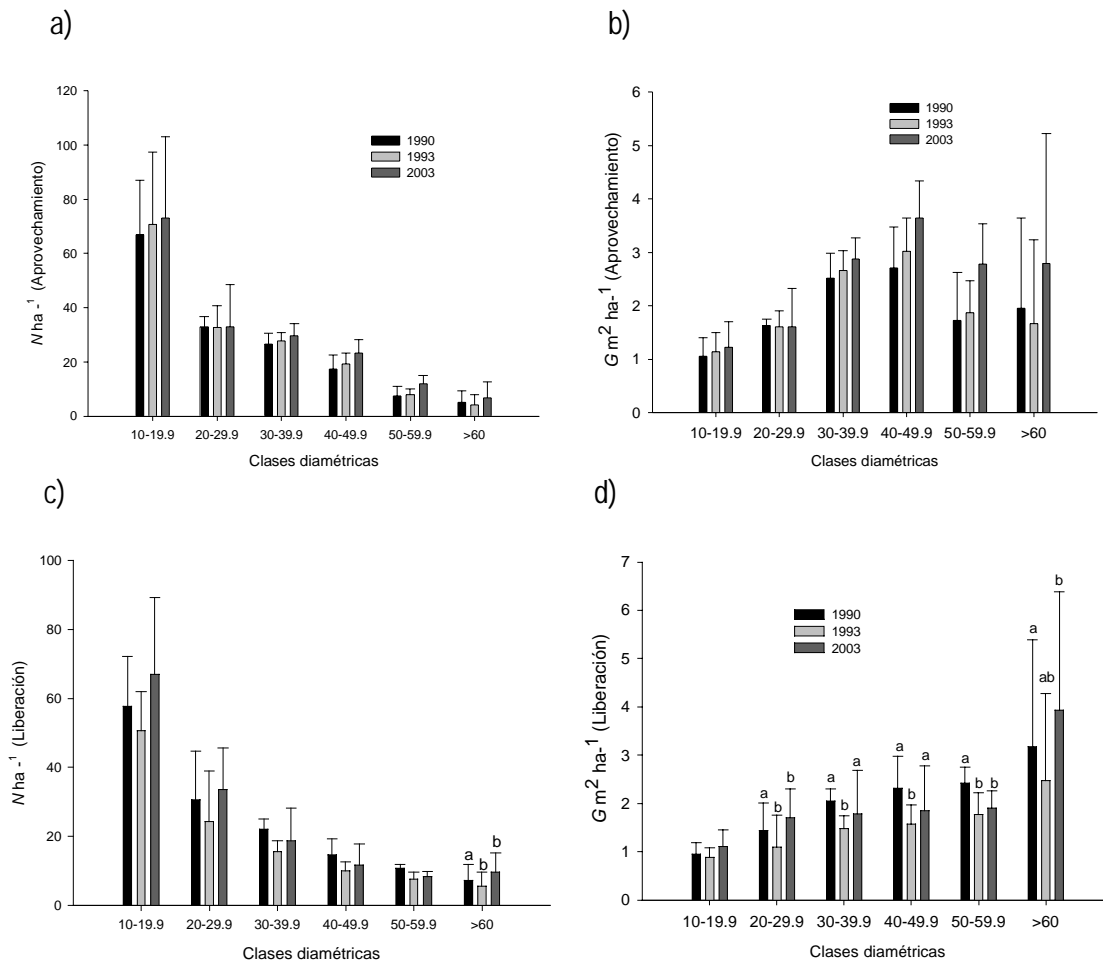


Figura 13. Distribución del número de árboles ($N\ ha^{-1}$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) de especies comerciales por clase diamétrica \pm desviación estándar. a) N Aprovechamiento, b) G Aprovechamiento, c) N Liberación, d) G Liberación. Bosque La Tirimbina, Costa Rica. Prueba *t* de Student para muestras apareadas. Letras distintas significan diferencias. Entre años dentro de tratamientos.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en el número de árboles total por grupo comercial. No se presentaron diferencias para el primer año (1990) en la abundancia por clase diamétrica, sin embargo, después del aprovechamiento en 1993 en el tratamiento de Liberación se observó un menor número de árboles por clases diamétricas. Estas diferencias fueron para las clases 30-39.9 cm ($t = -4.69$, $p = 0.004$), y 40-49.9 cm ($t = -3.35$, $p = 0.014$). Las diferencias se siguieron observando para los años 1994 y 1996. En el año 2003 se tenían diferencias en las categorías 40-49.9 y 50-59.9 ($t = -2.57$, $p = 0.030$; $t = -1.89$, $p = 0.066$), lo cual puede ser explicado por el paso de los árboles de una categoría a otra conforme el paso del tiempo.

El área basal total mostró cambios significativos entre tratamientos (Fig. 14). En el año 1993, el área basal fue mayor en las parcelas de Aprovechamiento que el tratamiento de Liberación ($t = -3.49$,

p=0.012), estas diferencias se mantuvieron para los años 1994 (t=-3.9, p=0.008), 1996 (t=-3.73, p=0.0102) y para el año 1998 (t=-3.25, p=0.0157), sin embargo en el 2003 estas diferencias ya no fueron estadísticamente diferentes.

Para el área basal entre tratamientos por clases diamétricas no se observaron diferencias significativas antes de la intervención (1990), pero después del aprovechamiento (1993) se presentaron diferencias en la categoría diamétrica de 30-39.9. (t=-4.48, p=0.005), y 40-49.9. (t=-3.42, p=0.013).

Estas diferencias fueron observadas para las mismas clases diamétricas en los años: 1994 30-39.9. (t=-4.52, p=0.005), 40-49.9. (t=-4.78, p=0.005); 1996 30-39.9. (t=-5.89, p=0.002), 40-49.9. (t=-4.88, p=0.004); 1998 30-39.9. (t=-3.57, p=0.011), 40-49.9. (t=-2.95, p=0.021) y por último en año 2003 para las clases diamétricas 30-39.9. (t=-1.9, p=0.065), 40-49.9. (t=-2.66, p=0.028) 50-59.9 (t=-2.66, p=0.028). A partir del año 1993 las parcelas de Aprovechamiento presentaron un área basal mayor que el tratamiento Liberación.

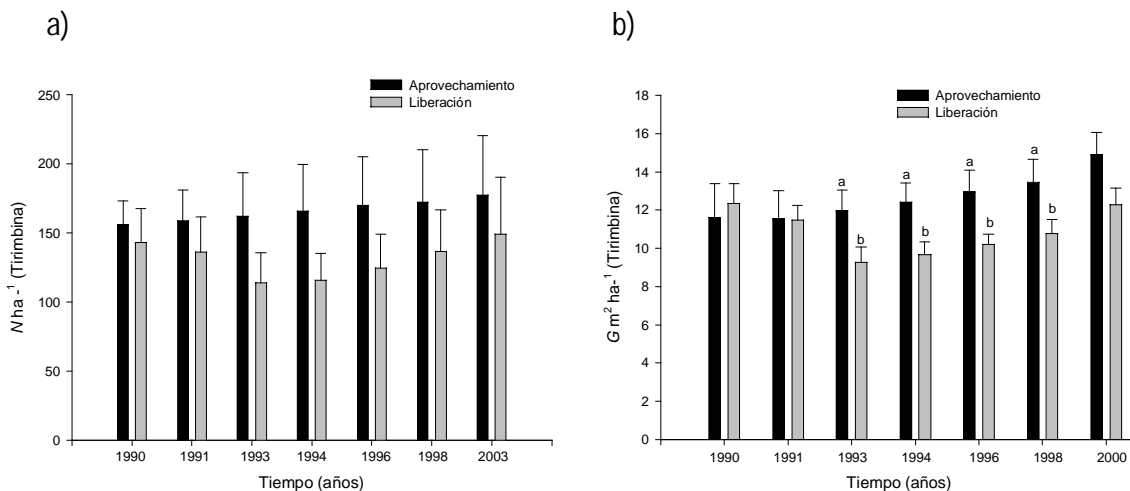


Figura 14. Distribución del número total de árboles comerciales ($N\ ha^{-1}$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) $\geq 10\ cm\ dap$, \pm desviación estándar para el periodo de medición 1990-2003, a) Número de árboles, b) Área basal, bosque La Tirimbina, Costa Rica. Letras diferentes significan diferencias significativas. ANDEVA.

En cuanto al grupo de árboles de Futura Cosecha del bosque Tirimbina (Cuadro 12, Fig.15) no se presentaron diferencias significativas entre años para la variable número total de árboles. El número de árboles por categoría diamétrica no mostró diferencias para el primer año analizado (1996), sin embargo, se mostraron diferencias estadísticas en el tratamiento de Aprovechamiento entre los años 1996-2003 (t=4.5, p=0.04), y en 1998-2003 (t=6.4, p=0.02), en la categoría diamétrica 30-39.9 donde

se observó menor cantidad de árboles en el 2003. De igual forma en la clase 40-49.9 se tuvieron diferencias significativas siendo menor el número de árboles en los años 1996 y 2003 ($t=5.7$, $p=0.02$) y 1998 y 2003 ($t=19$, $p=0.002$).

En el bosque La Tirimbina se observaron diferencias estadísticamente significativas en el año 1996 en la clase diamétrica 30-39.9 ($t=-3.44$, $p=0.013$), 40-49.9 ($t=-3.91$, $p=0.008$), estas diferencias fueron dadas por la reducción de árboles en el tratamiento de Liberación. En el año 1998 solo se tenían diferencias en la categoría 30-39.9 ($t=-2.25$, $p=0.043$) manteniéndose una menor densidad en las parcelas de Liberación. Sin embargo para los últimos años de medición ya no se presentaron estas diferencias.

Para el área basal total se observaron diferencias en los años 1996 y 2003 ($t=5.8$, $p=0.02$) y año 1998 y 2003 ($t=8.9$, $p=0.012$) pues fue mayor el área basal en el año 1996 que para 2003. El área basal total entre tratamientos presentó diferencias. En el año 1996 donde el Aprovechamiento sobrepasó en número de árboles al tratamiento de Liberación, sin embargo estas diferencias ya no se observaron para los siguientes años.

Se presentaron diferencias significativas en el área basal por clases diamétricas, entre los años 1996 y 2003, en el tratamiento de Aprovechamiento en las categorías 20-29.9 ($t=5.9$, $p=0.02$), 30-39.9 ($t=4.08$, $p=0.055$), 40-49.9 ($t=5.5$, $p=0.03$), en el tratamiento de Aprovechamiento presentó una mayor área basal que el tratamiento de Liberación. De igual forma se muestran diferencias entre los años 1998 y 2003 en las clases diamétricas 30-39.9 ($t=9.1$, $p=0.011$) y 50-59.9 ($t=-4.9$, $p=0.03$) pues fue mayor el área basal en 1998 que en el año 2003.

Cuadro 12. Medias del área basal de árboles de futura cosecha, $G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$, desviación estándar entre paréntesis por clases diamétricas, bosque Tirimbina, Costa Rica.

Tratamiento	Clases	Años de estudio Tirimbina					
		1996		1998		2003	
	diamétricas	N	G	N	G	N	G
Aprovechamiento	10-19.9	15.33 (11.1)	0.25 (0.17)	11.67 (1.5)	0.22 (0.04)	12.33 (2.8)	0.21 (0.07)
	20-29.9	12 (4.5)	0.59 (0.24)	9.33 (5.8)	0.46 (0.3)	8 (4.5)	0.37 (0.21)
	30-39.9	14 (2.6)	1.35 (0.27)	12.67 (1.5)	1.26 (0.13)	7 (0)	0.68 (0.02)
	40-49.9	16 (3.6)	2.57 (0.57)	10.67 (1.5)	1.76 (0.2)	4.33 (1.1)	0.68 (0.11)
	50-59.9	7 (4.3)	1.59 (1)	5.67 (0.5)	1.29 (0.22)	6.33 (1.1)	1.48 (0.29)
N Total		64.33 (13.5)	6.36 (0.49)	50 (6.2)	4.98 (0.6)	38 (8.1)	3.42 (0.38)
Liberación	10-19.9	19.33 (5.8)	0.31 (0.09)	25.67 (14.59)	0.41 (0.23)	12.67 (10.6)	0.24 (0.22)
	20-29.9	9 (2.6)	0.41 (0.14)	12.33 (6.1)	0.54 (0.29)	10.67 (8.4)	0.54 (0.38)
	30-39.9	5 (2.6)	0.51 (0.32)	6.67 (5.1)	0.62 (0.47)	6.67 (7.3)	0.65 (0.72)
	40-49.9	8 (1)	1.23 (0.17)	6.67 (4.6)	1 (0.67)	7.67 (4.5)	1.21 (0.7)
	50-59.9	3.67 (1.5)	0.88 (0.36)	4 (1.7)	0.95 (0.449)	3.33 (2.5)	0.76 (0.58)
N Total		45 (6.5)	3.34 (0.139)	55.33 (29.5)	3.52 (1.59)	41 (32.3)	3.39 (2.51)

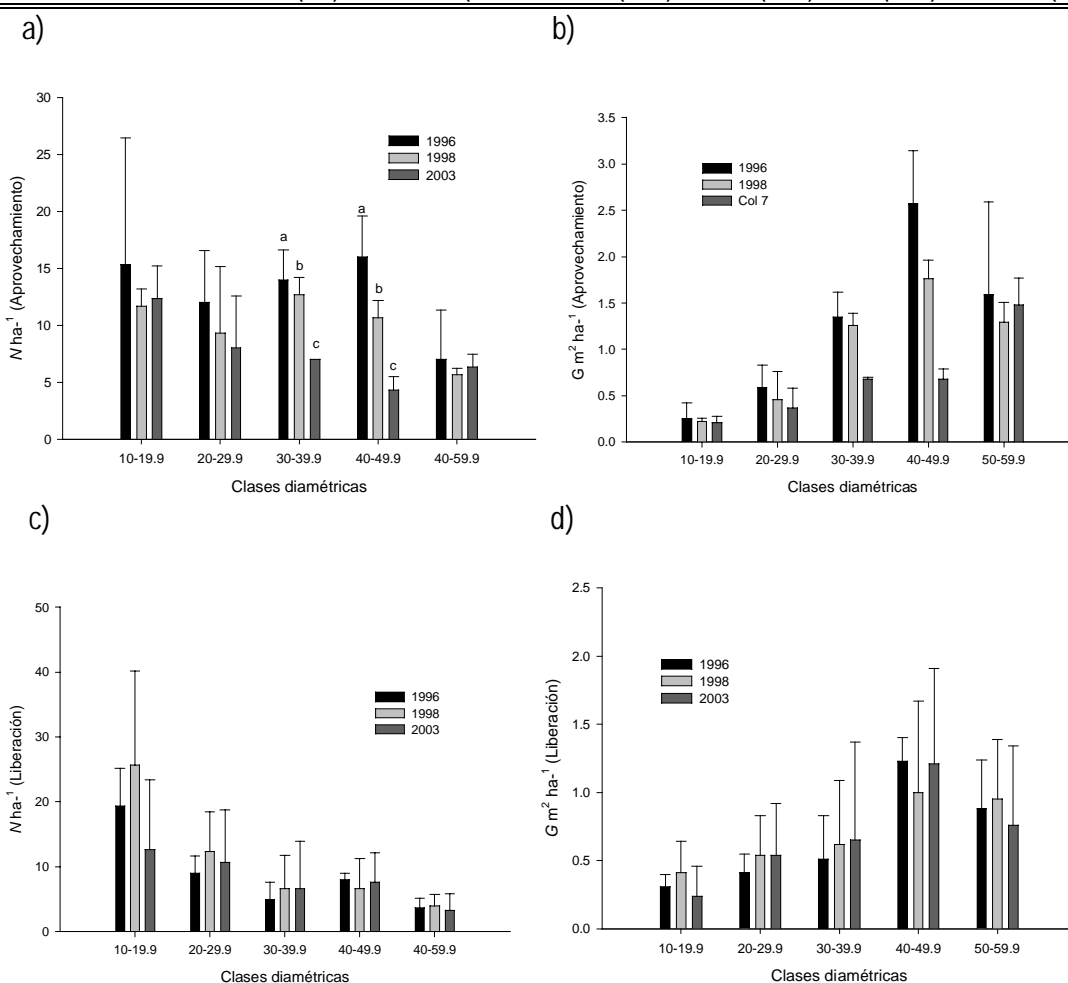


Figura 15. Distribución del número de árboles de futura cosecha ($N \text{ ha}^{-1}$) y área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) de especies comerciales por clase diamétrica \pm desviación estándar. a) N Aprovechamiento, b) G Aprovechamiento, c) N Liberación, d) G Liberación. Bosque La Tirimbina, Costa Rica. Prueba t de Student para muestras apareadas. Letras distintas significan diferencias.

El número total de árboles de futura cosecha, mostró diferencias entre tratamientos (Fig. 16). En el año 1996 ($t=-2.22$, $p=0.0453$), el tratamiento de aprovechamiento presentó mayor cantidad de árboles que el tratamiento de Liberación, sin embargo para el año 2003 ya no se observaron estas diferencias.

El área basal por clases diamétricas presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en el año 1996 en la categoría 30-39.9 cm ($t=4.17$, $p=0.007$) y en 40-49.9 cm ($t=3.7$, $p=0.04$); para ambas categorías de tamaños se encontró una menor densidad en las parcelas de Liberación que en las parcelas Testigo, sin embargo, para los años siguientes ya no se presentaron estas diferencias.

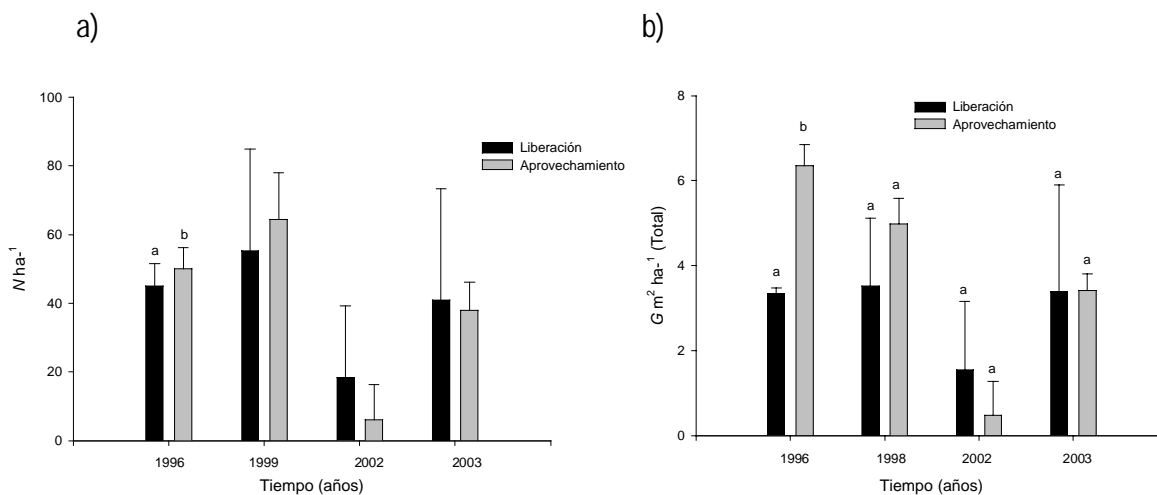


Figura 16. Medias del número total de árboles de futura cosecha $N ha^{-1}$ área basal total $G m^2 ha^{-1}$ desviación estándar. a) Número de árboles b) Área basal. Bosque La Tirimbina, Costa Rica.

En cuanto al grupo de árboles de segunda cosecha del bosque de La Tirimbina (Fig. 17), el número de árboles total presentó diferencias entre año. En el tratamiento de Liberación se observó una menor cantidad de individuos en 1996 que en 1998 ($t=-2.6$, $p=0.05$) y 2003 ($t=-3.4$, $p=0.03$).

El área basal total presentó también diferencias entre años dentro de tratamientos. En el tratamiento de Liberación se encontraron diferencias entre el año 1996 ($t=-2.8$, $p=0.05$), 1998 ($t=-3.6$, $p=0.03$) y 2003 existiendo una mayor cantidad de árboles para el 2003. No se presentaron diferencias entre tratamientos en el número total de árboles y área basal total en el periodo de 1996-2003.

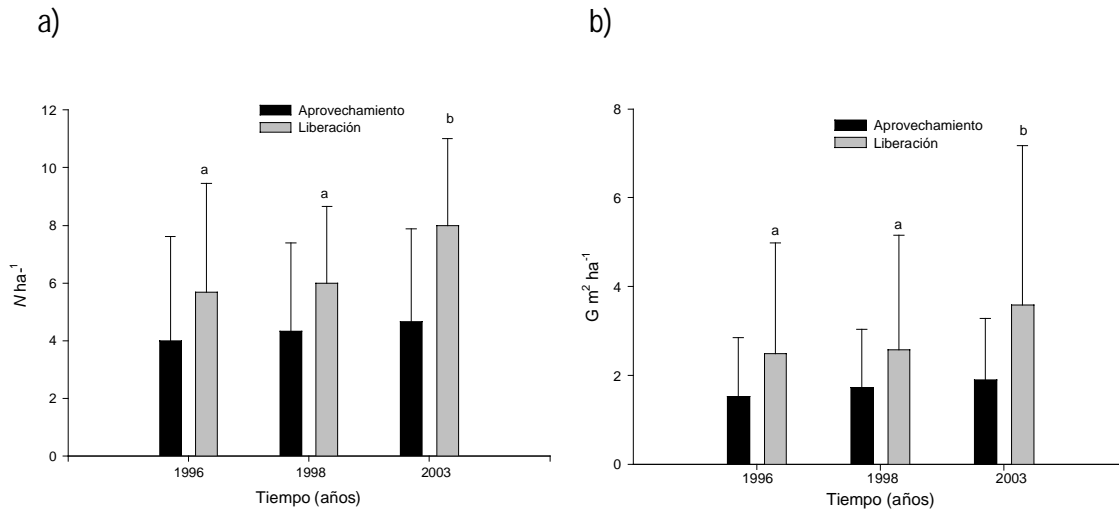


Figura 17. Distribución de medias del a) número de árboles de Segunda cosecha ($N \text{ ha}^{-1}$) y b) área basal ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) $\geq 60 \text{ cm dap}$ desviación estándar. Bosque La Tirimbina. Letras distintas significan diferencias significativas. Prueba de *t* apareada.

3.1.2.3 Bosques con aprovechamiento con fines comerciales

Para el grupo de árboles de rodal completo (Fig. 18 y 19), en los cuatro bosques manejados el promedio de árboles varió entre los 430 y 500 árboles por ha después del aprovechamiento. El área basal total osciló entre los 21 a $31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; el sitio Paniagua II presentó el área basal más alta ($31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) dominando la especie *Pentaclethra macroloba* y la palma *Welfia regia*. El área basal más baja la presentó el bosque de Kay Rica con $21 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y, este bosque es dominado por individuos de los géneros *Protium* e *Inga*. En los cuatro bosques se observó un aumento del número de árboles total entre los años 1995 y 1998. Los sitios de Manú y Kay Rica, disminuyeron drásticamente su abundancia hasta el último año de medición 2003. Para los sitios de Paniagua I y II se observó un aumento significativo en densidad hasta el año 1998, y posteriormente disminuyó ligeramente el número de árboles, condición que se mantuvo hasta la última medición.

Con respecto al número de árboles por clase diamétrica, para los cuatro bosques se observó que más del 60 % del número de individuos se concentraron en las clases pequeñas y fue disminuyendo conforme aumentaron las clases diamétricas, quedando la última clase con tan solo un 1 % del total. El bosque de Kay Rica presentó muy pocos árboles en la clase $\geq 60 \text{ cm dap}$ después del aprovechamiento en 1995, y en último año de medición siguió en la misma situación, con tan solo cinco árboles por hectárea. Esta situación debe estar ligada a la condición del sitio pues se observó

pendientes muy pronunciadas y probablemente fue intervenido años antes de este aprovechamiento (observaciones personales de la autora).

El área basal total, en los cuatro bosques, mostró una tendencia hacia un ligero aumento durante los primeros cinco años de medición y luego una disminución a partir de los años 2000-2001. Este comportamiento puede estar asociado a que en el año 1996 se aplicó una liberación de lianas y un tratamiento de mejora dirigido al grupo de árboles deseables sobresalientes lo que implicó realizar una remoción de fustes viejos, defectuosos, y sin valor comercial, provocando una disminución en el área basal del rodal encontrándose luego una tendencia hacia la recuperación gradual del bosque aprovechado.

El área basal por clases diamétricas fue diferente para cada uno de los sitios. En el bosque de Paniagua I y II, el área basal se concentró en individuos mayores de 60 cm; en el bosque de Manú no se observó una tendencia bien definida en cuanto al área basal en general, fue similar para todas las clases diamétricas. En el bosque de Kay Rica el área basal estuvo concentrada en las clases inferiores lo cual quiere decir que este bosque tiene pocos árboles grandes, lo que podría ser porque este bosque ya había sido intervenido antes de hacerse el aprovechamiento.

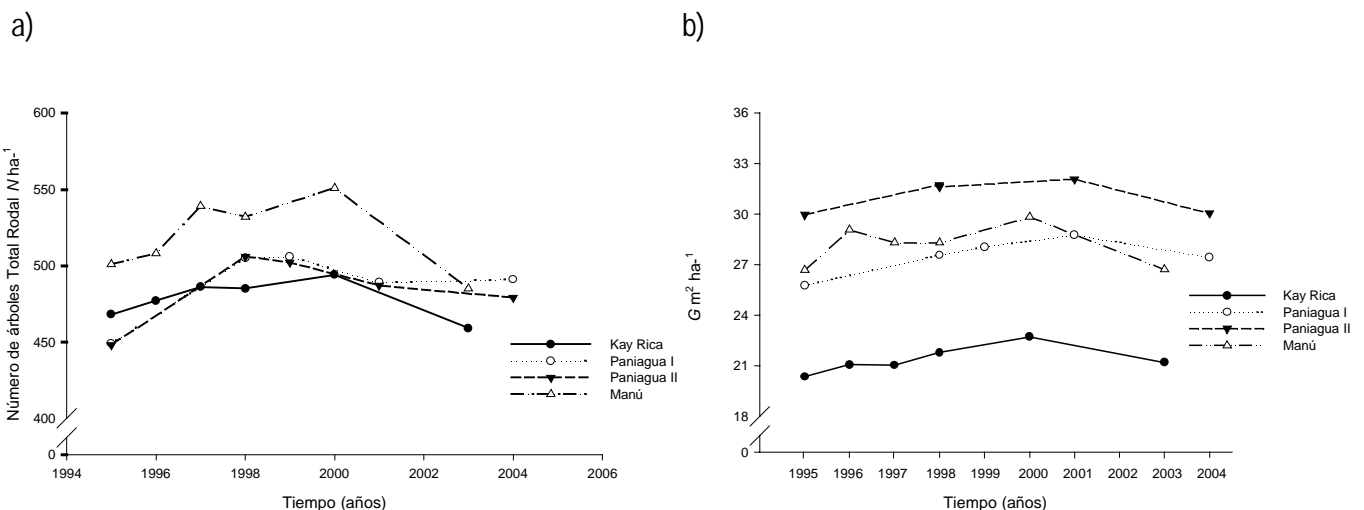


Figura 18. Número de árboles y área basal total ≥ 10 cm dap en 1 PPM de una ha. a) número total de árboles b) área basal total de cuatro bosques intervenidos del Norte de Costa Rica.

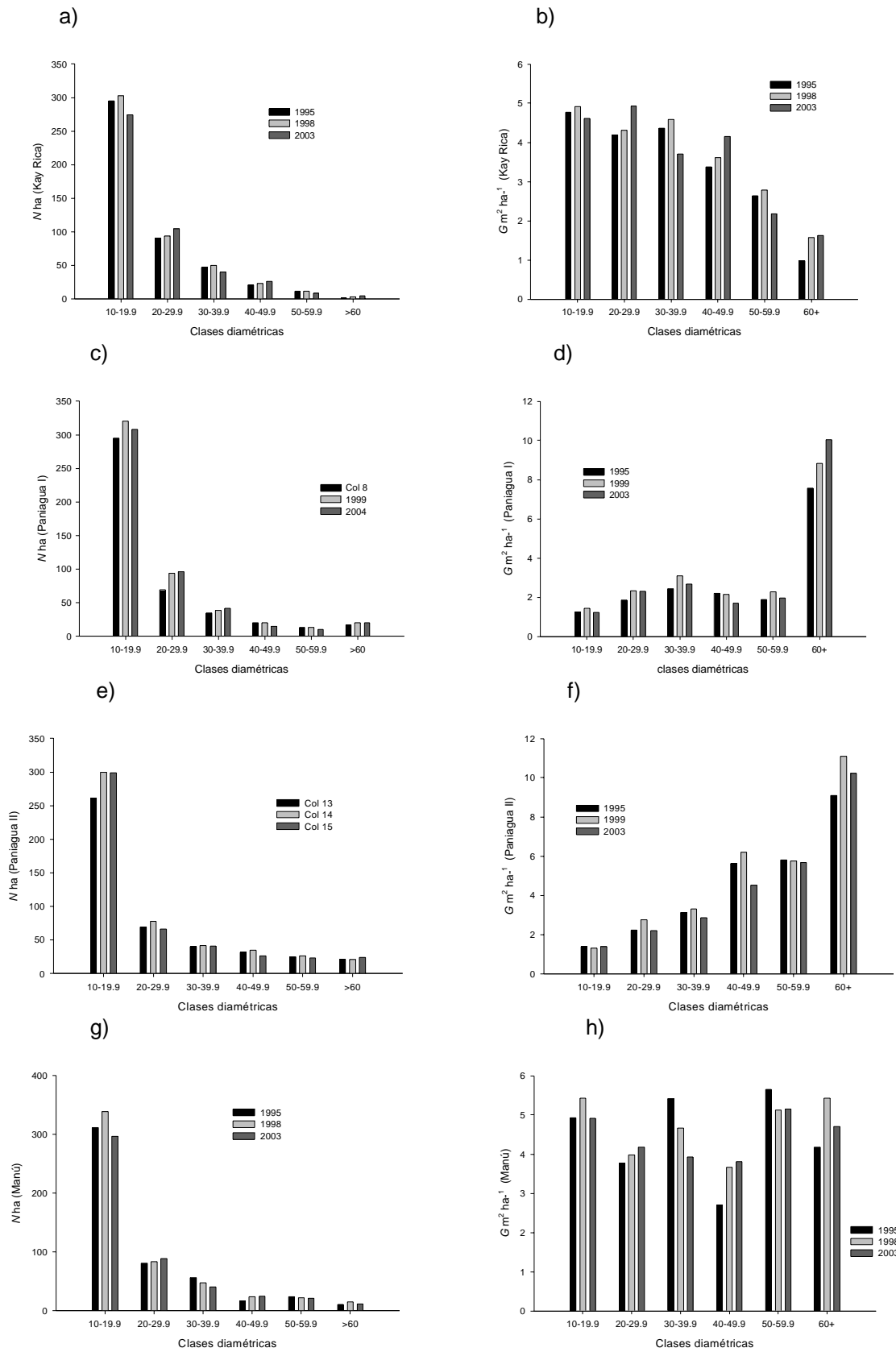


Figura 19. Distribución del área basal $m^2 ha^{-1}$ por clase diamétrica para bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. a) N Paniagua I b) G Paniagua c) N Paniagua II, d) G Paniagua II, e) N Manú, f) G Manú, g) N Kay Rica, h) G Kay Rica.

El grupo de árboles comerciales (Fig. 20 y 21), en los cuatro bosques manejados en el año 1995, presentaron un promedio de árboles total que osciló entre 86 y 175 árboles por hectárea, el área basal varió entre los 5 y 20 m² por ha el área basal menor la presentó el bosque Kay Rica. El número total de árboles presentó una tendencia hacia un ligero aumento y para el final del periodo un ligero descenso en la densidad. En general se puede decir que el bosque se mantuvo sin muchos cambios en el grupo de las especies comerciales.

Para el número de árboles por clase diamétrica (Fig. 20), se observó un aumento, en el bosque Paniagua I en la mayoría de las clases diamétricas a excepción de la clase 40-49.9, en los años 1994 y 2004. El bosque de Paniagua II presentó un leve aumento para el año 1999 pero para el 2004 disminuyó su densidad quedando con igual número de árboles que en 1995. El bosque Manú presentó una tendencia muy clara, sin embargo se puede observar que el número de árboles no se ha recuperado. El bosque de Kay Rica presentó un aumento en el número de árboles para los años 1998 y 2003 a excepción de la clase 40-49.9.

Con respecto al área basal total se observó una tendencia hacia la recuperación durante los primeros cuatro años, pero luego una ligera disminución hasta el último año. Se puede decir que en los cuatro bosques no aumentó el área basal después del aprovechamiento forestal, en el grupo de las especies comerciales.

El área basal por clase diamétrica varió para cada uno de los bosques. En el bosque de Paniagua I y II el área basal se concentró en las clases diamétricas mayor de 60 cm dap. En el bosque de Manú el área basal estaba ubicada principalmente en la categoría 50-59.9 y en el bosque de Kay Rica no se tuvo un patrón bien definido de la distribución del área basal.

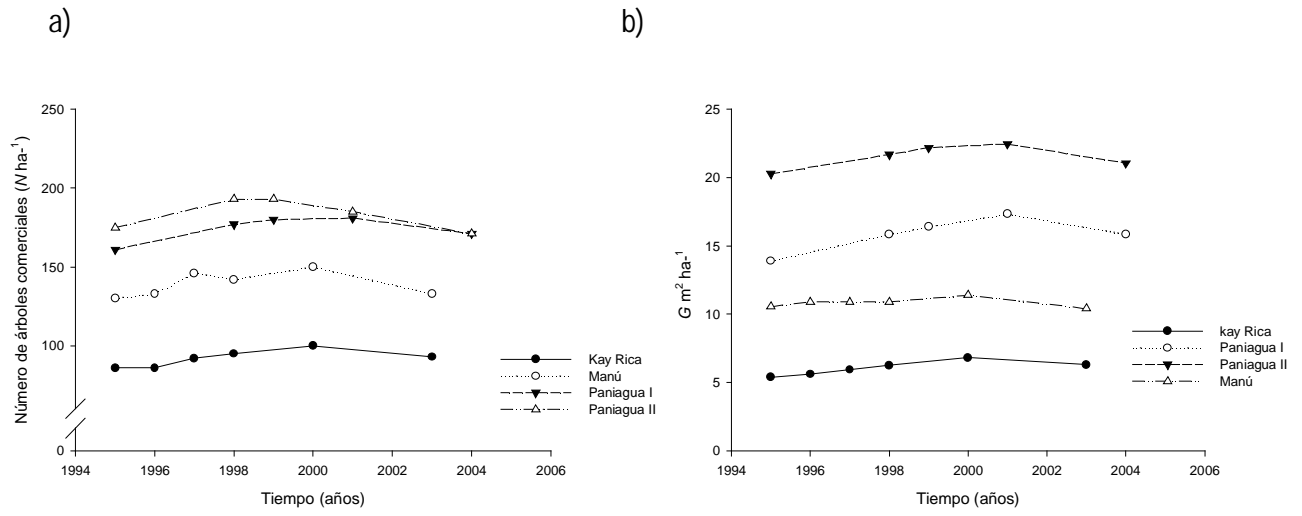


Figura 20. Dinámica de árboles comerciales Rica ≥ 10 cm dap en 1 ha, a) número de árboles y b) área basal total, de cuatro bosques intervenidos del Norte de Costa Rica.

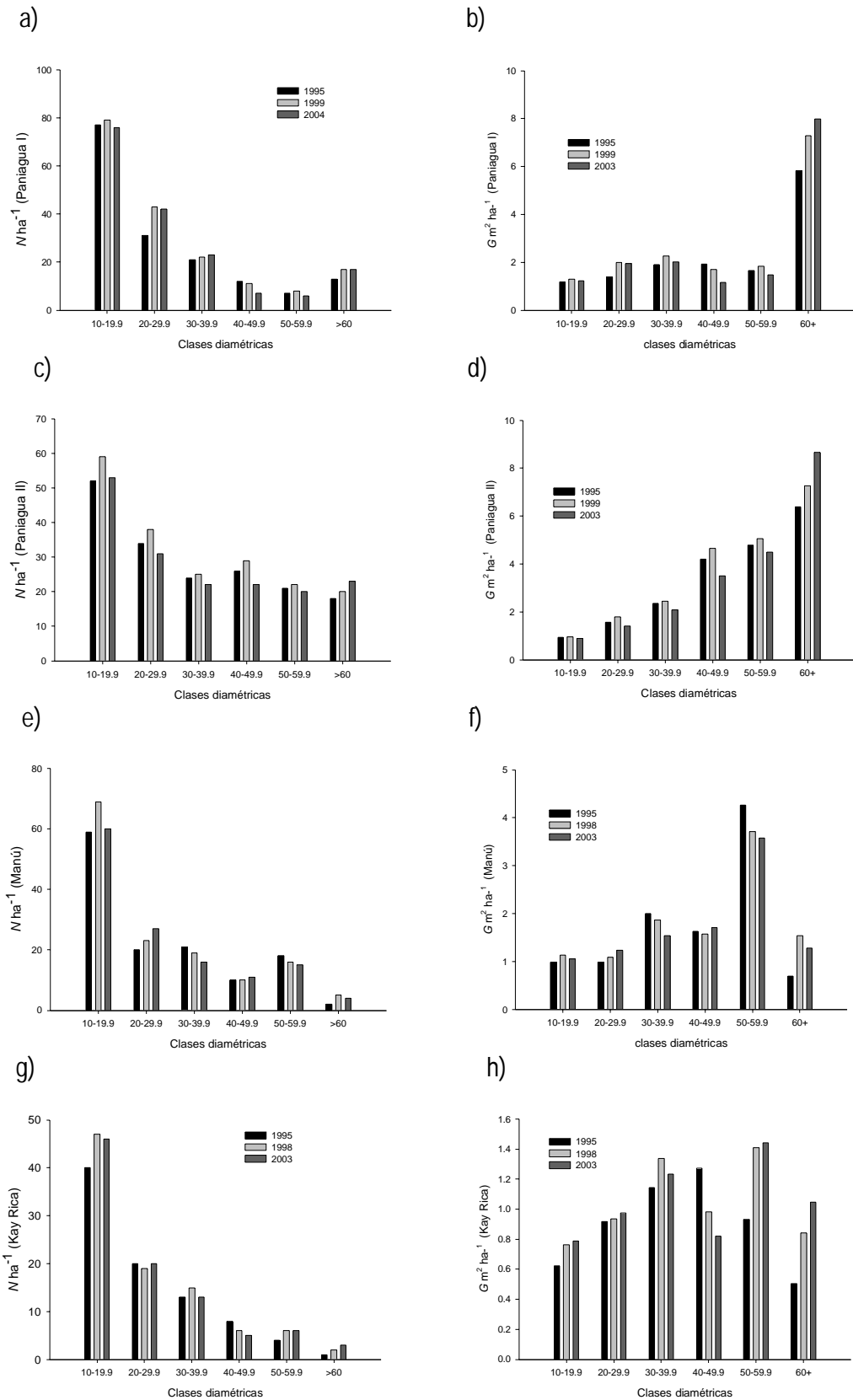


Figura 21. Distribución del Número de árboles ($N\ ha^{-1}$) y área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) por clase diamétrica de especies comerciales para bosques aprovechados del Norte de Costa Rica a) N Paniagua I b) G Paniagua c) N Paniagua II, d) G Paniagua II, e) N Manú, f) G Manú, g) N Kay Rica, f) G Kay Rica.

En los cuatro bosques el número de árboles de futura cosecha presentó un comportamiento similar (Fig. 22 y 23), un aumento en los primeros tres o cuatro años y posteriormente mostraron una disminución en su densidad. El número de árboles de futura cosecha por categoría diamétrica presentó un comportamiento con una tendencia similar, pues presentaron una distribución de J invertida, mayor cantidad de individuos en las clases menores y disminuyendo conforme aumentan. Sin embargo a nivel de cada bosque presentaron diferencias en la cantidad de individuos que había en cada clase, en el bosque de Paniagua II se presentó un mayor número de árboles para cada clase diamétrica.

El área basal del bosque de Paniagua I y Paniagua II, mostró un aumento durante los primeros cinco años, pero disminuyó para los últimos años. Los bosques de Kay Rica y Manú mostraron un ligero aumento pero en general se puede decir que estos dos bosques no mostraron cambios en los siete años de mediciones. El área basal por clases diamétricas de los cuatro bosques manejados presentó tendencias diferentes se puede decir que los bosques de Paniagua II, Kay Rica y Manú, concentró su área basal en las clases diamétricas mayores. En el bosque de Paniagua I el área basal estaba distribuida en la mayoría de las clases diamétricas.

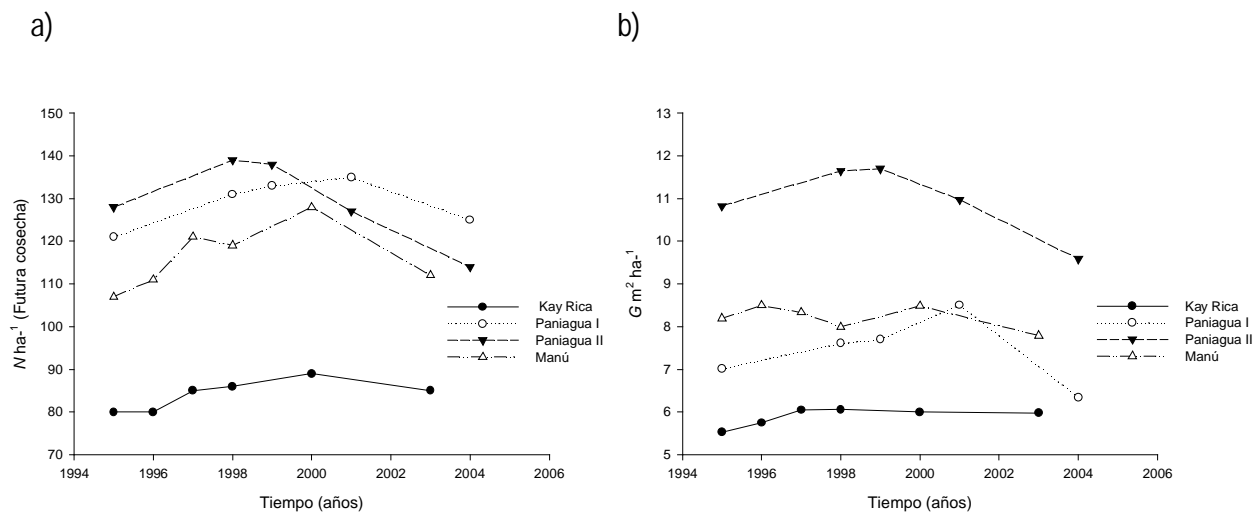


Figura 22. Dinámica de árboles futura cosecha $\geq 10 \text{ cm dap}$, a) Número total de árboles ($N \text{ ha}^{-1}$), b) área basal total ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) de cuatro bosques del Norte de Costa Rica.

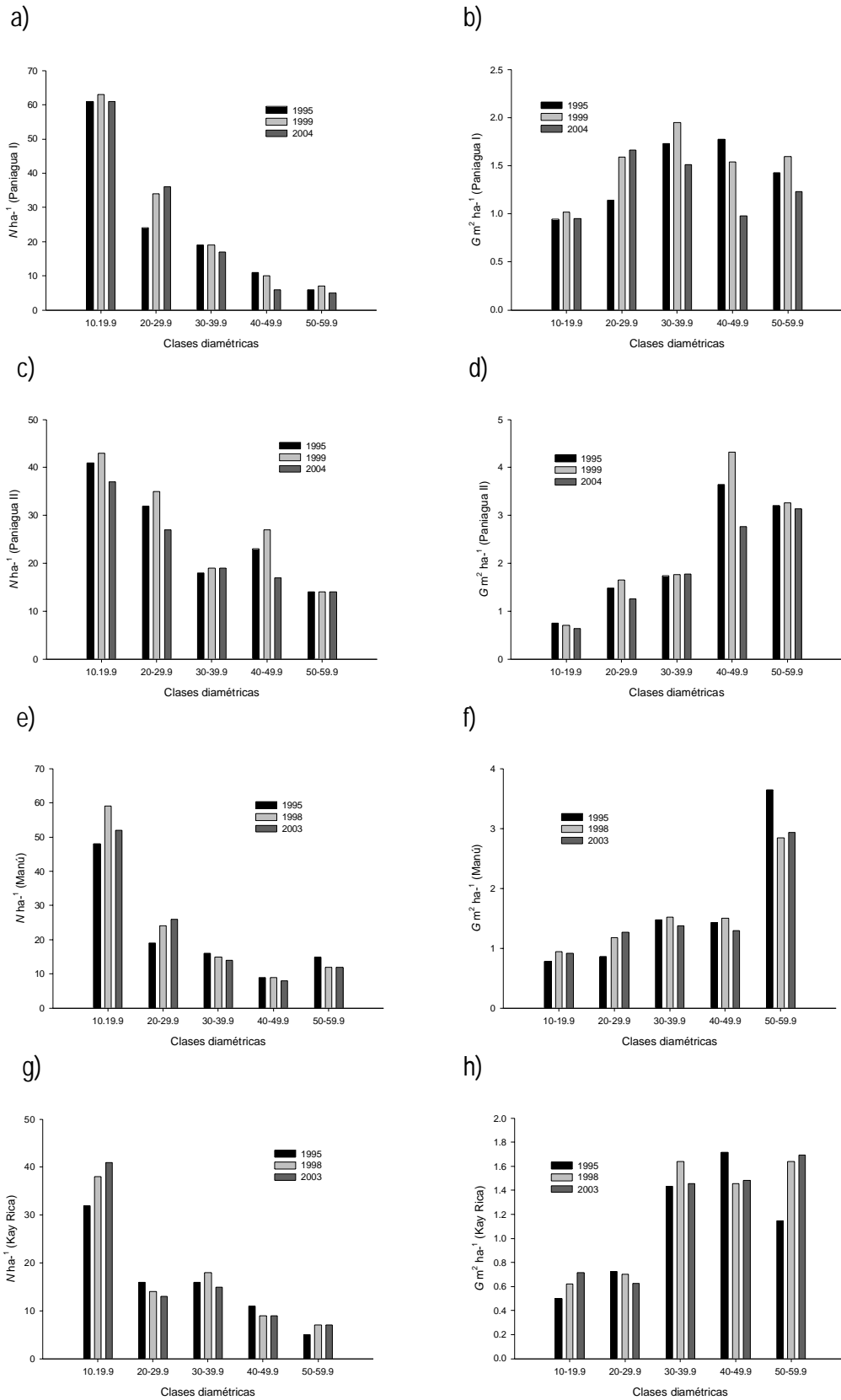


Figura 23. Distribución del Número de árboles de segunda cosecha, ($N\ ha^{-1}$) área basal ($G\ m^2\ ha^{-1}$) por clase diamétrica para bosques aprovechados del Norte de Costa Rica a) N Paniagua I b) G Paniagua I c) N Paniagua II, d) G Paniagua II, e) N Manú, f) G Manú, g) N Kay Rica, f) G Kay Rica.

En cuanto al grupo de árboles de segunda cosecha, los cuatro bosques presentaron una tendencia general hacia el aumento del número total de árboles conforme pasan los años; sin embargo, en los bosques de Kay Rica y Manú los tres primeros años se mantuvieron con igual densidad (Fig. 24 a).

Para el área basal total del grupo de segunda cosecha se pudo observar dos tendencias: la primera es en el bosque de Paniagua I y II que conforme aumenta los años aumentó el área basal, y en los otras dos bosques se mantuvo estable el área basal los 3 primeros años y posteriormente inició un aumento en la densidad de árboles de segunda cosecha (Fig. 24 b).

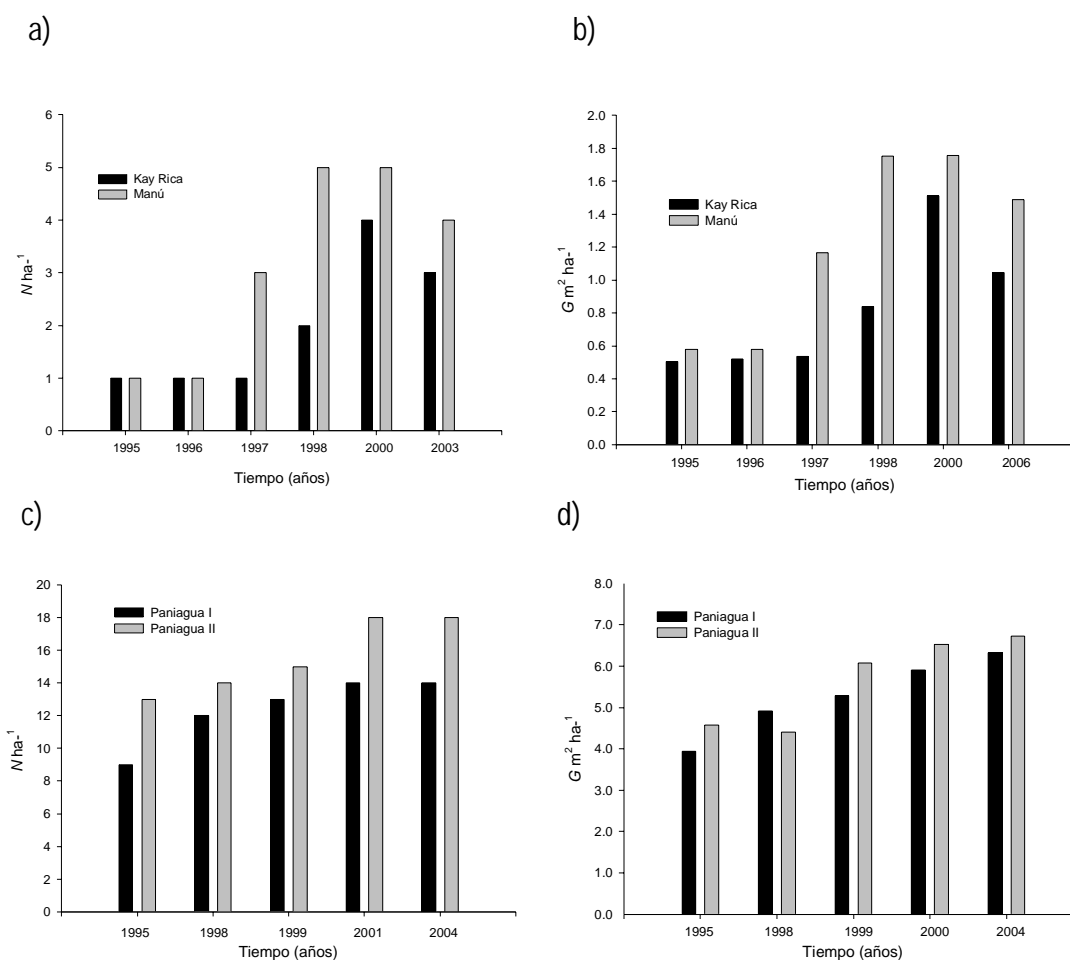


Figura 24. Distribución del Número de árboles (N/ha) y área basal ($G m^2/ha^{-1}$) de árboles de futura cosecha ≥ 60 cm dap de bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. a) Número de árboles de Paniagua I, Paniagua II, b) Área basal, Paniagua I, Paniagua c) Número de árboles de Kay Rica, Manú, c) Área basal de Kay Rica, Manú.

3.1.3 Crecimiento de árboles de futura cosecha

El Cuadro 13 muestra los incrementos obtenidos en distintos periodos para los seis bosques, en el bosque de Corinto el incremento fue menor en las parcelas testigo, los valores de incremento son muy similares a los encontrados por Camacho y Finegan (1997) en el bosque de La Tirimbina en el grupo de Futura cosecha. En el bosque de La Tirimbina el mayor incremento se observó para las parcelas con tratamiento de Liberación.

En los cuatro bosques con manejo comercial los incrementos diamétricos en el grupo de árboles de Futura cosecha fueron similares, a excepción del bosque de Kay Rica que presentó un incremento más alto de 1.43 mm y el bosque de Manú presentó un incremento de 0.35 mm. Estos valores de incrementos son similares a los reportadas por Guardia (2004) a nivel de rodal en bosques secundarios, pero por otro lado son inferiores a los reportados por Finegan y Camacho (1999) en el bosque húmedo la Tirimbina en el grupo de futura cosecha.

Cuadro 13. Incrementos diamétricos de árboles de futura cosecha, dap ≥ 10 cm, de periodos completos en bosques aprovechados del Norte de Costa Rica.

Bosque	Periodo	Tratamiento	Mín	Incremento mediano	Máx
Corinto	1992-2006	Aprovechamiento	2.28	2.73	3.43
Corinto	1992-2006	Liberación	2.6	3.27	3.89
Corinto	1992-2006	Testigo	1.79	2.01	2.32
Tirimbina	1990-2003	Aprovechamiento	1.76	1.97	2.31
Tirimbina	1990-2003	Liberación	2.22	2.73	3.07
Kay Rica	1993-2003	Aprovechamiento	1.34	1.43	1.63
Paniagua I	1993-2004	Aprovechamiento	-0.01	0.54	3.04
Paniagua II	1993-2004	Aprovechamiento	0.07	0.39	2.1
Manú	1993-2003	Aprovechamiento	-0.07	0.35	0.97

3.1.4 Cambios en la Composición florística

En 1993 el bosque de Corinto en sus 9.0 ha (Cuadro 14), contó con 4102 individuos ≥ 10 cm dap, representando 58 familias botánicas, 134 géneros y 245 especies. Al final del periodo el número de individuos disminuyó en un 2%, y fueron representados por 58 familias, 133 géneros y 235 especies. Las especies dominantes fueron *Pentaclethra maculosa* y la palma *Socratea exorrhiza*,

las cuales conforman el 30% del IVI. Las 10 especies más comunes comprendieron en conjunto, el 64% del área basal total.

En las parcelas con "Aprovechamiento" se encontró un promedio de 425 árboles por hectárea, donde las especies dominantes fueron *Pentaclethra macroloba* seguida por la *Iriartea deltoidea*, que ocupan el 55 % del área basal total. Las 10 especies más comunes conforman el 67 % del área basal.

En el tratamiento "Liberación", las especies dominantes fueron la *Pentaclethra macroloba* seguida nuevamente de la palma *Iriartea deltoidea*, ocupando entre las dos el 26 % del IVI. Este tratamiento fue el que presentó menor área basal y número de individuos por hectárea que los tratamientos de aprovechamiento y el testigo.

Cuadro 14. Especies dominantes (dap \geq 10 cm), de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI) en 3 ha⁻¹ por tratamiento antes del aprovechamiento (1992) y trece años de aprovechado (2006), por orden de tratamiento Testigo, Aprovechamiento y Liberación. Bosque Corinto, Costa Rica.

Bosque - Especie	1992				Bosque - Especie	2006			
	N/ha	G/ha	G (%)	IVI (%)		N/ha	G/ha	G (%)	IVI (%)
<i>Testigo</i>									
<i>Pentaclethra maculoba</i>	130	12.5	42.9	26.1	<i>Pentaclethra maculoba</i>	125	13.7	45.61	27.03
<i>Socratea exorrhiza</i>	26	0.4	1.4	3.9	<i>Socratea exorrhiza</i>	32.3	0.5	1.655	4.66
<i>Iriartea deltoidea</i>	22	0.4	1.5	3.6	<i>Iriartea deltoidea</i>	22	0.44	1.454	3.46
<i>Protium pittieri</i>	18	0.5	1.8	3.1	<i>Protium pittieri</i>	17.3	0.56	1.851	3.14
<i>Brosimum guianense</i>	15	0.6	2.0	3.0	<i>Brosimum guianense</i>	14.3	0.66	2.188	2.96
<i>Maranthes panamensis</i>	10	0.9	3.2	2.5	<i>Faramea occidentalis</i>	17.7	0.24	0.804	2.82
<i>Faramea occidentalis</i>	14	0.2	0.7	2.4	<i>Maranthes panamensis</i>	10.7	1.07	3.576	2.77
<i>Quararibea ochrocalyx</i>	14	0.2	0.7	2.2	<i>Mollinedia pinchotiana</i>	15.3	0.24	0.812	2.34
<i>Virola sebifera</i>	10	0.4	1.5	2.1	<i>Tapirira guianensis</i>	3.33	1.38	4.588	2.16
<i>Tapirira guianensis</i>	4	0.9	3.2	1.8	<i>Virola sebifera</i>	9.33	0.47	1.558	2.04
Otras 162 especies	211	11.9	41.0	49.4	Otras 153 especies	197	10.8	35.9	46.7
Total Especies	476	29	100	100	Total Especies	464	30	100	100
<i>Aprovechamiento</i>									
<i>Pentaclethra maculoba</i>	122	13.3	48.9	28.6	<i>Pentaclethra maculoba</i>	118	14.6	53.19	30.17
<i>Iriartea deltoidea</i>	25	0.5	1.8	4.4	<i>Iriartea deltoidea</i>	22.7	0.58	2.095	4.2
<i>Carapa guianensis</i>	14	1.3	4.9	3.9	<i>Socratea exorrhiza</i>	22.7	0.41	1.503	3.96
<i>Socratea exorrhiza</i>	21	0.4	1.4	3.8	<i>Cecropia insignis</i>	25	0.74	2.68	3.46
<i>Protium pittieri</i>	17	0.5	1.8	3.2	<i>Protium pittieri</i>	17	0.56	2.05	3.44
<i>Quararibea ochrocalyx</i>	15	0.2	0.8	2.6	<i>Brosimum guianense</i>	10.3	0.34	1.227	2.38
<i>Brosimum guianense</i>	10	0.3	1.1	2.2	<i>Pourouma bicolor</i>	10.7	0.42	1.519	2.29
<i>Colubrina spinosa</i>	10	0.2	0.6	1.9	<i>Colubrina spinosa</i>	11	0.2	0.725	2.27
<i>Faramea occidentalis</i>	10	0.1	0.5	1.8	<i>Quararibea ochrocalyx</i>	12.3	0.18	0.643	2.26
<i>Dendropanax arboreus</i>	6	0.2	0.9	1.5	<i>Carapa guianensis</i>	7.33	0.55	1.988	1.93
Otras 136 especies	183	10.1	37.3	46.1	Otras 129 especies	168	8.9	32.4	43.62
Total Especies	434	27	100	100	Total Especies	425	27	100	100
<i>Liberación</i>									
<i>Pentaclethra maculoba</i>	102	12.6	43.3	24.5	<i>Pentaclethra maculoba</i>	88.3	10.2	38.36	22.21
<i>Carapa guianensis</i>	16	1.9	6.4	4.6	<i>Iriartea deltoidea</i>	24.3	0.62	2.324	4.04
<i>Iriartea deltoidea</i>	28	0.6	2.2	4.3	<i>Carapa guianensis</i>	13.3	1.5	5.654	3.98
<i>Socratea exorrhiza</i>	18	0.3	1.1	3.0	<i>Socratea exorrhiza</i>	19	0.3	1.143	3.09
<i>Quararibea ochrocalyx</i>	18	0.3	0.9	2.7	<i>Welfia regia</i>	14	0.35	1.326	2.7
<i>Faramea occidentalis</i>	18	0.2	0.8	2.7	<i>Protium pittieri</i>	13	0.44	1.643	2.65
<i>Minuartia guianensis</i>	10	0.8	2.9	2.5	<i>Pourouma bicolor</i>	11.7	0.55	2.078	2.55
<i>Protium panamense</i>	11	0.3	1.2	2.2	<i>Faramea occidentalis</i>	14.3	0.2	0.748	2.38
<i>Tapirira guianensis</i>	5	1.0	3.3	1.9	<i>Quararibea ochrocalyx</i>	12.3	0.19	0.716	2.07
<i>Welfia regia</i>	10	0.2	0.7	1.8	<i>Virola sebifera</i>	8	0.33	1.244	1.84
Otras 159 especies	222	10.8	37.2	49.8	Otras 159 especies	218	11.8	44.8	52.5
Total Especies	457	29	100	100	Total Especies	436	27	100	100

En Tirimbina en 1990 (Cuadro 15), se registraron 2961 individuos $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$, pertenecientes a 51 familias botánicas, 137 géneros y 214 especies. Para el 2003, se registraron 4519 árboles $\geq 10 \text{ cm}$ de dap , divididos en 247 especies, 152 géneros y 59 familias. El tratamiento “Aprovechamiento”, presentó 534 individuos por hectárea, las especies dominantes fueron *Pentaclethra macroloba* seguida de la *Ferdinandusa panamensis*, las cuales cuentan con 121 individuos y con un 37 % de área basal total.

Las parcelas del tratamiento “Liberación” mostraron un número menor de árboles por hectárea 498 y un área basal de $22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, las especies dominantes en el 2003 fueron *Pentaclethra macroloba*, y la palma *Welfia regia* ambas especies ocupan el 34 % del total del área basal.

Cuadro 15. Especies dominantes ($\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$), de acuerdo al índice de Valor de Importancia (IVI), en 3 ha⁻¹ por tratamiento antes del aprovechamiento (1990) y a diez años de aprovechado (2003), por orden de tratamiento Aprovechamiento y luego Liberación. Bosque Tirimbina, Costa Rica

Bosque	1992				Bosque	2003			
Especie	N/ha	G/ha	G (%)	IVI (%)	Especie	N/ha	G/ha	G (%)	IVI (%)
Aprovechamiento									
<i>Pentaclethra macroloba</i>	74	7.2	32.8	18.1	<i>Pentaclethra macroloba</i>	75	8.6	33.6	18.1
<i>Ferdinandusa panamensis</i>	46	0.8	3.4	5.4	<i>Ferdinandusa panamensis</i>	46	0.8	3.0	5.0
<i>Welfia regia</i>	20	0.4	1.7	3.2	<i>Welfia regia</i>	26	0.5	1.9	3.6
<i>Dendropanax arboreus</i>	12	0.5	2.4	2.6	<i>Dendropanax arboreus</i>	13	0.6	2.4	2.5
<i>Iriartea deltoidea</i>	15	0.3	1.6	2.5	<i>Protium ravenii</i>	17	0.4	1.4	2.5
<i>Maclobium costaricense</i>	15	0.6	2.7	2.5	<i>Laetia procera</i>	15	0.6	2.5	2.3
Desconocido	13	0.3	1.6	2.2	<i>Minuartia guianensis</i>	12	0.4	1.6	2.1
<i>Casearia arborea</i>	12	0.3	1.5	2.2	<i>Iriartea deltoidea</i>	14	0.3	1.3	2.1
<i>Euterpe precatoria</i>	16	0.2	0.7	2.1	<i>Tapirira guianensis</i>	9	0.5	2.0	1.9
<i>Protium ravenii</i>	12	0.3	1.3	2.0	<i>Euterpe precatoria</i>	13	0.1	0.5	1.8
Otras especies	269	11.1	50.4	57.2	Otras especies	295	12.72	49.933	58.1
Total Especies	504	22	100	100	Total Especies	534	25.47	100	100.12
Liberación									
<i>Pentaclethra macroloba</i>	74	7.2	32.8	18.1	<i>Pentaclethra macroloba</i>	66	6.7	29.8	16.5
<i>Ferdinandusa panamensis</i>	46	0.8	3.4	5.4	<i>Welfia regia</i>	30	0.6	2.7	4.7
<i>Welfia regia</i>	20	0.4	1.7	3.2	<i>Protium ravenii</i>	25	0.5	2.1	3.7
<i>Dendropanax arboreus</i>	12	0.5	2.4	2.6	<i>Iriartea deltoidea</i>	20	0.5	2.1	3.1
<i>Iriartea deltoidea</i>	15	0.3	1.6	2.5	<i>Euterpe precatoria</i>	19	0.2	0.9	2.7
<i>Maclobium costaricense</i>	15	0.6	2.7	2.5	<i>Vochysia ferruginea</i>	8	0.9	4.0	2.5
Desconocido	13	0.3	1.6	2.2	<i>Minuartia guianensis</i>	10	0.5	2.0	2.1
<i>Casearia arborea</i>	12	0.3	1.5	2.2	<i>Socratea exorrhiza</i>	14	0.2	0.8	2.1
<i>Euterpe precatoria</i>	16	0.2	0.7	2.1	<i>Casearia arborea</i>	12	0.3	1.3	2.1
<i>Protium ravenii</i>	12	0.3	1.3	2.0	<i>Tapirira guianensis</i>	8	0.4	1.7	1.8
Otras 158 especies	269	11.1	50.4	57.2	Otras especies	284	11.71	52.425	58.83
Total Especies	504.3	22.0	100.0	100.0	Total Especies	498	22.34	100	100.03

En el resto de los bosques tienen distintos periodos de medición (Cuadro 16), en el bosque de Kay Rica se tenía al inicio del periodo 467 individuos ≥ 10 cm dap en una hectárea, los cuales son representados por 84 especies que corresponden a 71 géneros y 36 familias y al final del periodo se tenían 462 árboles por hectárea divididos en 36 familias, 66 géneros y 81 especies. Las especies dominantes fueron *Protium* sp seguida de *Inga* sp con 76 individuos y ocupando un 14 % del área basal total. Las 10 especies principales conforman el 58% del área basal.

En el bosque de Paniagua I en 1995, se tenían 449 individuos integrados en 45 familias, 78 géneros y 101 especies para el final del periodo el número de árboles aumento a 491 individuos por hectárea, conformadas en 46 familias, 84 géneros, 110 especies. Las familias más representadas fueron la Rubiaceae seguida de la Euphorbiaceae y los géneros mas representados fueron *Inga*, *Protium* y *Quaribea*.

El bosque de Paniagua II se tenía en el año 1995 del periodo 479 individuos conformados en 38 familias, 73 géneros y 94 especies para el para el año 2004, se tenían 448 individuos divididos en 37 familias, 66 géneros y 87 especies.

El número total de registros de individuos considerados en el análisis del periodo 1995 al 2003, fue al inicio de 860 árboles con dap ≥ 10 cm, conformados en 44 familias, 80 géneros y 112 especies, para el final de periodo el número de árboles disminuyó drásticamente a 485 individuos, de igual forma disminuyó el número de especies, conformados en 38 familias, 67 géneros y 90 especies.

Cuadro 16. Especies dominantes (dap \geq 10 cm), de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI), por 0.1 ha⁻¹ por bosque primera y última medición (2003, 2004), por orden Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú. Cuatro bosques aprovechados del norte de Costa Rica.

Nombre Científico	N/ha	G/ha	G (%)	IVI (%)	Nombre Científico	N/ha	G/ha	G (%)	IVI (%)
<i>Pentaclethra macroloba</i>	76	6.8	26.4	15.5	<i>Pentaclethra macroloba</i>	92	10.6	29.4	16.0
Desconocido	39	4.0	15.6	9.5	Desconocido	26	1.5	4.1	3.9
<i>Welfia regia</i>	24	0.5	2.1	3.3	<i>Welfia regia</i>	38	0.9	2.5	3.8
<i>Casearia arborea</i>	19	0.3	1.2	2.6	<i>Goethalsia meiantha</i>	14	1.8	5.1	2.9
<i>Goethalsia meiantha</i>	11	1.0	3.8	2.4	<i>Casearia arborea</i>	23	0.6	1.6	2.4
<i>Apeiba membranacea</i>	10	0.7	2.6	2.4	<i>Pourouma bicolor</i>	17	0.8	2.1	2.4
<i>Iriartea deltoidea</i>	13	0.2	0.8	2.3	<i>Apeiba membranacea</i>	14	0.9	2.5	2.4
<i>Pourouma bicolor</i>	14	0.3	1.3	2.2	<i>Inga sp.</i>	13	0.6	1.7	2.2
<i>Warszewiczia coccinea</i>	13	0.3	1.1	2.1	<i>Warszewiczia coccinea</i>	15	0.3	0.9	1.9
<i>Dipteryx panamensis</i>	2	1.2	4.8	2.0	<i>Iriartea deltoidea</i>	14	0.2	0.6	1.9
Otras 92 especies	228	10.4	40.3	55.7	Otras especies	321	17.85	49.525	60.23
Total Especies	449	25.7406	100	100	Total Especies	587	36.05	100	100
<i>Pentaclethra macroloba</i>	88	12.0	40.0	21.1	<i>Pentaclethra macroloba</i>	122	17.6	42.3	21.1
Desconocido	34	2.3	7.6	6.2	<i>Welfia regia</i>	69	1.6	3.9	5.8
<i>Tetragastris panamensis</i>	19	3.0	10.1	5.6	<i>Tetragastris panamensis</i>	17	2.8	6.8	3.8
<i>Welfia regia</i>	35	0.8	2.8	4.5	Desconocido	25	0.7	1.7	2.7
<i>Brosimum lactescens</i>	12	1.0	3.3	3.0	<i>Brosimum lactescens</i>	16	0.9	2.1	2.3
<i>Socratea exorrhiza</i>	17	0.2	0.8	2.5	<i>Warszewiczia coccinea</i>	24	0.5	1.2	2.3
<i>Warszewiczia coccinea</i>	17	0.4	1.2	2.5	<i>Dendropanax arboreus</i>	15	0.6	1.5	2.1
<i>Dendropanax arboreus</i>	10	0.3	1.2	2.0	<i>Inga sp.</i>	16	0.6	1.3	2.0
<i>Virola sebifera</i>	10	0.4	1.4	1.9	<i>Pouteria sp.</i>	16	0.6	1.3	2.0
<i>Brosimum guianense</i>	7	0.3	1.0	1.7	<i>Socratea exorrhiza</i>	22	0.3	0.7	1.9
Otras 77 especies	199	9.2	30.7	48.9	Otras especies	355	15.53	37.267	54.25
Total Especies	448	29.9367	100	99.96	Total Especies	697	41.67	100	100.01
Desconocido	58	2.2	10.8	10.9	<i>Protium sp.</i>	49	2.0	9.3	9.5
<i>Protium sp.</i>	53	1.9	9.2	10.0	<i>Inga sp.</i>	27	0.9	4.2	5.2
<i>Tapirira guianensis</i>	21	1.2	5.9	5.1	<i>Tapirira guianensis</i>	18	1.4	6.4	4.8
<i>Pouteria sp.</i>	16	0.7	3.7	3.6	Desconocido	24	0.7	3.5	4.6
<i>Conceveiba pleiostemona</i>	8	1.4	6.9	3.5	<i>Minuartia guianensis</i>	13	1.2	5.7	3.8
<i>Inga sp.</i>	16	0.7	3.4	3.5	<i>Pouteria sp.</i>	15	0.7	3.1	3.4
<i>Minuartia guianensis</i>	12	1.1	5.2	3.5	<i>Vochysia ferruginea</i>	7	1.3	6.1	3.1
<i>Dystovomita paniculata</i>	17	0.4	2.2	3.1	<i>Dystovomita paniculata</i>	16	0.4	2.0	3.0
<i>Alchorneopsis floribunda</i>	8	0.9	4.4	2.7	<i>Conceveiba pleiostemona</i>	8	1.0	4.6	2.8
<i>Dendropanax arboreus</i>	12	0.5	2.6	2.5	<i>Dendropanax arboreus</i>	14	0.5	2.5	2.8
Otras especies	246	9.3	45.8	51.7	Otras especies	271	11.26	52.66	57.02
Total Especies	467	20.3228	100	99.97	Total Especies	462	21.39	100	100.03
<i>Pentaclethra macroloba</i>	78	8.8	32.9	20.7	<i>Pentaclethra macroloba</i>	62	7.5	28.2	17.3
<i>Protium pittieri</i>	40	1.1	4.2	6.2	<i>Protium pittieri</i>	39	1.4	5.1	6.7
<i>Protium sp.</i>	36	0.9	3.5	5.5	Desconocido	29	0.9	3.3	4.8
Desconocido	28	0.8	3.0	4.5	<i>Protium sp.</i>	28	0.8	3.1	4.6
<i>Pouteria sp.</i>	15	1.8	6.9	4.3	<i>Pouteria sp.</i>	15	1.9	7.3	4.5
<i>Stephanopodium costaricense</i>	20	0.9	3.3	3.8	<i>Eschweilera sp.</i>	13	1.8	6.6	4.1
<i>Eschweilera sp.</i>	13	1.6	5.8	3.8	<i>Stephanopodium costaricense</i>	20	1.0	3.9	4.1
<i>Micropholis crotonoides</i>	7	1.2	4.6	2.5	<i>Tapirira guianensis</i>	17	0.9	3.2	3.3
<i>Inga sp.</i>	13	0.6	2.2	2.5	<i>Laetia procera</i>	20	0.4	1.6	2.8
<i>Iriartea deltoidea</i>	14	0.3	1.3	2.3	<i>Inga sp.</i>	12	0.6	2.3	2.5
Otras especies	237	8.6	32.4	43.9	Otras especies	230	9.482	35.54	45.27
Total Especies	501	26.6469	99.9998	99.97	Total Especies	485	26.68	100	99.99

El análisis del índice de similaridad por tratamiento (Cuadro 17), mostró cambios significativos en el bosque de Corinto dentro del tratamiento de Aprovechamiento y de Liberación. Estos cambios debieron ser influenciados por el efecto de los tratamientos puesto que las parcelas Testigo no mostraron cambios. El bosque de La Tirimbina permaneció sin cambios a lo largo del periodo.

A nivel de parcela individual el bosque de Corinto presentó cambios en la parcela Testigo, estos cambios pueden ser provocados por la alta mortalidad que existe en este sitio por la incidencia de los vientos alisios y la pendiente pronunciada que no permite el desarrollo de suelos profundos (observaciones en campo). En el Tratamiento de Aprovechamiento estos cambios debieron ser por efecto del tratamiento puesto que se presentaron cambios en la composición florística en dos de las tres parcelas. El bosque de La Tirimbina no mostró cambios significativos en la composición de las especies a nivel de parcelas de acuerdo al índice de diversidad calculado en del periodo de 1990 al 2003.

Cuadro 17. Cambios de composición florística a través del uso del el índice de similaridad de Chao-Jaccard según Chao *et al.* (2005) en dos bosques de la zona Norte de Costa Rica. *= Significa cambio significativo en composición florística.

Bosque	Tratamiento	Índice de similaridad	Error estándar
Corinto			
2,7,8	Testigo	1.00	0.005
5,6,9	Aprovechamiento	0.95*	0.024
1,3,4	Liberación	0.91*	0.067
2	Testigo	1.00	0.003
7	Testigo	1.00	0.011
8	Testigo	0.63*	0.107
5	Aprovechamiento	0.974	0.034
6	Aprovechamiento	0.86*	0.076
9	Aprovechamiento	0.96	0.036
1	Liberación	1.00	0.003
3	Liberación	1.00	0.003
4	Liberación	0.82*	0.078
La Tirimbina			
2,4,8,	Aprovechamiento	1.00	0.006
3,5,9	Liberación	1.00	0.009
2	Aprovechamiento	1.00	0.01
4	Aprovechamiento	1.00	0.02
8	Aprovechamiento	1.00	0.011
3	Liberación	1.00	0.031
5	Liberación	1.00	0.011
9	Liberación	1.00	0.007

4. DISCUSIÓN

4.1 Cambios en estructura y composición florística en bosques con fines de investigación científica

Los bosques con fines de investigación científica clasificados como bosques de *Pentaclethra macroloba* con dominancia de palmas (Ramos 2004) mostraron cambios estructurales a trece y diez años de aprovechados, donde se extrajeron árboles ≥ 60 cm dap con un promedio aproximado de 4.6 árboles por hectárea, con un volumen aproximado de $12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

El bosque de Corinto no mostró cambios entre la mortalidad y el reclutamiento por lo que se puede decir que durante el periodo de estudio 1992-2006 existió un estado de “equilibrio dinámico típico” (Swaine *et al.* 1987). Sin embargo, en el bosque de La Tirimbina el tratamiento de Liberación presentó un mayor reclutamiento en el periodo de 1990-2003. Esto fue a causa de la extracción de árboles que originó la apertura del dosel, permitiendo una mayor cantidad de radiación solar que favoreció el establecimiento de individuos de especies demandantes de luz (Lamprecht 1990, Finegan 1992).

El reclutamiento en bosques tropicales implica una secuencia de etapas que van desde la disponibilidad del polen, dispersión de semillas, limitación del número de semillas por los procesos de dispersión o por factores abióticos tales como la disponibilidad de agua, nutrientes y luz. La limitación impuesta por estas etapas puede verse afectada por la explotación forestal selectiva, es necesario investigar el efecto de las prácticas silvícolas sobre cada etapa en la dinámica del bosque (Dauber *et al.* 2003).

La tasa de mortalidad natural de las áreas intervenidas en ambos bosques fue similar y no mostró cambios significativos a lo largo del periodo de medición. Fue similar también a datos de bosques primarios sin intervenir como por ejemplo a datos de La Selva que presenta una tasa de 2.03% (Lieberman *et al.* 1987) y a los mismos valores de las parcelas testigo del bosque Corinto. La mortalidad total, por supuesto, es mayor en los bosques intervenidos que en los testigos debido a las operaciones de manejo. Sin embargo, la falta de un efecto de la intervención en la tasa de mortalidad sugiere que el manejo está teniendo un efecto mínimo en la integridad del bosque en

términos de su dinámica. Se debe tomar en cuenta, por otra parte, que durante el periodo 1993-1996 la mortalidad natural si fue significativamente mayor en las parcelas con tratamiento de Liberación en La Tirimbina que en las parcelas con solo aprovechamiento (Finegan y Camacho 1999).

El número de árboles y el área basal en conjunto reflejan el estado del bosque. Se dice que el área basal total de un bosque primario no intervenido es un indicador de la calidad del sitio: a mayor área basal, mejor calidad de sitio (Louman *et al.* 2002).

En general el bosque de Corinto a lo largo del periodo de medición (1992-2006) mostró un número de árboles similar al de bosques primarios no intervenidos (Lieberman 1987). El área basal osciló entre los 27 y 30 m³ por ha⁻¹. Lamprecht (1990) encontró áreas basales de 27 y 30 m³ ha⁻¹ en bosques africanos no perturbados. De igual forma en bosques guatemaltecos de la Reserva de la Biosfera Maya, se tiene un promedio de 526 individuos por ha con dap \geq 10 cm con un área basal de 24.8 m² ha⁻¹(CATIE-CONAP 2001).

El rodal completo del bosque de Corinto mostró cambios en la estructura horizontal por efectos del aprovechamiento forestal, pues se presentaron cambios en el área basal después del aprovechamiento (2000). De igual forma, al comparar entre tratamientos se observaron cambios a partir del año 1993 (después del aprovechamiento), así mismo se puede decir que el rodal completo después de trece años de aprovechado, el bosque mostró una recuperación en área basal y número de individuos al no mostrar diferencias entre los años 1992 y 2006 y entre tratamientos para el último año de medición.

El bosque de La Tirimbina en las parcelas con tratamiento de Aprovechamiento presentó un número de árboles ligeramente mayor que los bosques primarios no intervenidos (504 árboles ha⁻¹). Comparando datos como con La Selva que presenta un promedio de 407 árboles por ha⁻¹ (Base de datos del CATIE 2006). Sin embargo presentó un área basal baja (21 m² ha⁻¹) caso contrario en las parcelas con tratamiento de Liberación que presentó en promedio 483 árboles y un área basal de 25 m³ por ha⁻¹.

Louman *et al.* (2002) dicen que el área basal en bosques húmedos tropicales de bajura en centroamérica presentan un área basal que varía entre los 10 y 35 m² ha⁻¹ en árboles ≥ 10 cm de dap. Que tales variaciones se deben entre otras a la profundidad del suelo, el drenaje y la fertilidad.

Al agrupar los individuos por grupos comerciales no se mostraron cambios en los tratamientos de Aprovechamiento en Corinto y Tirimbina, sin embargo, en el tratamiento de Liberación mostró cambios negativos en el número de árboles total en el bosque de Corinto y un aumento en el número de árboles del bosque La Tirimbina. Si la aplicación de tratamientos silviculturales pretende aumentar el número de individuos comerciales, se puede observar que en los bosques con fines de investigación, a trece y diez años de evaluaciones el número de árboles comerciales no aumentó y el área basal disminuyó. Lo principal del tratamiento es que pretende dar más espacio a un número menor de árboles, de manera que tener un crecimiento más rápido, y menor mortalidad para que valga la pena aplicar el tratamiento (económicamente), debe dar más volumen aprovechable o ciclos de corta más cortos. En los árboles de futura y segunda cosecha hubo un incremento en el número de árboles pero no así en área basal.

4.2 Cambios en estructura y composición florística en bosques con fines de investigación científica

En cuanto a los cuatro bosques manejados con fines comerciales no se puede mostrar cambios en la estructura con bases estadísticas puesto que se utilizaron valores netos de una parcela por bosque. Lo cual permite mostrar solo tendencias a lo largo del periodo de investigación. Estas tendencias muestran en general una disminución del número de árboles y área basal al último año de medición para los cuatro bosques. De igual forma sucede al agruparlas en árboles comerciales, de segunda y futura cosecha.

4.1 Cambios en composición florística por bosque

Según el índice de similaridad de Chao-Jaccard, según Chao *et al.* (2005), el bosque de Corinto mostró cambios en composición florística en dos de los tratamientos y a nivel de parcela

individual, este comportamiento debe estar ligado a la intensidad de la perturbación causada por efectos del aprovechamiento o a la aplicación de tratamientos silviculturales. Sin embargo, el bosque de la Tirimbina que fue aprovechado con mayor intensidad no presentó cambios en composición florística. Esto puede ser porque el bosque de Corinto antes de los tratamientos no había recibido ningún tipo de aprovechamiento y sin embargo La Tirimbina ya había sido intervenido hace alrededor de 60 años por lo cual antes de ser aprovechado mostraba individuos de especies pioneras que el bosque de Corinto no presentaba antes de ser aprovechado.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ◇ El bosque de Corinto a nivel de rodal no presentó cambios estadísticamente significativos entre tratamientos al analizar la mortalidad natural y el reclutamiento total para el periodo 1992 - 2006. La tasa de cambio en el número de árboles y área basal por ha fue más alta en el tratamiento de Liberación.
- ◇ La tasa de mortalidad natural más alta la presentaron las parcelas con tratamiento de Aprovechamiento y las parcelas de Liberación, sin embargo no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Esta tasa de mortalidad fue similar a la reportada para bosques primarios de la zona.
- ◇ El bosque La Tirimbina a nivel de rodal presentó cambios estadísticamente significativos entre tratamientos en el número de muertos naturales y reclutas total para el periodo 1990 al 2003. El tratamiento de Liberación provocó un mayor reclutamiento, que el tratamiento de aprovechamiento. La tasa de cambio fue más alta para el tratamiento de Aprovechamiento pues se observó un aumento en número de árboles y área basal para el último año (2003).
- ◇ En La Tirimbina la tasa de mortalidad natural más alta la presentó el tratamiento de Aprovechamiento, sin embargo nuevamente no se tienen diferencias significativas, y las tasas fueron similares a bosques sin intervención.
- ◇ Los bosques de Corinto y Tirimbina recuperaron el número total y por clase diamétrica de árboles después del aprovechamiento forestal y de la aplicación de los tratamientos silviculturales, probablemente por la capacidad de resiliencia de los bosques que responden a la perturbación aumentando el número de reclutas a la primera clase diamétrica (10-19.9 cm dap).
- ◇ Los bosques de Paniagua I, Paniagua II, Manú y Kay Rica mostraron tendencias hacia la recuperación pero se puede concluir que son bosques que aún requieren de un periodo más largo para su recuperación, pues por falta de repeticiones no se pueden sacar conclusiones y es altamente deseable replicar parcelas dentro de sitios.

- ◇ El bosque de Corinto presenta diferencias entre tratamientos por categorías diamétricas en la densidad de árboles después del aprovechamiento, pero muestra una recuperación para el último año de medición, en un periodo de 13 años.
- ◇ El bosque de La Tirimbina presenta diferencias entre tratamientos para todos los años a partir del año del aprovechamiento. En este bosque se tiene una mayor densidad en las parcelas con Aprovechamiento que en las parcelas Liberación, se puede decir que el tratamiento Liberación removió una mayor cantidad de individuos y por lo tanto requiere un periodo más largo para su recuperación.
- ◇ En los bosques estudiados el área basal presentó cambios significativos en el rodal total y por grupo comercial derivados del aprovechamiento forestal y de los tratamientos silviculturales. Sin embargo estos bosques muestran una recuperación del área basal
- ◇ Se recomienda continuar con la evaluación de estos bosques a un periodo más largo de mediciones, y que futuros estudios aseguren un adecuado número de repeticiones de parcelas para poder obtener conclusiones mejor fundamentadas sobre la recuperación del bosque.

6. BIBLIOGRAFÍA

Atlas de Costa Rica. 2000. Mapas digitales. ArcExplorer. Laboratorio de Sistemas de información Geográfica, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica – ITCR. San José, Costa Rica.

Camacho, M.; Finegan, B. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del Norte de Costa Rica. El crecimiento diamétrico con énfasis en el rodal comercial. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 295. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales. 54 p.

Campos, J.; Camacho, C.; Villalobos, R.; Rodríguez, C.; Gómez, M. 2001, La tala ilegal en Costa Rica. Un análisis para la discusión. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). San José, Costa Rica.

Carrera, F. 1993. Rendimientos y costos de las operaciones iniciales de manejo en un bosque primario de la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mg. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Carrera, F.; Orozco, L.; Sabogal, C. 1996. Manejo de un bosque muy húmedo de bajura. Área de demostración e investigación” Los Laureles de Corinto”. Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. Curso Intensivo internacional. Vol. 2

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2006. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente. Base de Datos. Datos sin publicar. Turrialba, Costa Rica.

CATIE-CONAP 2001. Plan general de manejo forestal diversificado de la concesión comunitaria de San Miguel La Palotoda. Serie Técnica. Informe Técnico no 320. Turrialba, Costa Rica

Chao, A.; Chazdon, R.; Colwell, R.; Shen, T-J. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. Ecology Letters. 8:148-59

- CNCF (Comisión Nacional de Certificación Forestal). 1999. Estándares y procedimientos para el manejo sostenible y la certificación forestal en Costa Rica. Publicación. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Humano Sostenible y la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE. 54 p.
- Colwell, R. 2004. EstimateS, Version 7: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software and User's Guide). Freeware for Windows and Mac OS.
- Curtis, J.; McIntosh, R. 1950. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31: 434-450.
- Dauber, E.; Fredericksen, T.; Peña-Claros, M.; Leño, C.; Licona, J.; Contreras, F. 2003. Tasas de Incremento Diamétrico, Mortalidad y Reclutamiento con base en las Parcelas Permanentes Instaladas en Diferentes Regiones de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
- Delgado, D. 1995. Efectos en la riqueza, composición y diversidad florística producidos por el manejo silvícola de un bosque húmedo tropical de tierras bajas en Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- Delgado, D.; Finegan, B.; Zamora, N.; Meir, P. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del Norte de Costa Rica: cambios en la riqueza y composición de la vegetación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 298. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales No. 12. 43 p.
- Finegan, B. 1992. Bases Ecológicas para la Silvicultura. Tema 1. V Curso Internacional sobre Silvicultura y Manejo de Bosques Tropicales, CATIE, Turrialba, CR. 170 p.
- Finegan, B.; Camacho, M. 1999. Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rica rain forest, 1988-1996. *Forest Ecology and management* 121:177-189.

- Finegan, B.; Delgado, D.; Camacho, M.; Zamora, N. 2001. Timber production and plant biodiversity conservation in a Costa Rican rain forest: an experimental study and its lessons for adaptive sustainability assessment. In A. Franc; O. Laroussinie and T. Karjalainen (Editors). Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management at the Forest Management Unit Level. European Forestry Institute Proceedings No. 38, pp. 123-134.
- Finegan, B.; Camacho, M.; Zamora, N. 1999. Diameter increment patterns among 106 tree species in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest. *Forest Ecology and Management*. pp. 121 159-176
- Guardia, V. 2004. Dinámica y efectos de un tratamiento silvicultural en el bosque secundario San Carlos, CR. Tesis Mg. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 143 p.
- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica. 219 p.
- 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. Trad. por Antonio Carrillo. GTZ, Alemania. 335 p.
- Lieberman, D.; Lieberman, M.; Peralta, R; Hartshorn, G. 1985. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of ecology*. 73:915-924.
- Lieberman, D.; Lieberman, M. 1987. Forest tree growth and dynamic at La Selva, Costa Rica (1969-1982). *Journal of Tropical Ecology (G. B.)*. 3(4): 347-358.
- Louman, B.; Stanley, S.; Orozco, L. (ed). 2002 Análisis e interpretación de resultados de inventarios forestales. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico (CATIE).no. 50.

- Mata, R. 1997. Estudio detallado de suelos: Área de Demostración e Investigación La Tirimbina, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). 52 p.
- Navarro, 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. Segundo informe. SINAC-FAO- TCP/COS/3003. San José, C.R.
- Putz F.; Redford K.; Robinson J.; Fimbel R.; Blate G. 2000. Biodiversity Conservation in the Context of Tropical Forest Management. The World Bank, Environment Department Papers, Paper No. 75. Washington DC, USA. 80 p.
- Quirós, D; Finegan, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico no. 225. 25 p.
- Ramos, Z. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 114 p.
- Ramos, Z.; Finegan, B. 2005. Una red ecológica para la conservación de la biodiversidad. Recursos, Ciencia y decisión. No. 4
- Sabogal, C.; Orozco, L.; Artavia, L. 1991. Plan de manejo de un área experimental de bosque natural en la finca "Los Laureles de Corinto" La Unión de Pococí. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 12 p.
- SIREFOR (Sistema de Información de los recursos forestales en Costa Rica. 2007. Control de la tala ilegal. Consultado el día 18 de enero del 2007. Disponible en <http://www.sirefor.go.cr/talailegal.html>

Swaine, M.; Lieberman, D.; Putz, F. 1987. The dynamics of tree populations in tropical forest. *Journal of Tropical Ecology* (EUA). V 3 p 359-366.

Wagner, U. 1997. Efectos del manejo maderero sobre la biodiversidad florística y la estructura de bosques húmedos de Costa Rica. In *Simposio Internacional. Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical*. Santa Cruz, Bolivia.

Zoglmeier, B. 1996. Beschreibung und Klassifikation der Böden eines tropischen Regenwaldes (Los Laureles de Corinto) in Costa Rica und ihre Darstellung in einer BodenKarte. Diplomarbeit im Fach Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München. 98 p.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de los seis sitios de estudio de la zona Norte de Costa Rica

Bosques	Corinto	Tirimбина	Paniagua I	Paniagua II	Manú	Kay Rica
Ubicación	Pococi, Guápiles	Sarapiquí, Heredia	Sarapiquí, Heredia			
Organización	CATIE	CATIE	FUNDECOR	FUNDECOR	FUNDECOR	FUNDECOR
Altitud (msnm)	235	260	150-200		160-220	235
Zona de vida (Holdridge 1987)	Bosque muy HúmedoTropical	Bosque muy HúmedoTropical	Bosque muy HúmedoTropical	Bosque muy HúmedoTropical	Bosque muy HúmedoTropical	Bosque muy HúmedoTropical
Precipitación media anual (mm)	4000	3864	3000-5000		3700	3864
Temperatura media anual °C	23	24.5	23-26		24	24.5
Unidad de manejo (ha)	30	29.16	70		11	56
Número de parcelas	9 ha	6 ha	1	1	1	1
Tratamientos (año)	1996	1991	1996	1996	1996-2000	1997
Área efectiva (ha)	35	32	70	23	56	11
Ciclo de corta	15	15	15	15	15	10
Segunda cosecha	No definido	No definido	2010	2015	2010	2006
Volumen Total aprovechado m ³ ha ⁻¹ ≥60 cm dap	609.2		122	346	503	66.6
Volumen m ³ ha ⁻¹	17.4		1.7	15	8.9	6
Núm. de árboles total aprovechado			30	115	152	23
Núm árboles ha ⁻¹	5.7		0.42	5	2.7	2
Periodo de observación	1992-2006	1990-2003	1995-2004	1995-2004	1995-2003	1995-2003

Artículo II. Cambios en la integridad ecológica de un bosque: la aplicación de la guía de monitoreo ecológico en bosques aprovechados de la zona Norte de Costa Rica

1. INTRODUCCIÓN

La certificación voluntaria de bosques es uno de los mecanismos que ha implementado el Consejo de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas e inglés) en Centro América, para promover la práctica del manejo sostenible. En la certificación se evalúa el manejo mediante el establecimiento de un conjunto de Principios y Criterios de Manejo Forestal que son aplicables a todos los bosques tropicales, templados y boreales (FSC 2000).

El FSC además de sus P&C ha promovido el concepto de Bosques de Alto Valor para la Conservación (BAVC) y el monitoreo anual de áreas designadas como BAVC a través de sus principios 8 y 9, con el fin de asegurar que estos bosques con atributos especiales reciban un trato adecuado durante el proceso de la certificación. Como parte de esta necesidad se desarrollaron metodologías para la identificación y monitoreo de BAVC en Canadá, Rusia, China e Indonesia.

En Centro América el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF Centroamérica), la Universidad del Estado de Oregon (OSU) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE), desarrollaron una guía de monitoreo ecológico (Finegan *et al.* 2004), donde proponen herramientas prácticas para detectar cambios aceptables o inaceptables en bosques provocados por el manejo en BAVC y parten de la premisa de que “el monitoreo tiene como meta determinar la ocurrencia, tamaño, dirección e importancia de los cambios que se dan en el bosque” (Finegan *et al.* 2004; en adelante llamada, “la guía”).

En esta guía se describen los pasos a seguir para llevar a cabo el monitoreo de manera sencilla y práctica, donde se tiene como un primer paso, la determinación de los objetivos del monitoreo, los cuales son establecidos como un punto de partida para llegar a alcanzar la metas propuestas en el manejo del bosque.

En Costa Rica, el estándar nacional oficial para el manejo forestal sostenible fue formulado para ajustarse a los P & C del FSC (CNCF 1999) y actualmente gobierna, las actividades de manejo en el país. Además, el área total de bosques certificados por el proceso del FSC

En este trabajo se pretende evaluar el grado del impacto causado por el aprovechamiento forestal y determinar si es aceptable o no de acuerdo a la evaluación de indicadores claves.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica al Norte del país, al pie de la Cordillera Volcánica Central, en las provincias de Heredia y Limón en los cantones de Sarapiquí y Pococí, abarcando cuatro distritos: Guápiles, Horquetas, Puerto Viejo y La Virgen (Fig. 1).

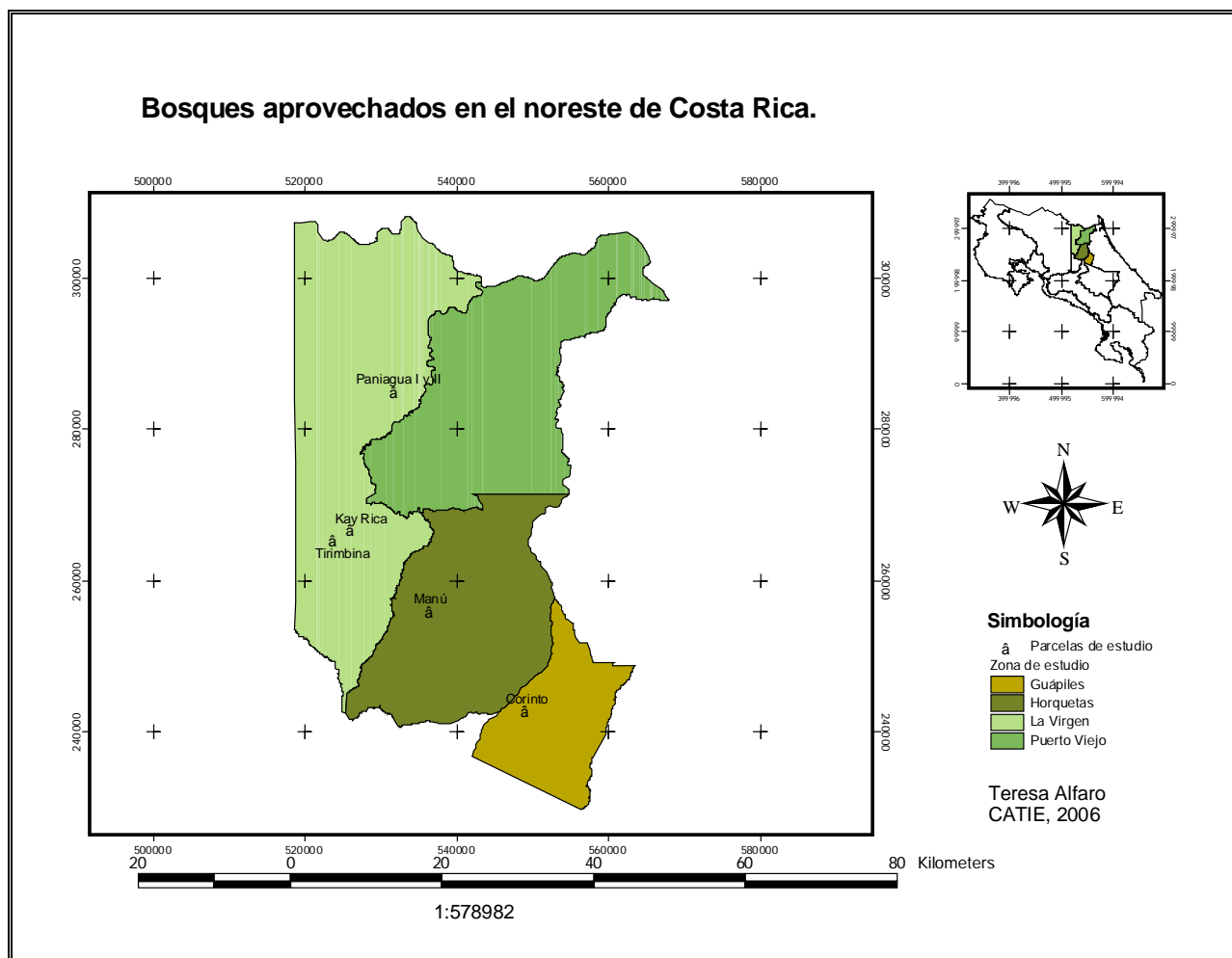


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en seis bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. El círculo indica ubicación de parcelas permanentes.

2.1 Topografía

En general el paisaje de la zona de estudio, es muy diverso, pues en la parte norte se presenta un conjunto de lomas o colinas bajas de formas irregulares con elevaciones de hasta 100 msnm, la parte central es caracterizada por suelos y topografía de origen aluvial y en el sur se muestra un sistema montañoso complejo con elevaciones hasta los 2800 msnm (Atlas de Costa Rica 2000).

2.2 Clima y suelo

La región esta influenciada por las condiciones climáticas del Atlántico y la mayor parte del territorio presenta un clima tropical lluvioso de zonas bajas, con un rango de precipitación anual que varía entre los 3000 mm hasta los 5200 mm. La media anual se estima en 3,800 mm, y la humedad relativa entre 85-95%, con ausencia de sequías prolongadas o épocas secas. La temperatura media anual es de alrededor de 24° C, oscilando entre los 20 ° C y 27 ° C (Atlas de Costa Rica 2000).

Los suelos en el área de estudio son de origen volcánico con formaciones superficiales, principalmente de la época del cuaternario, predominando el orden de los Ultisoles los cuales son de relativamente baja fertilidad. También se encuentran áreas importantes de Inceptisoles; estos son suelos jóvenes de baja fertilidad con elementos formados con baja saturación de bases presentes en terrenos suavemente ondulados con pendientes de 2-15%. De igual forma se encuentran presentes los suelos del orden de los Entisoles, que son suelos recientes con poco desarrollo de horizonte, presentes en terrenos planos y pendientes de 0-2% (Atlas de Costa Rica 2000).

2.2 Vegetación

Los seis bosques estudiados son bosques naturales latifoliados y se encuentran actualmente bajo manejo forestal. Estos bosques podrían considerarse como de alto valor para la conservación por las siguientes razones (Finegan *et al.* 2004): Es un área forestal que contiene concentraciones de valores de biodiversidad a nivel regional y nacional (AVC1), son zonas que están ubicados dentro del corredor Biológico, San Juan-La Selva (AVC2), que forma parte del corredor Biológico Mesoamericano (AVC2) (Chassot y Monge (2005).

La vegetación natural presente en la zona de estudio, según la clasificación de Holdridge (1982), es bosque muy húmedo tropical (bmh-T) y en menor medida se encuentra al bosque muy húmedo premontano, transición a basal (bmh-P), bosque muy húmedo transición a premontano (bmh-T12), bosque pluvial premontano (bp-P) y bosque pluvial montano bajo (bp-MB).

El paisaje de la zona de estudio, en la parte Norte presenta un 70% de su cobertura vegetal (Ramos 2004) y según la clasificación de McIntyre y Hobbs (1999) es un paisaje variegado por contener

entre el 60-90% de su cobertura original, en donde aún es posible mantener una conectividad natural. La zona Sur se clasifica como un paisaje fragmentado por tener entre un 10 y 60% de su cobertura boscosa (Ramos 2004).

El tipo de bosque según la clasificación de Ramos y Finegan (2005) para los bosques de La Tirimbina, Corinto, Paniagua I, Paniagua II y Manú, se clasifica como bosques de *Pentaclethra macroloba* con palmas y el bosque de Kay Rica que no tiene dominancia de *Pentaclethra macroloba*, se clasifica de acuerdo con lo planteado por Ramos y Finegan (2005), como un bosque sin información.

2.2 Descripción y diseño de los sitios de estudio

El área de estudio está comprendida en seis bosques que cuentan con un plan de manejo forestal aprobado ante el MINAE, parcelas permanentes de muestreo y con ciclo de corta concluido o que está por finalizar. Los bosques seleccionados fueron, La Tirimbina, Corinto, Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú.

En el bosque de Corinto la topografía varía desde plana a accidentada, con pendientes que oscilan entre los 0 y 40%, y una altitud entre los 235 y 345 msnm. El área del bosque es atravesada por el río Corinto y presenta algunas quebradas o riachuelos. Las especies dominantes son *Pentaclethra macroloba*, *Carapa guianensis* y *Tapirira guianensis* (Carrera *et al.*1996).

En el bosque de La Tirimbina la topografía es variada y presenta varios rangos de pendiente el 8% del área tienen una pendiente menor a un 15%, el 41% del área presenta pendientes entre 15 y 60% y el resto presenta pendientes muy fuertes mayores a 60% (Mata 1997). La altitud varía entre 180 y 220 msnm. En el área se presentan algunas quebradas. Las especies dominantes son la *Pentaclethra macroloba*, la palma *Welfia regia*, y *Ferdinandusa panamensis*.

La finca Kay Rica presenta una topografía con pendientes ondulada, un 57% del terreno tiene una pendiente entre 0 y 30% y un 24% posee pendientes entre un 30 y 45% no aptas para el manejo forestal. En el área se presentan algunas quebradas y laderas. Las especies dominantes de árboles

son *Protium* spp. *Inga* spp., en ambos casos, ya que son varias especies, *Tapirira guianensis* entre otras.

Los bosque de Paniagua I y Paniagua II son áreas montañosas con varios rangos de pendientes (OPSA 1991) plano ondulada (5-15%) accidentada (15-30%) y muy accidentada (30-45%). El área presenta quebradas y riachuelos temporales. Las especies dominantes son la *Pentaclethra maculosa*, y la palma *Welfia regia*, *Casearia arborea* y una especie desconocida.

3. METODOLOGÍA

3.1 Generalidades

Se aplicó la metodología establecida por la Guía de monitoreo ecológico, la cual integra argumentos de tipo ecológico, económico y estadístico al relacionarlas con el diseño de programas de monitoreo en bosques de alto valor para la conservación (BAVC). Esta guía propone dos enfoques de monitoreo: El primero que abarca indicadores de la estructura y la composición del rodal llamado filtro grueso por ser variables que están relacionadas indirectamente con la biodiversidad. El segundo enfoque es evaluar la respuesta de un grupo ó de especies individuales indicadoras de perturbación por lo cual es llamado filtro fino (Finegan *et al.* 2004).

3.2 Descripción del muestreo

El muestreo se realizó en cada uno de los seis bosques, durante los meses de Febrero a Mayo del 2006. No se realizó una estratificación como lo propone la guía, pues el área de cada uno de los bosque son pequeñas de 11 a 56 ha. Por lo tanto la variación dentro de cada uno de los bosques fue muy sutil y no resultaba práctica una estratificación a este nivel de detalle.

Tomando como base la guía, se seleccionaron cinco indicadores de filtro grueso relacionados con la estructura y composición del rodal (densidad, área basal, apertura del dosel en el sotobosque, estructura vertical del bosque y densidad de palmas). Los protocolos de medición fueron tomados de la guía.

En los bosques de Corinto y La Tirimbina se evaluaron todos los indicadores (área basal, número de árboles y densidad de palmas del rodal, apertura del dosel y estructura vertical). En el Bosque Corinto se utilizó las parcelas con los tratamientos de Aprovechamiento y Aprovechamiento más liberación y el grupo de las parcelas testigo fueron utilizadas como bosque de referencia. En el bosque La Tirimbina se utilizaron las parcelas con los tratamientos de Aprovechamiento y Aprovechamiento más Liberación y se utilizó los datos del bosque Selva Verde como bosque de referencia (mayor detalle en la sección 3.3).

Cada tratamiento contó con tres parcelas de 1 ha como repetición, donde se midieron todos los individuos ≥ 10 cm dap incluyendo palmas. Se midió cada árbol dentro de las parcelas con una cinta diamétrica a la altura del pecho, se anotó el nombre de la especie, número de árbol y número de la parcela o subparcela. Con esta información se obtuvo el número de individuos y área basal por hectárea total y por clase diamétrica y la composición y abundancia de palmas.

Los indicadores de apertura del dosel en el sotobosque y estructura vertical del bosque, fueron evaluados en los seis bosques. En el caso de los bosques de Corinto y La Tirimbina se muestreó las parcelas de una hectárea divididas en subparcelas de 20 m x 20 m. Se tomó el centro de cada subparcela donde se estableció parcelas temporales de 10 m x 10 m, quedando un tamaño de muestra de 225 parcelas para cada uno de los bosques. Es importante mencionar que estos dos bosques contaron con una mayor intensidad de muestreo por el diseño con el que cuentan de parcelas permanentes, por otra parte, la poca distancia entre puntos de muestro implica una falta de independencia de los datos, que puede conducir a una subestimación de la varianza (Finegan *et al.* 2004)

En los cuatro bosques restantes se trabajó con tamaños de muestra diferentes, dependiendo del área de cada bosque. En el bosque de Paniagua I y Paniagua II se tomaron como base los carriles que fueron utilizados en el inventario antes del aprovechamiento, los carriles fueron establecidos a intervalos de 70 m a lo largo de todo del bosque. En cada carril se establecieron parcelas temporales de 10 m x 10 m cada 30 m en todo el bosque de producción, dejándose por fuera las

áreas de protección y áreas no aprovechables (Cuadro 1). En los bosques de Manú y Kay Rica se establecieron transectos en toda el área productora.

En cada transecto fueron instaladas parcelas temporales de 10 m x 10 m. En cada una de estas parcelas temporales de 10 m x 10 m establecidas en cada uno de los bosques se realizaron cuatro mediciones con un densiómetro esférico (Forestry suppliers, Inc. USA) dirigidas hacia cada uno de los puntos cardinales, se tomó como valor de apertura del dosel el promedio de las cuatro mediciones. De igual manera se estimó el porcentaje de cobertura dividido en estratos 1) 0-2 m, 2-9 m, 10-20 m, 20-30 m, ≥ 30 m utilizando una escala de valores simples de 0, 1, 2 y 3 cuando el porcentaje de cobertura era de 00%, 1-33%, 34-66%, 67-100% respectivamente (Thiollay 1992). De estas mediciones se obtuvo el promedio para cada uno de los estratos por bosque y el promedio de la cobertura del follaje en cada estrato.

Cuadro 1. Datos de las áreas de cuatro bosques con fines comerciales y número de parcelas temporales establecidas en 4 bosques del Norte de Costa Rica

Bosque	Área de Producción (ha)	Parcelas temporales	Carriles Transectos
Paniagua I	35	63	9 carriles cada 70 m distancia entre parcelas 30 m
Paniagua II	23	53	11 carriles cada 70 m distancia entre parcelas 30 m
Manú	56	80	12 transectos cada 50 m distancia entre parcelas 75 m
Kay Rica	11	55	4 transectos cada 75 distancia entre parcelas 40 m

3.3 bosques de referencia

Las áreas de referencia son bosques cercanos a los bosques aprovechados y que no han sufrido aprovechamiento, y han sido escogidas bajo dos supuestos: que no reciben una influencia directa o indirecta del manejo y que aparte de los cambios que resultan del manejo, los sitios de referencia y los manejados están sujetos a cambios ecológicos y físicos parecidos.

En este caso para el Bosque de Corinto se utilizó las parcelas testigo como área de referencia, y para el resto de los sitios se utilizó los datos de las parcelas de Selva Verde el cual es un bosque primario (llamado de aquí en adelante bosque de referencia) que presentó características similares a los bosques evaluados (Forero 2001).

3.4 Establecimiento de Umbrales

Como primer paso para la determinación de umbrales: un umbral se define como la cantidad de variación observada en los valores de los indicadores de interés en las áreas manejadas antes de la intervención o en su defecto áreas de referencia (bosques parecidos a los manejados de estudio, pero sin intervención), empleando la desviación estándar como medida de variación (Finegan *et al.* 2004). En el caso de este estudio se utilizó áreas de referencia con su respectiva desviación estándar.

Se calcularon tres umbrales de cambio bajo, moderado y alto y estos fueron establecidos con base en los datos obtenidos en campo de las áreas de referencia. Un umbral de cambio bajo, es el valor de una desviación estándar del valor promedio del indicador en los sitios de referencia, el valor de dos desviaciones estándar es un umbral de cambio moderado y el valor de tres desviaciones estándar es un umbral de cambio alto (Finegan *et al.* 2004).

$$T=x + y(s)$$

Donde T es el valor de umbral, x es el estimado del valor del indicador (o el promedio de los valores estimados en varios sitios) en el bosque de referencia, y es la constante del umbral de cambio, y s es la desviación estándar calculada a partir de los datos de referencia. La constante del umbral de cambio, y es igual a 1 para umbrales de cambio bajo, 2 para umbrales de cambio moderado y 3 para umbrales de cambio alto.

Al valor promedio del indicador en el área de referencia se le sumó o restó (\pm), el producto de la constante de umbral de cambio por la desviación estándar. Esto porque los impactos producidos por las operaciones de manejo pueden provocar variaciones en los valores de los indicadores en el sentido de aumentar o disminuir, por ejemplo el número de árboles se espera que disminuya inmediatamente por el aprovechamiento y en caso contrario la apertura del dosel se espera que aumente por la formación de claros lo que permite mayor entrada de luz, lo cual induce a la instalación de varias especies heliófitas (Ordóñez *et al.* 2005-2006). Entonces los umbrales de cambio se establecerán hacia arriba en el caso de apertura del dosel (se suma y (s)) y hacia abajo para el caso del número de individuos (se resta y (s)).

3.3 Selección de un activador

La guía define límites o umbrales, entre los cambios aceptables e inaceptables para cada uno de los indicadores a evaluar, de manera que si los cambios van más allá de esos límites es una señal de alerta para el manejador sobre la necesidad de una respuesta de manejo un cierto grado de cambio establecidos anteriormente como no aceptable activara una respuesta de manejo; es por eso que a esos límites se les llama activadores (Ordóñez *et al.* 2005-2006).

La selección de un umbral, usado como activador, se realiza en base a elementos interrelacionados entre sí, como son los objetivos de conservación, necesidad de precaución, sensibilidad para la conservación, sensibilidad de medición y la variación natural (Finegan *et al.* 2004)

En el presente trabajo debido a que los bosques de estudio son considerados de alto valor para la conservación, se estableció como límite entre los cambios aceptables e inaceptables el umbral de cambio bajo como activador. De tal manera que si los cambios van más allá de ese límite, es una señal de alerta sobre la necesidad de una respuesta de manejo.

Para la comparación de las áreas manejadas con el área de referencia, se utilizó el valor promedio estimado para cada indicador en las áreas manejadas, más el intervalo de confianza al 95%. De esta manera si la barra del error al nivel de confianza seleccionado (95%) traslapa el valor del activador, entonces podría argumentarse que existe una probabilidad razonable de que las actividades de manejo impacten el recurso de manera inaceptable y por lo cual se deban tomar medidas oportunas para la corrección de las actividades del manejo. (Finegan *et al.* 2004).

En el caso que la barra del error traslape el valor de referencia y uno o dos umbrales se argumenta que no existe una probabilidad razonable de que las actividades del manejo estén impactando puesto que la media podría estar ubicada en cualquier punto de la barras del error. Al igual, entonces, que podrían estarse extendiendo los umbrales de cambio, la media podría ser similar al valor de referencia.

4. RESULTADOS

4.1 Densidad y área basal

Los umbrales de cambio para los indicadores del número de árboles y el área basal están dados hacia abajo del valor de referencia, puesto que al ser aprovechados los sitios la expectativa es que sean reducidos en densidad y área basal. El bosque de Corinto en el tratamiento de Aprovechamiento (Fig. 2 a), se observó que para los años 1992 y 2000, los intervalos de confianza (IC) de las medias de la densidad de árboles en las parcelas intervenidas llegaron a sobrepasar el umbral de cambio bajo, no obstante, este intervalo traslapó también con el valor de referencia, de manera que no se debe concluir que una reducción inaceptable ha ocurrido. En el año 2006 los intervalos de confianza en ambos tratamientos por encima del umbral de cambio bajo por lo tanto no se requieren acciones de manejo por que no se observa un impacto inaceptable.

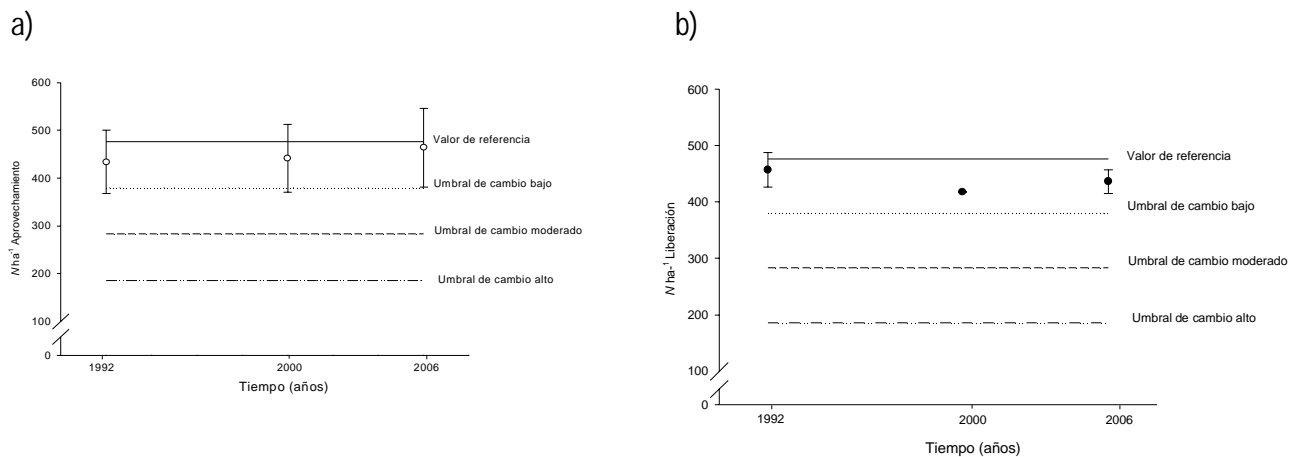


Figura 2. Cambios en valores de número de árboles en un bosque aprovechado (Corinto) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Ver texto para explicación de valor de referencia y umbrales.

En cuanto al área basal (Fig. 3 a) en el año 1992, el promedio y el IC al 95% de las parcelas con aprovechamiento la variabilidad son muy altas sobrepasando todos los umbrales. En el año 2000 ambos tratamientos estaban en el umbral de cambio alto, sin embargo en el año 2006, no se aprecia claramente una recuperación en área basal porque la variabilidad nuevamente es muy alta que sobrepasa todos los umbrales.

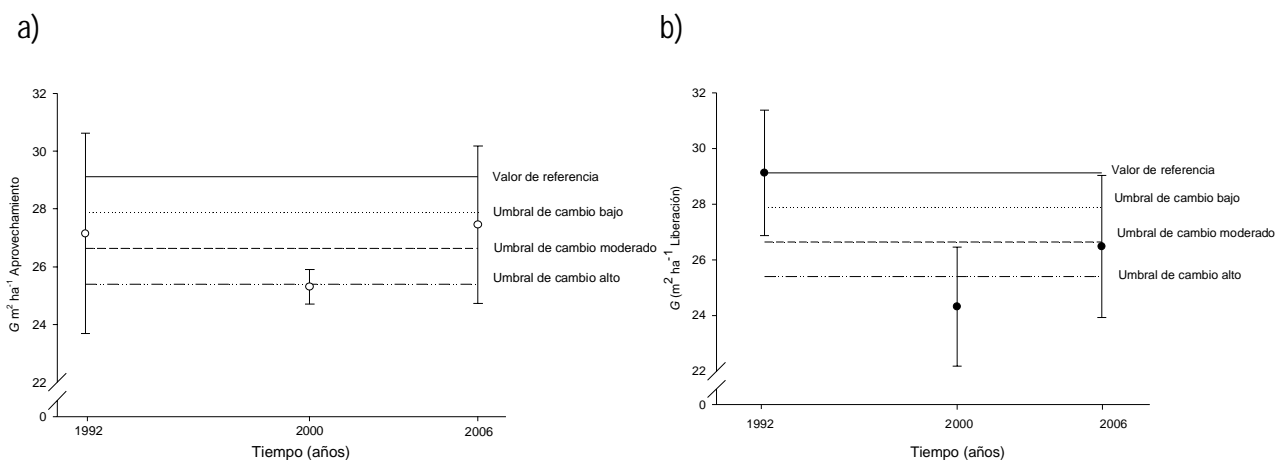


Figura 3. Cambios en valores de área basal en un bosque aprovechado (Corinto) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En el bosque La Tirimbina (Fig. 4) la densidad de árboles en ambos tratamientos no mostró impactos inaceptables después de aplicados los tratamientos (1993), por lo cual esta variable no requirió acciones de manejo.

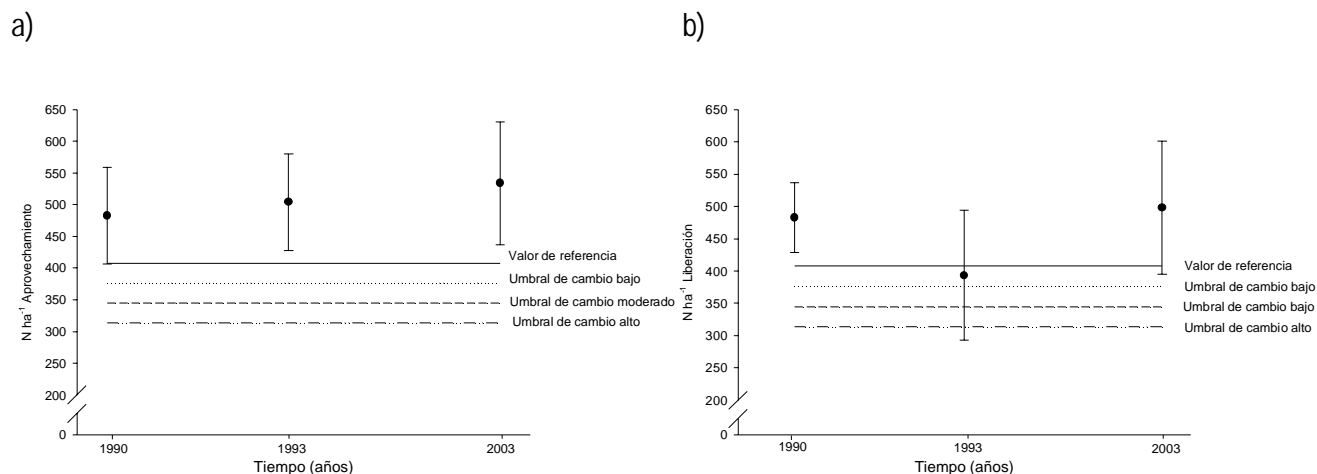


Figura 4. Cambios en valores de número de árboles en un bosque aprovechado (Tirimbina) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En cuanto al área basal (Fig. 5), el tratamiento de Aprovechamiento no mostró un cambio inaceptable después aplicado. En el tratamiento de Liberación se produce un cambio inaceptable poco después de aplicado el tratamiento pero siete años después el impacto vuelve a ser aceptable

(se recupera). Nótese en este caso, debido a la alta variabilidad del área basal en el sitio de referencia, no se pudo contemplar el umbral de cambio alto.

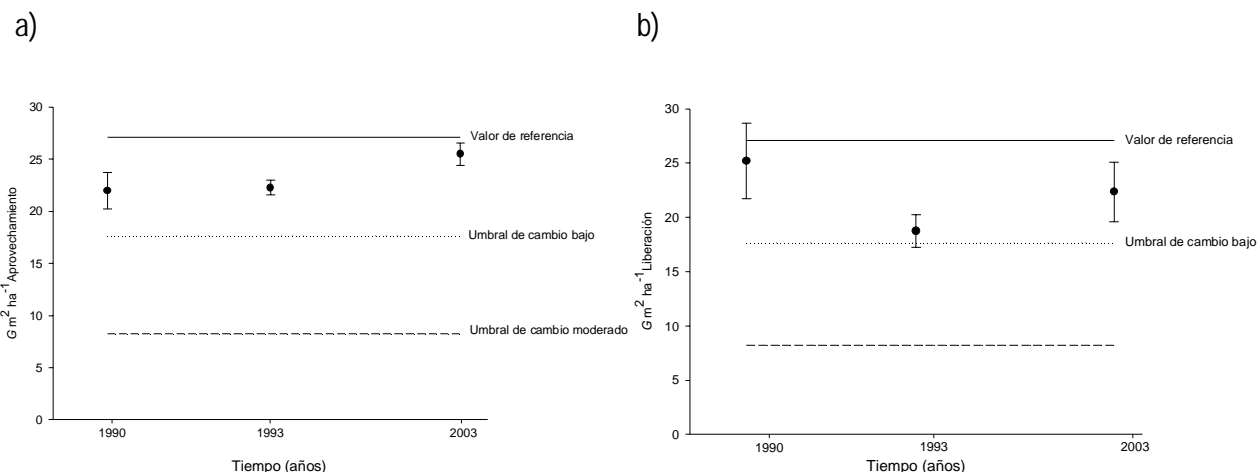


Figura 5. Cambios en valores de área basal en un bosque aprovechado (Tirimina) en el Norte de Costa Rica en relación a umbrales de de cambio. a) Aprovechamiento b) Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

4.2 Apertura del dosel

En el caso de la apertura del dosel, los valores de los umbrales estuvieron dados por arriba del valor de referencia, pues se esperaba aumentos en esta variable después de las intervenciones. En el bosque de Corinto (Fig. 6 a) en 2006, a 13 años de aprovechado el bosque, la apertura del dosel en los tratamientos de Aprovechamiento y Liberación estuvo por debajo incluso del valor de referencia, lo cual indicó que no se produjo una apertura del dosel inaceptable.

En el sitio de Tirimbina (Fig. 6 b) a 12-13 años de intervenido el bosque, el tratamiento de Liberación se ubicó por encima del umbral de cambio bajo, y el tratamiento de aprovechamiento sobrepasó el de cambio moderado, por lo tanto, si este fuera el único criterio tomado en cuenta, se requerirían acciones de manejo por el aumento de la apertura del dosel en el bosque. Sin embargo en el tratamiento de aprovechamiento por la amplitud del IC se puede decir que estos cambios se deben a la alta variabilidad de las parcelas y no necesariamente por las acciones del manejo forestal.

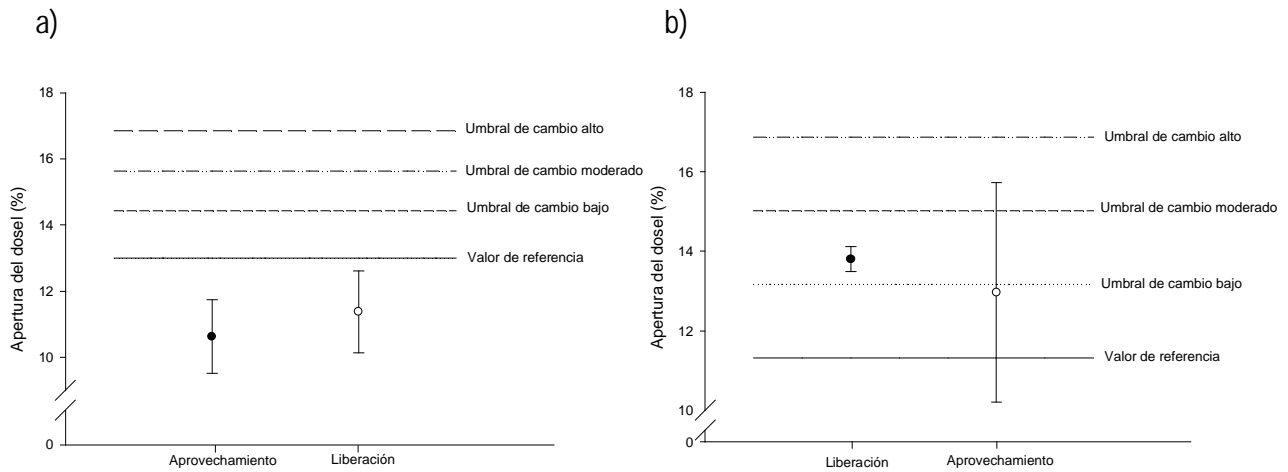


Figura 6. Cambios en valores de Umbrales apertura del dosel en bosques aprovechados en el Norte de Costa Rica, en relación a umbrales de cambio. a) Corinto y b) Tirimbina. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

No se observaron diferencias de apertura del dosel con respecto a los valores de referencia en ninguno de los otros cuatro bosques (Fig. 7).

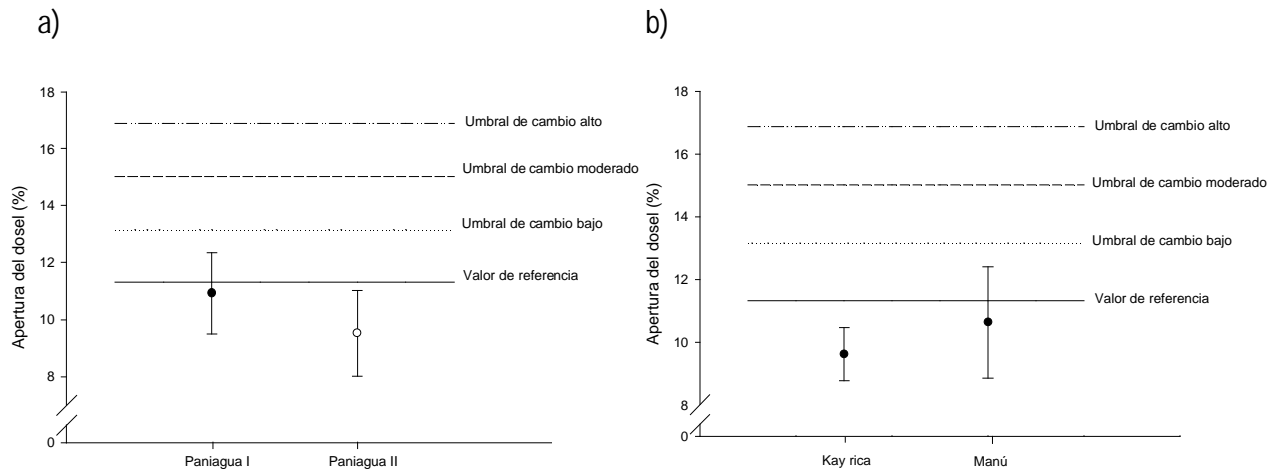


Figura 7. Cambios en valores de apertura del dosel bosques aprovechados en el Norte de Costa Rica, en relación a umbrales de cambio. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

4.3 Estructura vertical del bosque

Los umbrales de cambio para la cobertura del follaje en los estratos de 0 a 2 m, 2 a 9 m, y 10 a 20 m se determinaron hacia arriba del valor de referencia, pues la apertura del dosel permite la entrada de luz provocando la estimulación para el establecimiento de varias especies dando así un sotobosque más denso (Harms y Paine 2003, Guariguata y Pinard 1998). Por otra parte el estrato mayor de 20 m los umbrales se establecieron hacia abajo del valor de referencia, porque la extracción de árboles

generalmente está orientada a la eliminación de árboles de este estrato (Toledo *et al.* 2001, Whitman *et al.* 1997).

En el bosque de Corinto en el estrato de 0 a 2 m (Fig. 8 a) el tratamiento de Aprovechamiento fue inferior al activador, así que no requieren de acciones de manejo; el tratamiento de Liberación alcanzó el umbral de cambio moderado, por lo tanto existe un impacto inaceptable para esta variable, sin embargo a pesar de esta modificación se espera una recuperación según las recomendaciones de la guía, pues es un impacto temporal y el tiempo de recuperación para este indicador podría tomar entre 5 a 10 años (Finegan *et al.* 2004).

En el estrato de 2 a 9 m, se observó una alta variabilidad en los bosques analizados y poca variabilidad en el área de referencia, lo cual da un margen pequeño que no permite cambios en este variable. En el estrato de 10 a 20 m el tratamiento Aprovechamiento, los intervalos de confianza fueron muy grandes, y sobrepasaron tanto los umbrales de cambio alto como el valor de referencia, por lo que no se pudo sacar conclusiones sobre el manejo. En el tratamiento de Liberación no sobrepasó el valor del activador.

El valor de cobertura del follaje en el estrato de 20 a 30 el tratamiento de Aprovechamiento se mantuvo dentro de los límites aceptables, sin embargo en el tratamiento de Liberación está por abajo del valor de umbral de cambio bajo. En el estrato mayor de 30 m (Fig. 8 e), en ambos tratamientos fue inferior al umbral de cambio bajo. Por lo tanto, nuevamente si los criterios de apertura del dosel fueran los únicos aplicados a la toma de decisiones, se requieren tomar medidas pues se está causando un impacto negativo en el ecosistema.

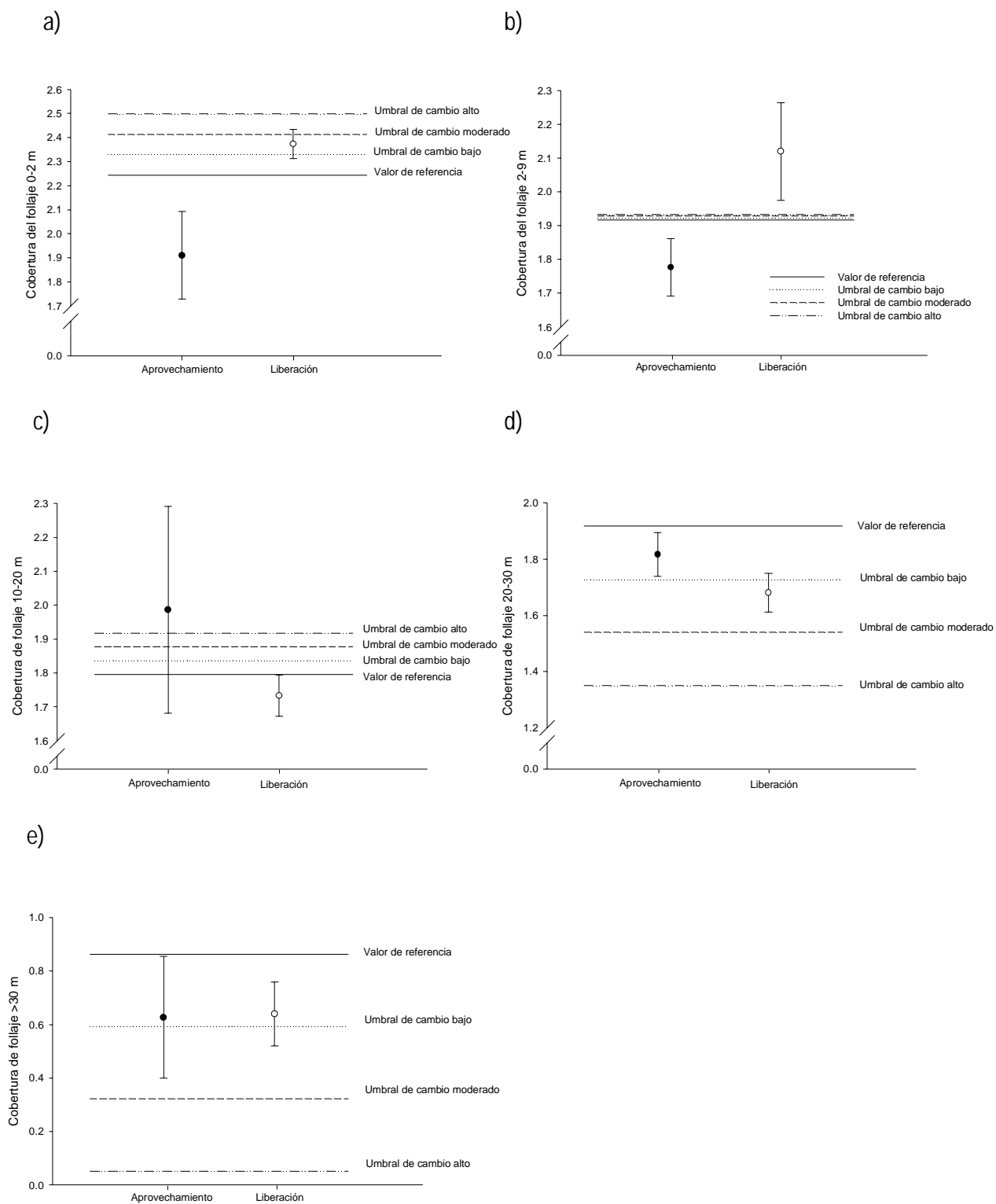


Figura 8. Cambios en valores de apertura del dosel del bosque Corinto Costa Rica para cinco estratos a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m d) 20-30 m y e) ≥ 30 m. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En el bosque de La Tirimbina (Fig. 9) en los estratos de 0-2 m, 2-9 m y 10-20 m en ambos tratamientos no presentaron cambios pues los valores de cobertura del follaje estuvieron por abajo del valor del umbral de cambio bajo, aunque en el estrato de 10-20 m se presentó una alta variabilidad por lo cual no fue posible aplicar los datos para detectar un cambio derivado de las acciones del manejo forestal. En el estrato de 20 m a 30 m en el tratamiento de aprovechamiento las barras de error están por abajo del umbral de cambio bajo sin embargo también sobrepasan el valor de referencia, por lo tanto, nuevamente no se puede usar este indicador por la alta variabilidad del bosque. En el tratamiento de Liberación las barras están por abajo del umbral de cambio bajo, por lo tanto indica que existieron modificaciones en la estructura vertical del bosque debidas al manejo de este. En el estrato mayor de 30 no se sobrepasó el umbral de cambio bajo, por lo tanto en esta variable descartando los estratos con alta variabilidad, en el resto no se observó un impacto que requiriera tomar medidas de manejo en el bosque.

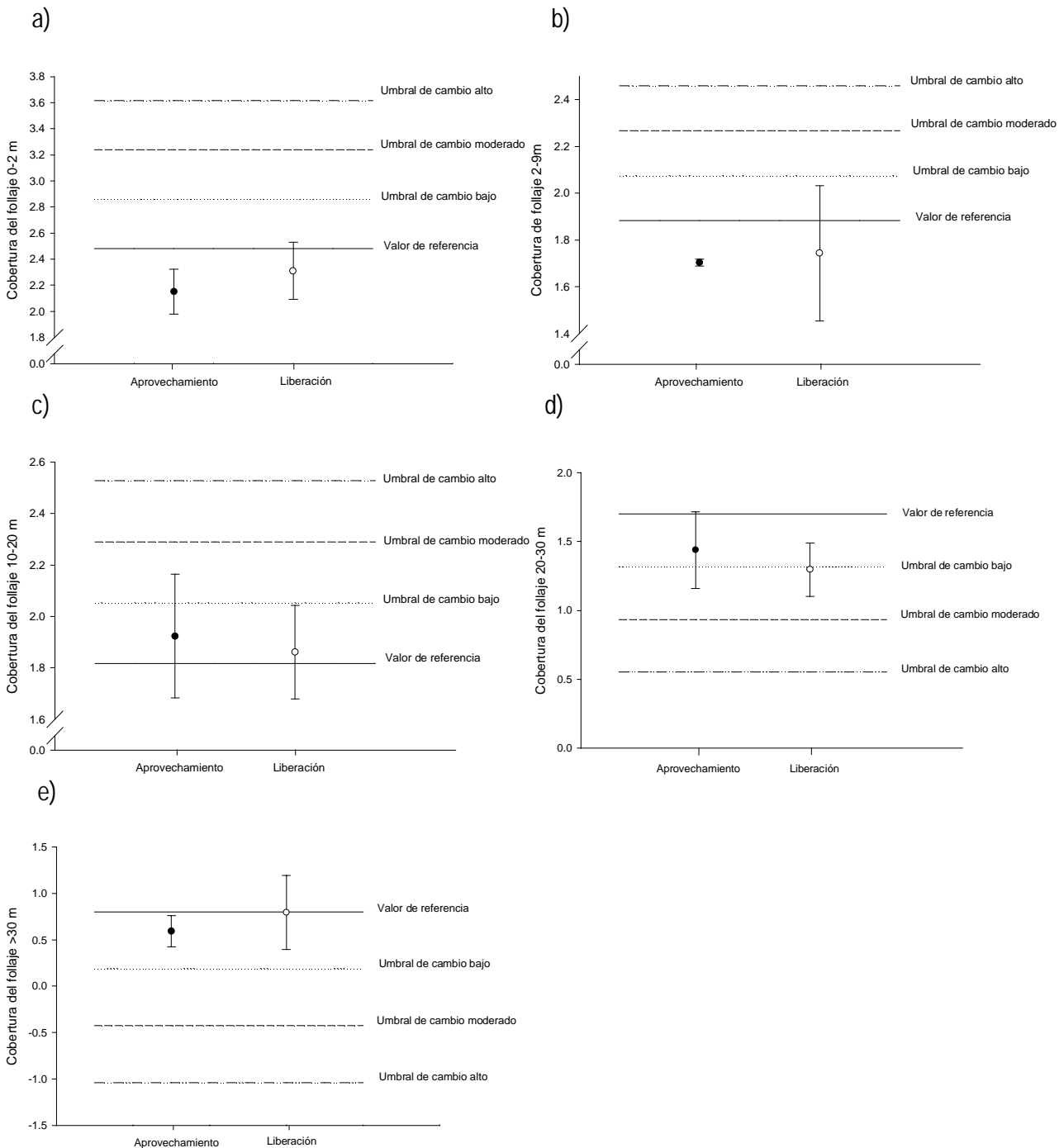


Figura 9. Cambios en los valores de cobertura del follaje del bosque La Tirimbina, Costa Rica para los cinco estratos a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m d) 20-30 m y e) ≥ 30 m. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En los bosques de Paniagua I, Paniagua II, Manú y Kay Rica (Fig. 10), en el estrato de 0 a 2 m el intervalo de confianza no sobrepasó el umbral de cambio bajo. En el estrato de 2-9 m los bosques de Paniagua I y Paniagua II y Manú no alcanzaron el umbral de cambio bajo, aunque en el bosque Manú si alcanzó este pues los intervalos de confianza fueron muy amplios que alcanzaron también

el valor de referencia, por lo tanto no se le atribuyeron cambios al manejo del bosque por la alta variabilidad en este estrato. En el Bosque de Kay Rica se sobrepasó el umbral de cambio moderado. En el estrato de 10 a 20 m los bosques de Kay Rica y Manú sobrepasaron el umbral de cambio bajo. En el bosque de Paniagua I mostró una alta variabilidad en este estrato, de manera que no se pudo concluir sobre un aumento inaceptable de cobertura del follaje en este estrato. En Paniagua II el los intervalos de confianza no alcanzaron el umbral de cambio bajo.

El estrato de 20 a 30 m se tuvieron impactos inaceptables en los bosque de Kay Rica y Paniagua I, en el bosque de Manú no se observaron cambios y en el bosque de Paniagua II, los intervalos de confianza fueron muy amplios, por lo cual no se pudo inferir sobre un aumentó de cobertura para este estrato. El estrato mayor de 30 m los bosques de Kay Rica, Manú y Paniagua II no alcanzaron el umbral de cambio bajo, sin embargo el bosque de Paniagua I sobrepasó este umbral.

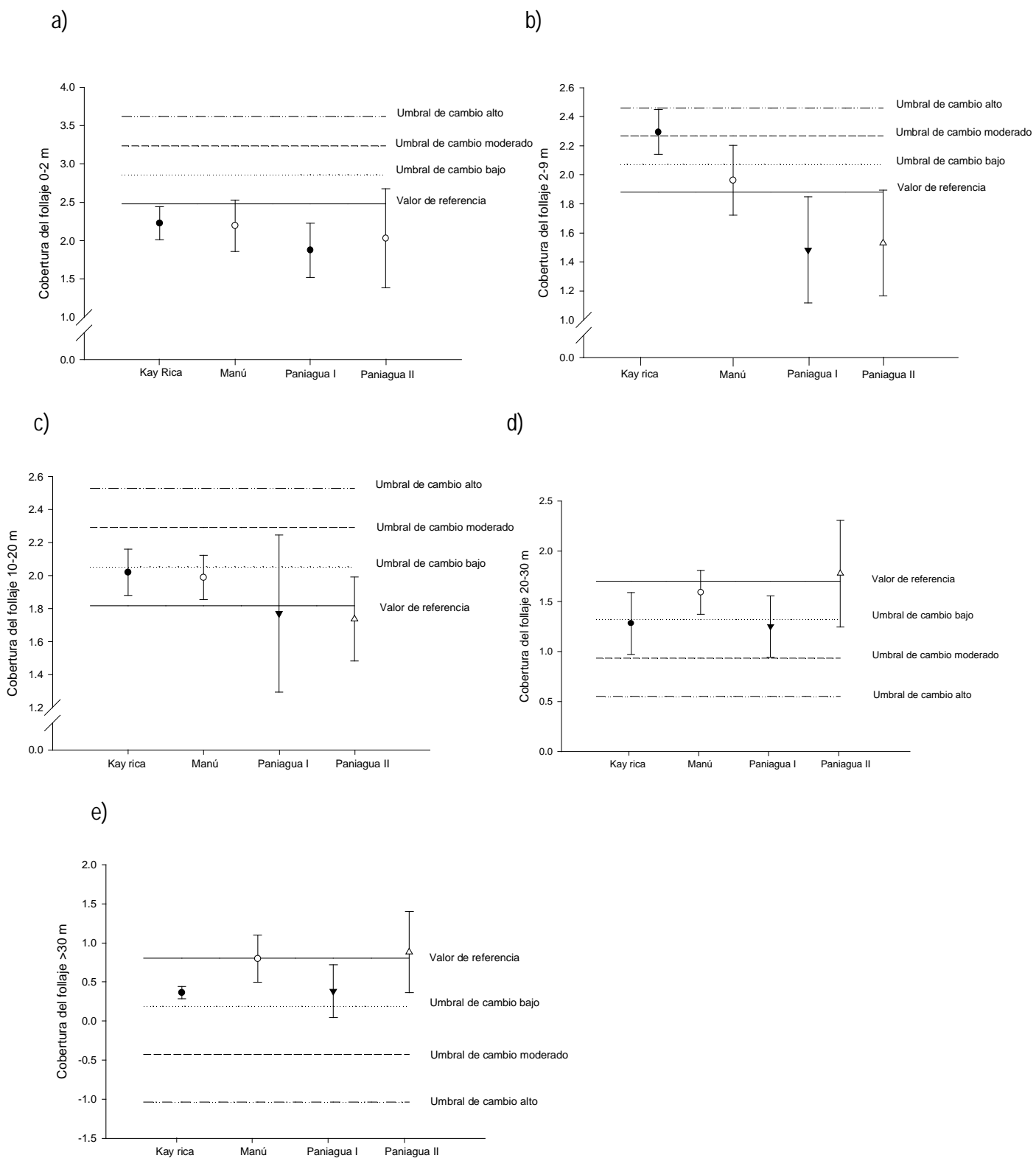


Figura 10. Cambios en valores de cobertura del follaje en bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. En cinco estratos a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m d) 20-30 m y e) ≥ 30 m. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

4.4. Palmas

Los umbrales de cambio para la variable densidad de palmas se determinaron hacia abajo del valor de referencia, pues el aprovechamiento podría haber provocado una disminución de algunas de las poblaciones de palmas. En ambos bosques (Fig. 11 y 12) y en ambos tratamientos, los intervalos de confianza estuvieron por encima del valor definido como activador, por lo cual no se requieren modificaciones en las actividades del manejo forestal para recuperar la comunidad de palmas arborescentes.

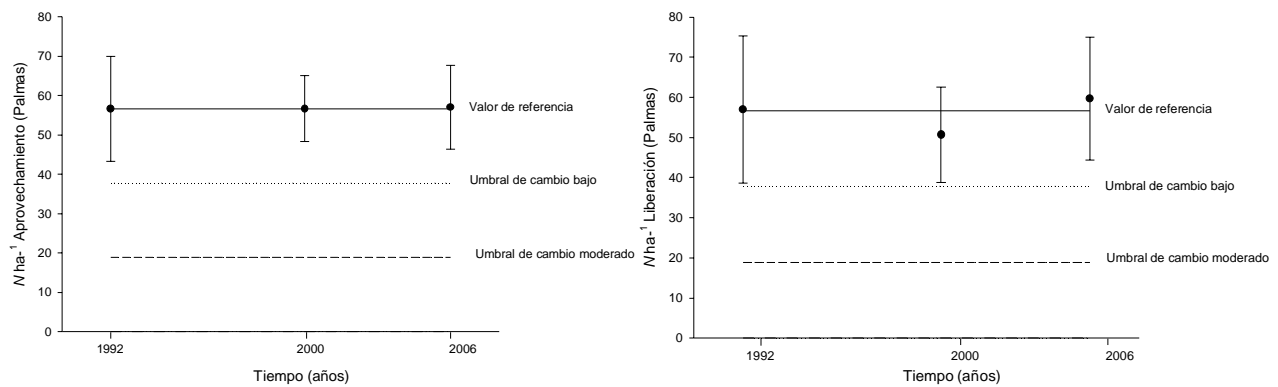


Figura 11. Cambios en valores de número de individuos de palmas en el bosque Corinto, Costa Rica. a) Tratamiento Aprovechamiento b) Tratamiento de Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

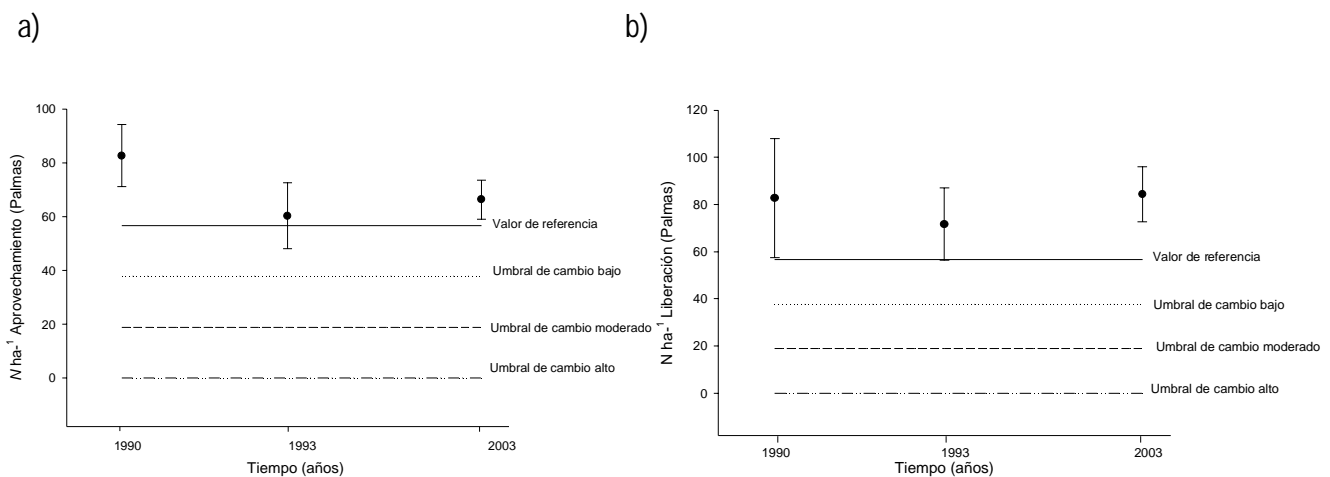


Figura 12. Cambios en valores de número de individuos de palmas en el bosque La Tirimbina, Costa Rica. a) Tratamiento Aprovechamiento b) Tratamiento de Liberación. Las barras verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

5. DISCUSIÓN

5.1. Impactos en densidad y área basal

Las variables de respuesta número de individuos y área basal son medidas de organización horizontal de la vegetación (Louman *et al.* 2001). Estos dos indicadores son reducidos directamente por efecto del aprovechamiento forestal, sin embargo, en los dos bosques evaluados (Corinto y La Tirimbina) la variable densidad de árboles, no mostró impactos inaceptables por efecto del la intervención silvicultural a 13 y 12 años de intervenidas respectivamente.

El área basal total en el bosque de Corinto presentó una alta variabilidad antes del aprovechamiento, reduciéndose considerablemente esta variación inmediatamente después del aprovechamiento, sin embargo, seis años después esta variabilidad vuelve a ser muy alta, no pudiendo definir claramente la recuperación del bosque. Esto se debe a que antes de ser aprovechado cada una las tres parcelas por tratamiento presentaban un área basal distinta (ej. 24.3, 31, 26 ha⁻¹) al ser intervenidas el aprovechamiento se concentró en las parcelas con mayor área basal de tal modo que las tres parcelas homogenizaron su valor de área basal, reduciendo así la variabilidad. Por lo tanto las parcelas que fueron intervenidas recuperaron su área basal extraída y volvió a incrementarse la variabilidad del bosque.

En el bosque de La Tirimbina el área basal se tuvo un impacto inaceptable al aplicarse el tratamiento de Liberación sin embargo, diez años después se recupero el área basal extraída no mostrando impactos inaceptables al último año de medición (2003). Por lo tanto en ambos bosques y en ambas variables no se observaron impactos inaceptables a diez y trece años de mediciones.

Cuadro 2. Resumen de cambios en las variables número de árboles, área basal, palmas, en el bosque de Corinto y La Tirimbina, Costa Rica. Cuadros rellenos con negro, indican un cambio inaceptable, cuadros rellenos con trama hubo un cambio que se recuperó y cuadros sin relleno, indican ausencia de cambios.

Bosque	N ha ⁻¹			G m ² ha ⁻¹			Palmas		
	1992	2000	2006	1992	2000	2006	1992	2000	2006
Periodo									
Corinto Aprovechamiento									
Corinto Liberación									
Periodo	1990	1993	2003	1990	1993	2003	1990	1993	2003
Tirimbina Aprovechamiento									
Tirimbina Liberación									

5.2. Impactos en apertura del dosel y estructura vertical

El aprovechamiento de madera implementado, afectó de manera inaceptable la apertura del dosel en uno de los seis bosques, esto debido a la extracción de madera combinado con el tratamiento silvicultural (Cuadro 3). Una apertura excesiva del dosel debido a operaciones de manejo puede incrementar la susceptibilidad al fuego en climas estacionales (Holdsworth y Uhl 1997), pero a su vez permite la entrada de luz provocando la estimulación para el establecimiento de varias especies dando así un sotobosque más denso (Harms y Paine 2003, Guariguata y Pinard 1998). Mientras que los cambios en los estratos mayor de 20 m son porque la extracción de árboles generalmente está orientada a la eliminación de árboles de este estrato (Toledo *et al.* 2001, Whitman *et al.* 1997), sin embargo este cambio fue considerado como un cambio temporal según la guía y se espera que en un lapso de 5 a 10 años no se presenten estas perturbaciones (Finegan *et al.* 2004).

El indicador estructura vertical mostró cambios después de las intervenciones en cinco de los seis bosques. Esta variable es de gran importancia pues según varios estudios que se han realizado sobre comunidades de aves en bosques tropicales existe evidencia de que la diversidad estructural de la vegetación tiene gran importancia sobre la influencia en la diversidad de aves (Levey 1988, Mason 1996, Thiollay 1992, Johns 1996, Lambert 1992). No obstante según la guía es un cambio temporal que le llevará un tiempo de recuperación medio que va de los 10 a 20 años, por lo cual se deberá poner mayor énfasis en una segunda evaluación para esta variable. Además, que haya cambios en el dosel superior debe considerarse una consecuencia lógica de la extracción de madera y no tomarse como criterio único para evaluar los impactos.

Cuadro 3. Cambios en las variables apertura del dosel y cobertura del dosel en cuatro bosques del Norte de Costa Rica cuadros rellenos con negro, hubo un cambio inaceptable, cuadros sin relleno, no hubo cambios.

Bosque	Apertura Del dosel	Estructura vertical (m)				
		0-2	2-9	10-20	20-30	≥30
Corinto Aprovechamiento						
Corinto Liberación						
Tirimbina Aprovechamiento						
Tirimbina Liberación						
Paniagua I						
Paniagua II						
Manú						
Kay Rica						

5.3. Impactos en densidad de palmas

En el grupo de las palmas con un valor de importancia ecológico como parte estructural y florística, además de ser un grupo alimenticio de muchas especies fauna. Este grupo no mostró cambios inaceptables a lo largo del periodo de mediciones en ambos bosques. Las especies mas representadas en el bosque Corinto fueron *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza*. En el bosque de la Tirimbina fueron las especies *Welfia regia*, *Iriartea deltoidea*, *Socratea exorrhiza* y *Euterpe precatoria*. Estas palmas son especies del bosque tropical que pueden crecer asociadas entre si. La *Iriartea deltoidea* es una especie solitaria, en algunos casos se le encuentra en grupos y se encuentra en lugares bien drenados y fértiles (Meléndez 2000).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ◇ Los indicadores de área basal, número de árboles, cobertura del follaje y estructura vertical, para cada uno de los bosques mostraron cambios después de aplicados los tratamientos silviculturales, pero el aprovechamiento por si solo no es un factor generados de cambios marcados, a excepción del caso de la estructura del dosel.
- ◇ El número de árboles total en los bosques de Corinto y La Tirimbina no presentaron cambios inaceptables según el enfoque de la guía. El área basal en el bosque de Corinto presentó una variabilidad muy alta después de aplicados los tratamientos por lo tanto no se pudo determinar impactos derivados del aprovechamiento forestal. En el bosque La Tirimbina se presentó una disminución de su área basal, en el tratamiento de Liberación después del aprovechamiento forestal, sin embargo en el último año de medición (2003) mostró una recuperación dentro del plazo de tiempo establecido por la guía de monitoreo, por lo tanto no se requirió tomar medidas. El número de palmas en los bosques de Corinto y La Tirimbina no mostró cambios, por lo que se puede decir que el manejo forestal no tuvo impacto en esta variable.
- ◇ La apertura del dosel fue modificada solo en uno de los seis bosques evaluados, en el bosque La Tirimbina en el tratamiento de Liberación. La estructura vertical fue el indicador que más se vio afectado, cuatro de los seis bosques presentaron alguna alteración en al menos uno de los estratos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Atlas de Costa Rica. 2000. Mapas digitales. ArcExplorer. Laboratorio de Sistemas de información Geográfica, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica – ITCR. San José, Costa Rica.
- Carrera, F.; Orozco, L.; Sabogal, C. 1996. Manejo de un bosque muy húmedo de bajura. Área de demostración e investigación” Los Laureles de Corinto”. Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. Curso Intensivo internacional. Vol. 2
- Chassot, O.; Monge, G. 2005. Corredor Biológico San Juan La Selva (en línea). Consultado el 10 marzo del 2005. Disponible en: http://www.lapaverde.or.cr/index_esp.htm.
- CNCF (Comisión Nacional de Certificación Forestal). 1999. Estándares y procedimientos para el manejo sostenible y la certificación forestal en Costa Rica. Publicación. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Humano Sostenible y la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE. 54 p.
- Finegan, B.; Hayes, J.; Delgado, D.; Gretzinger, S. 2004. Monitoreo ecológico del manejo forestal en el trópico húmedo: Una guía para operadores forestales y certificadores con énfasis en bosques de alto valor para la conservación. WWF Centroamérica, 116 p.
- Forero, L. 2001. Caracterización de la vegetación y efectos de borde en la comunidad de árboles y lianas de remanentes de bosque muy húmedo tropical Región Huetar Norte, Costa Rica. Tesis Mg. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 89 p.
- FSC 2000. Principios y Criterios para el Manejo Forestal. Documento FSC STD-01-2006. En línea. Consultado nov. 2006. Disponible en: http://www.fsc.org/esp/que_es_fsc/centro_documentos.

- Guariguata, M.; Pinard, M. 1998. Ecological knowledge of regeneration from seed neotropical forest trees: implications for natural forest management. *Forest Ecology and Management*. 12:87-99.
- Harms, K.; Paine, C. 2003. Regeneración de árboles tropicales e implicaciones para el manejo de bosques naturales. *Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. No 3-2003.
- Holdridge, L. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA. San José, Costa Rica. 219 p.
- Holdsworth, A.; Uhl, C. 1997. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications (EE.UU.)* 7:713-725
- Johns, A. 1996. Bird population persistence in Sabahan logging concessions. *Biological Conservation* 75: 3-10.
- Lambert, F. 1992. The consequences of selective logging for Bornean lowland forest birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*. 335: 443-457.
- Levey, D. 1988. Tropical wet forest treefall gaps and distributions of understory birds and plants. *Ecology* 69: 1076-1089.
- Louman, B.; Quirós, D.; Nilsson, M. 2001. *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos de con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico no. 46*. CATIE, Turrialba CR
- Mason, D. 1996. Responses of Venezuelan understory birds to selective logging, enrichment strips, and vine cutting. *Biotrópica* 28: 296-309.
- Mata, R. 1997. *Estudio detallado de suelos: Área de Demostración e Investigación La Tirimbina, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). 52 p.

- McIntyre, S., Hobbs, R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models, in *Conservation Biology* vol.13 (no.6): 1282
- Meléndez, A. 2000. Experiencias de Manejo sostenible de bosques en la provincia de Tambopata, Madre de Dios. Serie Técnica 2. Conservación Internacional Perú. Embajada Real de los Países Bajos. Lima, Perú.
- OPSA. (Oficina de Planeación Sectorial). 1991. Plan de Desarrollo Forestal. San José, Costa Rica.
- Ordóñez, S.; Delgado, D.; Finegan, B. 2005-2006. Monitoreo ecológico en bosques húmedos tropicales certificados en la RAAN, Nicaragua. Evaluación del impacto ecológico del manejo forestal. *Recursos naturales y Ambiente*. No. 46-47:66-78 p, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Ramos, Z. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 114 p.
- Ramos, Z.; Finegan, B. 2005. Una red ecológica para la conservación de la biodiversidad. *Recursos, Ciencia y decisión*. No. 4
- Thiollay, J. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guianan rain forest. *Conservation Biology* 6:47-63.
- Toledo, M; Fredericksen, T; Licona, J; Mostacedo, B. 2001. Impactos del Aprovechamiento Forestal en la Flora de un Bosque Semideciduo Pluviestacional de Bolivia. Doc. Técnico. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
- Whitman, A.; Brokaw, V.; M, J. Hagan. 1997. Forest damage caused by selection logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. *Forest Ecology and Management* 92: 87-96.

Artículo III. Evaluación e integración de los bosques estudiados desde el punto de vista estadístico y ecológico para la determinación de ser sometido a una nueva cosecha

1. INTRODUCCIÓN

El bosque húmedo tropical es uno de los ecosistemas más complejos de la tierra (Whitmore 1984; Wadsworth 2000), por su enorme diversidad y formas de vida presentes. Los bosques tropicales por la composición de especies varían sensiblemente de un sitio a otro, en distancias cortas. Esto es debido entre otras cosas a que el bosque se encuentra en estado de “equilibrio dinámico” (Whitmore, 1984). Estos procesos dinámicos permiten la regeneración y las oportunidades de cambio en el bosque, ya que crean condiciones ecológicas que permiten el establecimiento de especies de árboles con diferentes necesidades de recursos.

La zona norte de Costa Rica, es considerada una de las áreas de bosque húmedo tropical primario más importante del país en términos de cobertura vegetal y una de las mayores zonas productoras de madera (CCT 2000) a pesar de esto, el territorio no se ha visto exento de cambios en su cobertura vegetal puesto que actualmente se clasifica como un paisaje fragmentado de acuerdo McIntyre y Hobbs (1999) pues aún conserva el 56% de su cobertura natural.

A pesar de ser un paisaje fragmentado en esta zona, se realizan aprovechamientos forestales en áreas pequeñas de bosques (25 – 50 ha). El aprovechamiento forestal está sustentado en bases ecológicas y legislativas que pretenden reducir impactos mediante el establecimiento de mecanismos para el manejo y fomento de los bosques con la finalidad de conservar, desarrollar y mejorar la cobertura forestal del país (ONF, 2004).

El aprovechamiento forestal que se aplica en estos bosques es basado en cortas selectivas en una serie continua de ciclos de corta con varios ciclos por rotación - un sistema silvicultural policíclico (Quirós y Finegan 1994). En estos bosques manejados se pretende mantener la composición florística y la estructura; sin embargo los cambios van a estar dados por la intensidad de cosecha aplicada y el número de cosechas que se han realizado (Louman *et al.* 2001) De ahí la importancia

de que en cada ciclo de corta estos bosques sean evaluados dentro de un marco de sostenibilidad ecológica y productiva para determinar si pueden ser sometidos a una siguiente intervención.

Los objetivos del presente trabajo fueron integrar y evaluar la información generada en campo para determinar si los bosques de estudio, desde el punto de vista ecológico, pueden ser sometidos a una siguiente intervención maderera. Partiendo de ponderaciones generadas en un taller con expertos, se desarrolló un Índice de Integridad Ecológica que proporciona una medida integral de impacto del manejo en el bosque y puede ser aplicado a la toma de decisiones sobre la ejecución de cosechas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Generalidades

El proceso para la selección de bosques preparados para una siguiente cosecha, se realizó en tres etapas: Etapa 1, Selección de sitios y medición de los indicadores (Ver Artículo I y II), Etapa 2, Evaluación de los indicadores, donde se determinó a través de opiniones de expertos la importancia de las variables utilizadas en la evaluación ecológica (Ver Artículo I) y bosques analizados mediante la guía de monitoreo ecológico (Ver Artículo II), y Etapa 3, que es el desarrollo y la aplicación del Índice de Integridad Ecológica (IIE), que proporciona una medida integral de impacto del manejo en el bosque y puede ser aplicado a la toma de decisiones sobre la ejecución de cosechas.

Etapa 1: Selección de sitios y aplicación de los indicadores

Se seleccionaron seis bosques en la zona Norte de Costa Rica, que cuentan con un plan de manejo forestal aprobado ante el MINAE y que presentan parcelas permanentes de muestreo. Estos bosques, además, tienen un ciclo de corta concluido o que está por finalizar. Estos bosques fueron aprovechados con el método de selección individual. Se extrajo el 60% de los árboles comerciales aprovechables con un diámetro mayor a 60 cm de dap, dejando áreas de protección en cauces de agua, fuentes semilleros. También se aplicaron tratamientos silviculturales para favorecer al grupo de las especies comerciales.

Los bosques seleccionados fueron, La Tirimbina, Corinto, Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú. Estos bosques fueron divididos en dos categorías: Bosques de investigación científica a largo plazo y Bosques con manejo forestal con fines comerciales. Los bosques de investigación a largo plazo fueron Corinto y La Tirimbina, que cuentan con parcelas permanentes de muestreo con un diseño experimental formal, el cual permite llegar a conclusiones con base en pruebas estadísticas. Las parcelas fueron instaladas por personal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Los bosques con manejo forestal con fines comerciales lo conformaron: Paniagua I, Paniagua II, Kay Rica y Manú. Estos bosques están siendo manejados por FUNDECOR. Estos cuatro bosques solo cuentan con una parcela de 1.0 ha la cual fue instalada después de efectuado el aprovechamiento forestal, por lo tanto no se tienen datos específicos de cuánto fue extraído para esa hectárea (Ver Artículo I), por lo cual para estos bosques solo se utilizó la estadística descriptiva.

En el enfoque estadístico (Artículo I) se analizó información para cambios de estructura y composición y dinámica por bosque utilizando como variables de respuesta: el número de árboles total ($N \text{ ha}^{-1}$), el número de árboles por clase diamétrica ($N \text{ ha}^{-1}$), el área basal total ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y el área basal por clase diamétrica ($G \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Para el análisis los árboles fueron agrupados en: rodal completo, árboles comerciales, árboles de futura cosecha y árboles de segunda cosecha, de acuerdo a la clasificación usada por CATIE.

En el segundo artículo se aplicó la metodología establecida por la Guía de monitoreo ecológico, la cual integra argumentos de tipo ecológico, económico y estadístico al relacionarlos con el diseño de programas de monitoreo en bosques de alto valor para la conservación (BAVC). Esta guía propone dos enfoques de monitoreo: El primero que abarca indicadores de la estructura y la composición del rodal llamado filtro grueso por ser variables que están relacionadas indirectamente con la biodiversidad. El segundo enfoque es evaluar la respuesta de un grupo ó de especies individuales indicadoras de perturbación por lo cual es llamado filtro fino (Finegan *et al.* 2004)

Etapas 2: Evaluación de los indicadores

Durante esta etapa se analizaron las variables de respuesta a través de la consulta a un grupo de expertos multidisciplinario (Anexo 1), donde participaron 9 personas representantes de instituciones educativas relacionadas con el manejo forestal y 6 personas representantes del sector privado y gubernamental. El taller se inició con una presentación de resultados de la fase 1, con esta presentación se pretendía involucrar a los expertos en el tema y la importancia de cada una de las variables utilizadas, a la vez evaluaron mediante tres formularios las variables de respuesta utilizadas.

La metodología usada para este taller se basó en la técnica de análisis multicriterio. Esta herramienta permite la toma de decisiones en situaciones de problemas con múltiples criterios, basándose en una calificación y la cuantificación de cada parámetro en función de mecanismos denominados *ranking* y *rating*, para decidir cuales tienen mayor importancia relativa en función del nivel jerárquico superior bajo análisis.

El *ranking*, consiste en ordenar los elementos de una lista según su importancia relativa, y puede ser en dos formas: ordinal y regular. En esta investigación se aplicó el *ranking* regular, a través del cual se usó una escala de 0 a 3. La graduación establece que los elementos calificados con valores más cercanos a 0 son menos importantes y los más cercanos a 3 más importantes. El *rating*, consiste en que cada experto asigna una calificación entre 0 y 100 a las variables dentro de un grupo, de manera que cada grupo sume 100. Usando ambos sistemas del *ranking* y *rating*, los expertos ponderaron la importancia de cada grupo de variables de respuesta o indicadores para la evaluación de la integridad ecológica del bosque.

La evaluación de los variables se realizó de la siguiente manera: Formulario 1 (Anexo 2) se evaluó los atributos para cada variable utilizada (individual), las cuales fueron evaluadas en una escala de 1-3 (pobremente, regular, bueno), según su grado de asociación con el objetivo valorado. En el formulario 2 (Anexo 3) se evaluó la importancia de cada variable (individual). Cada experto decidía si la variable era importante (sí o no), si era afirmativa se le asignaba un valor de importancia porcentual a cada elemento, recibiendo una puntuación de importancia entre 0-100, de manera que

la suma de los puntos asignados a todos los elementos fuera igual a 100%. Si la respuesta era “no”, el valor porcentual era cero. Esto con la finalidad de tener una selección de indicadores.

El formulario 3 (Anexo 4) fue la selección de umbrales que sería utilizados como un activador para los bosques aprovechados (ver Finegan *et al.* 2004), esta selección fue en sesión plenaria, donde primeramente se explicó en que consistían los umbrales y se seleccionó en forma grupal si para los diferentes indicadores en estos bosques eran apropiados un umbral de cambio bajo, moderado o alto.

Etapa 3: Aplicación del Índice de Integridad ecológica (IIE)

Para la aplicación del IIE, se seleccionó dos bosques, los sitios experimentales de Corinto y La Tirimbina. Estos bosques fueron analizados con los dos enfoques utilizados en los artículos I y II, lo cual permitió comparar la efectividad de ambos enfoques.

El primer paso en la formulación del IIE fue utilizando la información del formulario 1 y 2, donde el grupo de expertos seleccionó las variables y les asignó un valor de importancia a cada una, las respuestas de cada experto fueron tabuladas para determinar la puntuación promedio de cada variable analizada. Estas puntuaciones fueron utilizadas como “peso de las variables” para el IIE (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valoración de las variables obtenido a través de la evaluación de expertos.

<i>Variables</i>	<i>peso de la variable</i>
Área basal total	30
Número de árboles	20
Apertura del dosel	20
Estructura vertical	15
Densidad de palmas	15
Total	100

Teniendo ya las variables seleccionadas y en orden de importancia y con un peso asignado se procedió a realizar el segundo paso, que consistió en integrar en un cuadro los resultados de los dos enfoques utilizados (Anexo 5). En el tercer paso, con el resumen de cada resultado se procedió a asignar valores, es decir si los análisis de las variables de respuesta indicaban que no había cambios – en el caso de las comparaciones estadísticas, si no habían diferencias estadísticamente significativas, y en el caso del enfoque de la guía, que el cambio no excedía el umbral de cambio

bajo - se le asignaba el peso total de la variable, pero si había cambios – diferencias estadísticamente significativas, o un cambio que excedía el umbral de cambio bajo - el valor asignado era cero (Cuadro 2).

En el caso de que la variable estuviese dividida a su vez como es el caso de estructura vertical que estuvo dividida en cinco estratos, el peso de la variable fue dividida entre el número de estratos y se restó el valor en el caso que en algún estrato presentara cambios.

Cuadro 2. Evaluación de las variables utilizando el peso de la variable para cada indicador.

<i>Enfoque de la Guía de Monitoreo</i>	<i>peso de la variable</i>	<i>Corinto</i>	
		<i>Aprovechamiento</i>	<i>Liberación</i>
Área basal total	30	30	0
Número de árboles	20	20	20
Apertura del dosel	20	20	20
Estructura vertical	15	15	14.5
Densidad de palmas	15	15	15
Total	100	100	69.5

El valor total del IIE debe sumar 100% en el caso de un bosque sin impacto, pero en el caso de bosques con aprovechamiento este valor debiera oscilar entre 80 y 100 para aprobar un nuevo aprovechamiento, puesto que son bosques donde algún grado de cambio es consecuencia lógica por la extracción de madera. Sin embargo, si el valor del Índice es menor a 80 el grado de cambio en los bosques fue mayor, al menos más de dos variables fueron modificadas, por lo tanto es un bosque que requiere un periodo más amplio para su recuperación. Estos bosques no debieran ser considerados para una siguiente intervención hasta obtener un valor del IIE de al menos el 80%. Cabe señalar que únicamente en el caso del área basal sería tomada la decisión de no aprobar un nuevo aprovechamiento con base en la no-recuperación de una sola variable, ya que esta fue la variable a la que fue asignado mayor peso por el grupo de expertos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.2. Resultados del taller de grupo de expertos

El grupo de expertos fue compuesto por el 60% de personas de instituciones educativas y el 40% de personas de instituciones privadas. Los resultados obtenidos pueden tener incidencia en las respuestas y el balance de las variables evaluadas, puesto que más del 50% son personas dedicadas a la investigación científica.

Los atributos considerados esenciales que debe poseer un indicador (Finegan y Céspedes 2006) según la evaluación, son que debe integrar y sintetizar información además de ser confiable y repetible y el indicador que más cumplió con estos requisitos fue el área basal total. La densidad de palmas se le consideró como la variable que menos integra información (Anexo 6).

En la Fig. 1 se puede observar que los expertos en el enfoque estadístico le dieron mayor importancia a la evaluación del rodal completo que al resto de grupos evaluados. Dentro de cada grupo se tiene una serie de variables, a cada una de las cuales se les asignó un valor (Cuadro 3). Dentro de estas variables el área basal total obtuvo más alto valor.

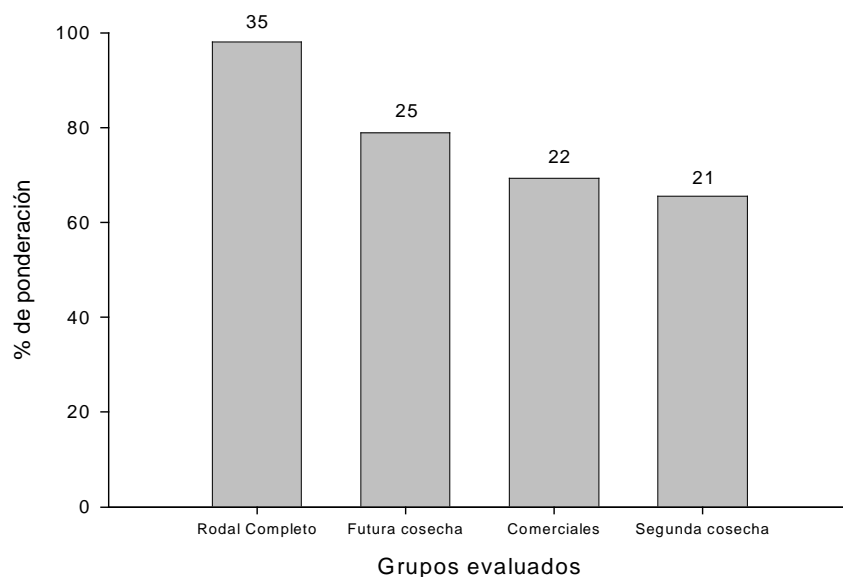


Figura 1. Porcentaje de ponderación para cada una de las categorías de individuos ≥ 10 cm de dap en dos bosques del Norte de Costa Rica.

En el Cuadro 3 el promedio de cada una de las variables obtuvo valores similares pero suficientes para distinguir entre grupos, dándole mayor importancia al rodal completo; sin embargo esto puede ser porque esta categoría es la que presentó más número de variables, y otra como árboles de segunda cosecha a pesar de que se calificaron alto tiene tan solo dos variables.

Cuadro 3. Evaluación de variables por grupo dos bosques con tratamientos silviculturales en el Norte de Costa Rica, N.A. (no aplica).

Enfoque estadístico	Rodal completo	Árboles comerciales	Árboles de Futura cosecha	Árboles de Segunda cosecha	TOTAL
Número de árboles total	7	5	5	10	27
Numero de árboles por clase diamétrica	5	7	7	N.A.	19
Área basal total	8	4	5	11	46
Área basal por clase diamétrica	5	6	7	N.A.	18
Composición florística	7	N.A.	N.A.	N.A.	7
SUMA TOTAL	32	27	28	21	100

En la Figura 2 utilizando el enfoque de la guía de monitoreo la variable área basal nuevamente obtuvo una mayor ponderación y fue considerada la variable más importante.

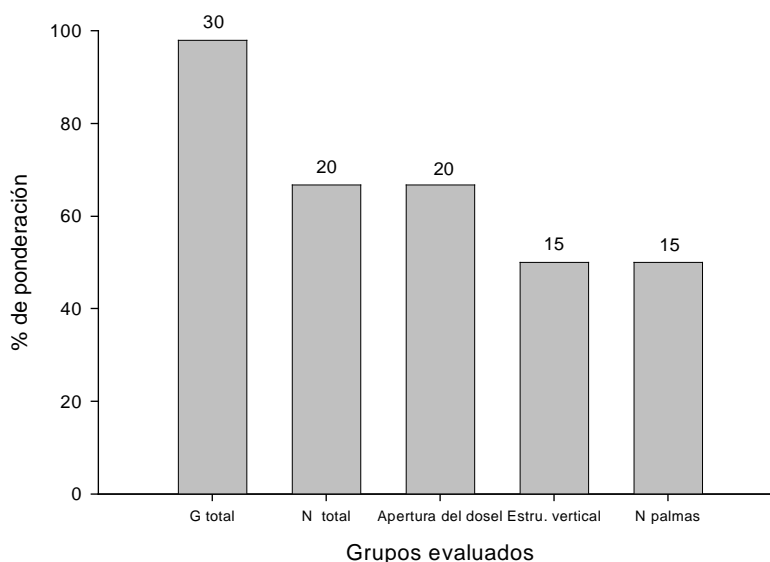


Figura 2. Porcentaje de ponderación para cada uno de los grupos evaluado utilizando el enfoque de la guía de monitoreo en seis bosques al Norte de Costa Rica.

3.1. Resultados del Índice de integridad ecológica

Según el índice de integridad ecológica (Cuadro 4) y utilizando el enfoque estadístico, los dos bosques con cada uno de sus tratamientos estarían preparados para una segunda cosecha, puesto

que los cambios que presentaron fueron recuperados o no tuvieron suficiente peso para obtener un IIE menor a 80%. El bosque de La Tirimbina en el tratamiento de Liberación obtuvo el mayor valor según el índice de integridad ecológica, este es debido a que no presentó cambios en composición florística, de tal forma que obtuvo el valor de la variable completo, sin embargo es importante destacar que este bosque ya había sido aprovechado hace alrededor de 30 años razón por la cual probablemente, su composición no varió después del aprovechamiento legal (Artículo II).

Sin embargo si se utiliza el enfoque de la guía de monitoreo, el bosque de Corinto en el tratamiento de Liberación no obtiene el valor mínimo del IIE para ser considerado para un segundo aprovechamiento, y esto es debido a que este tratamiento no alcanzó a recuperar su área basal total.

Cuadro 4. Cambios en base al índice de integridad ecológica para dos bosques con tratamientos silviculturales en el Norte de Costa Rica.

<i>Enfoque estadístico</i>	<i>peso de la variable</i>	<i>Corinto</i>		<i>Tirimbina</i>	
<i>Rodal completo</i>		<i>Aprov.</i>	<i>Lib.</i>	<i>Aprov.</i>	<i>Lib.</i>
Área basal total	8	8	8	8	8
Número de árboles total	7	7	7	7	7
Composición Florística	7	0	0	7	7
Numero de árboles por clase diamétrica	5	5	5	5	5
Área basal por clase diamétrica	5	4.5	4.5	5	4
<i>Subtotal</i>	32	24.5	24.5	32	31
<i>Árboles Futura cosecha</i>					
Número de árboles por clase diamétrica	7	7	7	6	7
Área basal por clase diamétrica	7	7	7	6	7
Área basal total	5	5	5	0	5
Número de árboles total	5	5	5	5	5
<i>Subtotal</i>	24	24	24	17	24
<i>Árboles comerciales</i>					
Numero de árboles por clase diamétrica	7.0	7	7	7	7
Área basal por clase diamétrica	6.0	6	6	6	6
Número de árboles total	5.0	5	5	5	5
Área basal total	5.0	4.5	4.5	5	5
<i>Subtotal</i>	23.0	22.5	22.5	23.0	23.0
<i>Árboles Segunda cosecha</i>					
Área basal total	11	11	11	11	11
Número de árboles total	10	10	10	10	10
<i>Subtotal</i>	21	21	21	21	21
	100	92	92	93	99
<i>Enfoque de la Guía de Monitoreo</i>	<i>peso de la variable</i>	<i>Corinto</i>		<i>Tirimbina</i>	
		<i>Aprov.</i>	<i>Lib.</i>	<i>Aprov.</i>	<i>Lib.</i>
Área basal total	30	30	0	30	30
Número de árboles	20	20	20	20	20
Apertura del dosel	20	20	20	0	20
Estructura vertical	15	15	14.5	15	15
Densidad de palmas	15	15	15	15	15
Total	100	100	69.5	80	100

El área basal fue considerada por los expertos como el indicador que más integra y sintetiza información además de ser confiable y repetible. Esta variable fue seleccionada quizá por el tipo de datos que se generan actualmente en los bosques manejados, que es mediante inventarios forestales y muestreos diagnósticos, donde obtienen principalmente el número de árboles y su diámetro junto con su ubicación.

Se prefirió usar los datos del rodal completo en lugar de alguna agrupación de los árboles en categorías comerciales. Esto puede ser porque solamente el bosque remanente completo expresa suficiente la recuperación o afectación del rodal y al agrupar no necesariamente estén incidiendo efectos del aprovechamiento anterior.

Al utilizar el índice de integridad ecológica el único indicador que puede descalificar a un bosque por si solo, es el área basal, si el G está recuperado o no fue afectado, tendrían que estar afectadas al menos dos del resto de las variables para descartar un bosque. Este aspecto del IIE se considera apropiado debido a la importancia asignada al área basal por los expertos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ◇ Las variables analizadas en su conjunto son un reflejo del estado del bosque sin embargo existen otras que por si solas son capaces de expresar el estado del ecosistema. Sin embargo, en principio es recomendable utilizar el mayor número posible de variables de respuesta para dar mayor integridad a nuestra evaluación.
- ◇ La investigación generó un índice de integridad ecológica, para la evaluación de bosques de la zona atlántica de Costa Rica en relación a propuestas para nuevas cosechas, además de contribuir al proceso de desarrollo del manejo policíclico en la región.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CCT (Centro Científico Tropical). 2000. En línea. Consultado el 13 noviembre 2006. San José, Costa Rica. <http://www.cct.or.cr/>
- Finegan, B. y Céspedes, M.A. 2006. El monitoreo ecológico como componente integral del manejo de Áreas Protegidas y Corredores Biológicos en los Trópicos: conceptos y práctica. Documento Técnico de referencia. Programa de Monitoreo Ecológico de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR). CATIE-SINAC, San José, Costa Rica.
- Finegan, B.; Hayes, J.; Delgado, D.; Gretzinger, S. 2004. Monitoreo ecológico del manejo forestal en el trópico húmedo: Una guía para operadores forestales y certificadores con énfasis en bosques de alto valor para la conservación. WWF Centroamérica, 116 p.
- Louman, B.; Quirós, D.; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos de con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico no. 46. CATIE, Turrialba CR
- McIntyre, S., Hobbs, R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. In *Conservation Biology* 13:6-11p.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2004. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2004. San José, Costa Rica. 31 p.
- Quirós, D; Finegan, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico no. 225. 25 p
- Wadsworth, F.H. 2000. Los bosques Secundarios y su manejo in *Producción Forestal para América Tropical*. Capitulo 4: 113-172.
- Whitmore, T. 1984. *Tropical rain forest of the Far East*. U. Clarendon Press. Oxford. 352. p.

Anexo

Anexo 1. Lista de participantes del taller de Análisis Multicriterio de las variables utilizadas, San José, Costa Rica

N°	Nombre	Institución
1	Bastiaan Louman	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
2	Carlos Barrantes	MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía)
3	Claudia Bouroncle	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
4	Eladio Chávez Salas	UNA (Universidad Nacional)
5	Fernando Carrera	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
6	German Ovando	FUNDECOR (Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central)
7	Guillermo Navarro	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
8	Juan Carlos Carmona	FUNDECOR (Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central)
9	Juan José Jiménez	SINAC-ECTI (Sistema Nacional de Áreas de Conservación)
10	Luís Diego Delgado	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
11	Marvin Centeno	GTZ (Programa de Nicaragua)
12	Mauricio Sánchez	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
13	Rogér Villalobos	CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)
14	Vicente Watson	CCT (Centro Científico Tropical)
15	Víctor Meza	UNA (Universidad Nacional)

Anexo 2. Formulario 1 Evaluación de atributos para cada variable utilizada (individual)

Variables ecológicas	Relevante ecológicamente a la sostenibilidad del manejo forestal 1-3	Relevante para diferentes grupos 1-3	Estrechamente relacionado con la meta superior 1-3	Medida sintética o integradora 1-3	Medible 1-3	Rango de respuesta amplio 1-3	Costo-eficiente 1-3	Confiable y repetible 1-3
<i>Rodal completo</i>								
Número de árboles total								
Numero de árboles por clase diamétrica								
Área basal total								
Área basal por clase diamétrica								
Composición Florística								
<i>Enfoque de la Guía de Monitoreo</i>								
Número de árboles								
Área basal total								
Apertura del dosel								
Estructura vertical								
Densidad de palmas								

Atributos considerados esenciales para un indicador (Finegan y Céspedes 2006).

1. *Que el indicador sea relevante ecológica- y biológicamente.* Se refiere al grado de importancia que tiene el indicador respecto a la evaluación de la biodiversidad en relación a las metas superior (Determinar si el bosque esta preparado para una segunda u otra intervención).
2. *Que el indicador sea relevante para diferentes grupos de interesados.* Se refiere al grado de importancia que tiene el indicador respecto a los sistemas de valores y las percepciones de diferentes grupos de personas interesadas en la conservación de la biodiversidad
3. *Que el indicador sea estrechamente relacionado a la meta superior de la evaluación.* Se refiere al grado en que el indicador esté directamente, obviamente, intuitivamente o lógicamente relacionado a la meta superior.
4. *Que el indicador represente una medida sintética o integradora.* Si el indicador resume o integra una gran cantidad de información
5. *Que el indicador sea medible.* El indicador debe presentar facilidad para su detección, medición e interpretación
6. *Que el indicador tenga un rango de respuesta amplio.* Si el indicador suministra información valiosa sobre un rango amplio de grados de perturbación o alteración de la biodiversidad
7. *Que el indicador sea costo-eficiente.* En la obtención de la información sobre el indicador no deben haber costos excesivos, o en términos absolutos, o en términos relativos (con relación a la importancia de la información que provee)
8. *Que el indicador sea confiable y repetible.* La metodología para obtener e interpretar la información del indicador debe ser clara y replicable o repetible, de manera que proporciona los mismos resultados cuando aplicada por diferentes personas

Anexo 3 Formulario 2. Evaluación de importancia para cada variable utilizada (individual)

Nota: Si no se incluye no tiene valor de ponderación

Variables a evaluar Enfoque estadístico	Se incluye (Si-No)	alores 1-100%	Metodología recomendada
<i>Rodal completo</i>			
Número de árboles total			
Numero de árboles por clase diamétrica			
Área basal total			
Área basal por clase diamétrica			
<i>Árboles comerciales</i>			
Número de árboles total			
Numero de árboles por clase diamétrica			
Área basal total			
Área basal por clase diamétrica			
<i>Árboles Futura cosecha</i>			
Número de árboles total			
Numero de árboles por clase diamétrica			
Área basal total			
Área basal por clase diamétrica			
<i>Árboles Segunda cosecha</i>			
Número de árboles total			
Área basal total			
Total			
Enfoque de la Guía de Monitoreo	Se incluye (Si-No)	Valores 1-100%	Metodología recomendada
<i>Guía de Monitoreo</i>			
Número de árboles			
Área basal total			
Apertura del dosel			
Estructura vertical			
Densidad de palmas			
SUMA TOTAL			

Anexo 4 Formulario 3. Selección de umbrales para bosques aprovechados (en grupo)

Selección de umbrales	Umbral de cambio bajo 1-3	Umbral de cambio medio 1-3	Umbral de cambio alto 1-3
<i>Guía de Monitoreo</i>			
Número de árboles			
Área basal total			
Apertura del dosel			
Estructura vertical			
Densidad de palmas			

Anexo 5. Resumen de datos estadísticos de dos bosques aprovechados en la zona Norte de Costa Rica.

Tratamiento	Clases	N Rodal completo			G Rodal Completo			N Comercial			G Comercial		
	diamétricas	1992	2006	p	1992	2006	p	1992	2006	p	1992	2006	p
Testigo	10-19.9	276 (43)	269 (28)	0.6854	4.43 (0.6)	4.28 (0.5)	0.0803	64 (11)	54 (1)	0.5286	1.10 (0.2)	1.11 (0.3)	0.6808
	20-29.9	88 (25)	77 (19)	0.1496	4.24 (1.2)	3.80 (0.9)	0.3576	43 (18)	38 (14)	0.2293	2.12 (0.9)	1.70 (0.6)	0.1573
	30-39.9	55 (31)	52 (21)	0.7015	5.14 (2.9)	4.81 (1.9)	0.6187	37 (23)	32 (12)	0.3694	3.41 (2.1)	1.78 (0.9)	0.0273
	40-49.9	23 (8)	31 (13)	0.1585	3.55 (1.2)	4.70 (2.0)	0.2823	18 (8)	23 (11)	0.6667	2.67 (1.1)	1.85 (0.9)	0.9058
	50-59.9	15 (4)	16 (4)	0.6621	3.41 (0.8)	3.81 (0.9)	0.2881	10 (3)	12 (2)	0.8857	2.24 (0.7)	1.91 (0.3)	0.6453
	> 60	20 (12)	19 (12)	0.2254	8.35 (5.4)	8.60 (6.2)	0.0188	12 (10)	13 (9)	0.958	5.16 (4.6)	3.93 (2.4)	0.2531
N Total		476 (97)	464 (64)	0.5803	29.11 (1.2)	30.01 (0.2)	<u>0.0009</u>	183 (48)	172 (30)	0.3872	16.71 (3.3)	12.27 (0.8)	0.5145
Aprovechamiento	10-19.9	253 (43)	239 (56)	0.5907	4.03 (0.6)	4.05 (0.9)	0.3793	54 (14)	52 (13)	0.1835	0.86 (0.2)	0.88 (0.2)	0.2073
	20-29.9	80 (20)	77 (18)	0.8583	3.77 (0.9)	3.64 (0.7)	0.3058	40 (14)	27 (10)	0.077	1.96 (0.6)	1.38 (0.4)	0.4601
	30-39.9	44 (4)	46 (15)	0.8314	4.11 (0.5)	4.29 (1.3)	0.5521	30 (3)	29 (14)	0.907	2.81 (0.3)	2.79 (1.3)	0.154
	40-49.9	24 (8)	29 (5)	0.4375	3.74 (1.1)	4.52 (.08)	0.8062	17 (8)	21 (4)	0.5837	2.62 (1.1)	3.29 (0.5)	0.6424
	50-59.9	13 (3)	17 (5)	0.1917	2.87 (0.7)	4.06 (1.2)	0.0713	10 (4)	14 (6)	0.2532	2.18 (0.7)	3.31 (1.5)	0.974
	> 60	20 (9)	17 (6)	0.5112	8.63 (4.3)	6.91 (2.6)	0.0042	14 (8)	14 (8)	>0.9999	5.89 (3.3)	5.55 (3.3)	0.6201
N Total		434 (66)	425 (82)	0.8363	27.15 (3.4)	27.46 (2.7)	0.0021	165 (28)	158 (29)	0.2767	16.32 (2.5)	17.19 (2.7)	0.9419
Liberación	10-19.9	267 (28)	266 (13)	0.915	4.32 (0.5)	4.34 (0.2)	0.0377	63 (1)	58 (4)	0.1348	1.03 (0.0)	0.95 (0.0)	0.2132
	20-29.9	82 (4)	77 (5)	0.2799	3.80 (0.3)	3.49 (0.2)	0.2237	31 (2)	29 (5)	0.5101	1.5 (0.0)	1.38 (0.2)	0.9626
	30-39.9	40 (6)	37 (5)	0.2893	3.82 (0.5)	3.50 (0.3)	0.5049	29 (4)	21 (1)	0.0624	2.82 (0.5)	2.10 (0.1)	0.8351
	40-49.9	30 (6)	25 (4)	0.0728	4.69 (0.8)	4.03 (0.4)	0.3412	22 (5)	20 (8)	0.2507	3.49 (0.8)	3.18 (0.2)	0.3229
	50-59.9	18 (1)	13 (6)	0.2915	4.31 (0.2)	3.10 (1.3)	0.1149	13 (1)	10 (5)	0.4929	3.08 (0.3)	2.48 (1.2)	0.1857
	> 60	20 (10)	18 (2)	0.7779	8.19 (4.3)	8.01 (2.1)	0.0068	13 (8)	12 (0)	0.8399	5.02 (2.9)	5.25 (1.3)	0.3231
N Total		457 (31)	436 (21)	0.2533	29.12 (2.2)	26.47 (2.5)	0.0093	172 (1)	150 (4)	0.0107	16.93 (1.7)	15.35 (2.4)	0.9727

Continuación anexo 5

Tratamiento	Clases	N Rodal completo			G Rodal Completo			N Comercial			G Comercial		
	diamétricas	1990	2003	p	1990	2003	p	1990	2003	p	1990	2003	p
Aprovechamiento	10-19.9	337 (73)	348 (88)	0.5728	5.22 (0.8)	5.48 (1.2)	0.4736	67 (20)	73 (30)	0.4538	1.06 (0.3)	1.22 (0.4)	0.2027
	20-29.9	90 (10)	91 (21)	0.8551	4.15 (0.4)	4.23 (0.9)	0.8055	33 (8)	33 (16)	>0.9999	1.63 (0.1)	1.6 (0.7)	0.944
	30-39.9	38 (5)	44 (6)	0.4135	3.59 (0.5)	4.30 (0.5)	0.342	27 (4)	30 (5)	0.483	2.52 (0.4)	2.87 (0.4)	0.4134
	40-49.9	23 (9)	27 (2)	0.5165	3.60 (1.3)	4.21 (0.1)	0.507	17 (5)	23 (5)	0.3025	2.71 (0.7)	3.64 (0.7)	0.2618
	50-59.9	9 (4)	14 (3)	0.1849	2.04 (0.9)	3.30 (0.6)	0.2277	7 (4)	12 (3)	0.148	1.73 (0.8)	2.78 (0.7)	0.2017
	> 60	8 (6)	9 (6)	0.2697	3.37 (2.6)	3.96 (2.7)	0.2929	5 (4)	7 (6)	0.1994	1.95 (1.6)	2.79 (2.4)	0.1954
N Total		504 (76)	534 (101)	0.2314	21.96 (1.7)	25.48 (1.0)	0.0123			0.3131	11.59 (1.8)	14.89 (1.1)	0.0145
Liberación	10-19.9	313 (48)	358 (75)	0.114	4.86 (0.4)	5.73 (1.0)	0.1127	58 (15)	67 (22)	0.1937	0.95 (0.2)	1.11 (0.3)	0.1134
	20-29.9	81 (12)	73 (14)	0.203	3.72 (0.6)	3.39 (0.6)	0.0088	31 (8)	34 (12)	0.7234	1.44 (0.5)	1.70 (0.6)	0.4207
	30-39.9	38 (8)	27 (12)	0.0767	3.61 (0.6)	2.51 (1.1)	0.0815	22 (3)	19 (9)	0.5977	2.05 (0.2)	1.78 (0.9)	0.6562
	40-49.9	23 (12)	16 (7)	0.2104	3.58 (1.7)	2.61 (1.0)	0.2109	15 (5)	12 (6)	0.3235	2.32 (0.6)	1.85 (0.9)	0.2923
	50-59.9	14 (2)	9 (2)	0.874	3.17 (0.3)	2.07 (0.4)	0.0055	11 (1)	8 (2)	0.2495	2.42 (0.3)	1.91 (0.3)	0.2984
	> 60	14 (4)	14 (6)	0.874	6.25 (1.8)	6.05 (2.9)	0.8309	7 (5)	10 (6)	0.0728	3.17 (2.2)	3.93 (2.4)	0.0357
N Total		483 (76)	498 (103)	0.4401	25.18 (3.4)	22.35 (2.7)	0.0586			0.6964	12.35 (1.0)	12.27 (0.8)	0.9314

Anexo 6 Evaluación de atributos esenciales de los indicadores utilizados como variables en el estudio en seis bosques aprovechados del Norte de Costa Rica. Cuadros señalados en gris, son los atributos con máximo valor obtenido

Enfoque estadístico	Atributos esenciales de un indicador							
Rodal completo	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Número de árboles total</i>	28	31	30	25	38	28	33	37
Numero de árboles por clase diamétrica	36	32	32	32	38	34	34	36
Área basal total	32	31	33	30	38	29	33	38
Área basal por clase diamétrica	37	29	32	35	36	36	33	35
Composición Florística	38	36	34	35	27	35	23	27
<i>Enfoque de la Guía de Monitoreo</i>								
Número de árboles	30	32	30	31	38	29	31	37
Área basal total	34	33	36	34	39	33	36	39
Apertura del dosel	35	32	34	34	26	33	26	27
Estructura vertical	34	26	32	32	28	31	27	25
Densidad de palmas	28	30	25	21	33	25	27	31
<i>Árboles comerciales</i>								
Número de árboles total	31	28	29	26	37	27	32	35
Numero de árboles por clase diamétrica	35	31	35	30	36	30	31	35
Área basal total	33	29	29	29	36	30	33	36
Área basal por clase diamétrica	34	31	36	32	36	35	31	34
<i>Árboles Futura cosecha</i>								
Número de árboles total	31	28	28	27	35	28	30	35
Número de árboles por clase diamétrica	35	31	32	31	36	31	32	37
Área basal total	30	27	29	29	35	31	32	35
Área basal por clase diamétrica	34	31	33	32	35	31	32	36
<i>Árboles Segunda cosecha</i>								
Número de árboles total	32	30	32	29	35	32	34	36
Área basal total	33	30	35	30	36	30	34	37
Volumen m3 ha-1 >60 cm dap	28	32	33	28	28	28	28	32

9. Que el indicador sea relevante ecológica- y biológicamente a la sostenibilidad del manejo forestal.
10. Que el indicador sea relevante para diferentes grupos de interesados.
11. Que el indicador sea estrechamente relacionado a la meta superior.
12. Que el indicador represente una medida sintética o integradora
13. Que el indicador sea medible.
14. Que el indicador tenga un rango de respuesta amplio.
15. Que el indicador sea costo-eficiente.
16. Que el indicador sea confiable y repetible.