

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

CATIE

**ESTUDIO DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN UN
BOSQUE SECUNDARIO Y SU APLICACION A LA
ELABORACION DE UN PLAN DE MANEJO,
SAN ISIDRO - COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

Magister Scientiae

por

Mario Javier Sanchez Sanchez

Turrialba, Costa Rica

1995

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

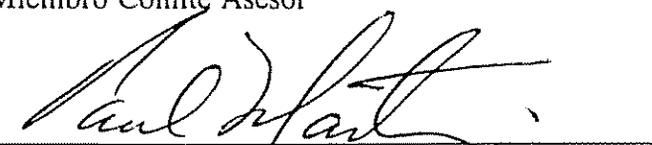
FIRMANTES:



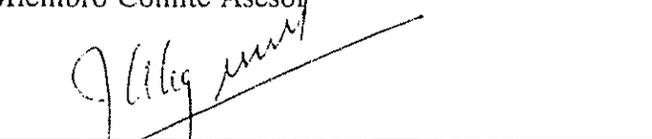
Bryan Finegan Ph.D.
Profesor Consejero



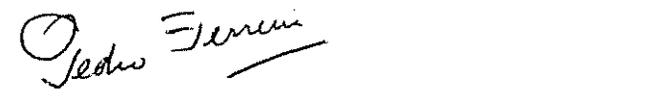
Pedro Ferreira Ph.D.
Miembro Comité Asesor



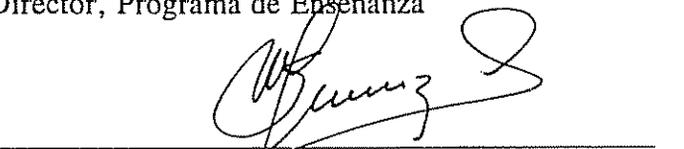
Paul Martins M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre Ph.D.
Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira Ph. D.
Director, Programa de Enseñanza



Candidato **Mario Javier Sánchez Sánchez**

DEDICATORIA

**“ A la memoria de Don Ian Hutchinson,
invaluable silvicultor, quien fue el cultor del
presente trabajo”**

**A Mario y Ana, mis padres, apoyo leal y
sincero en todas las etapas de mi formación
profesional.**

**A Rosemary, Jimmy y Jersina, hermanos y
sobrina, por el estímulo que me brindaron.**

**A mi esposa Ana Maria, y mis hijos Yerko
Javier y Marco Antonio, quienes fueron el
soporte vital para este logro.**

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer llegar mis sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

- Dr. Bryan Finegan
- Dr. Pedro Ferreira
- MSc. Paul Martins
- Dr. Franz Wadsworth
- Sr. Hugo Brenes
- Sr. Jhonny Pérez
- Sr. Fernando Agüero
- Ing. Luis F. Simons
- MSc. Mario Escalier
- Sr. Henk Lette
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Plan de Acción Forestal de Bolivia.
- Proyecto Producción de Bosques Naturales PBN/CATIE/RENARM.
- Proyecto Silvicultura y Manejo de Bosques CATIE/COSUDE.
- COOPEMADEREROS R.L. - Costa Rica.

BIOGRAFIA

El autor nació en Tarija, Bolivia; realizó sus estudios de secundaria en el Colegio Nacional San Luis de su ciudad natal. En 1987 se recibió como Licenciado en Ingeniería Forestal, título que le otorgó la Universidad Juan Misael Saracho, sede Tarija.

Entre 1989 y 1991, se desempeñó como Jefe Nacional del Departamento de Industria y Comercio del Centro de Desarrollo Forestal, asimismo, como Contraparte Nacional en el Proyecto Plan de Administración de Recursos Naturales de la Provincia Iturrealde del Departamento de La Paz CDF/JICA.

Desde 1992 hasta finales de 1993 pasó a formar parte de la Consultora Ingenieros Consultores Forestales S.R.L. (INCOFOR), realizando estudios detallados sobre inventarios forestales, planes de manejo, y brindando asesoramiento técnico a diferentes Empresas Forestales del País.

En enero de 1994, ingreso al Programa de Maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica y egresa en diciembre de 1995 como Magister Scientiae en el área de Silvicultura y Manejo de Bosques Tropicales.

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	i
SUMMARY	iii
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
3.1. Los bosques secundarios: estructura, composición y dinámica	3
3.2. Manejo del bosque natural secundario	4
3.2.1. Tratamientos silviculturales	4
3.2.1.1. Liberación de árboles seleccionados	5
3.2.2. Ciclo de corta	5
3.2.3. Regulación de la producción	6
3.3. Crecimiento y rendimiento de los bosques naturales tropicales	7
3.3.1. Modelos de crecimiento y rendimiento	9
3.3.1.1. Mortalidad	10
3.3.1.2. Reclutamiento	11
3.4. Funciones y características de las parcelas permanentes de muestreo	12
3.4.1. Selección de variables a medir	13
4. MATERIALES Y METODOS	19
4.1. Descripción del área de estudio	19
4.2. Métodos	24
4.2.1. Parcelas permanentes de muestreo	24
4.2.2. Mediciones de diámetros y altura comercial	27
4.2.3. Determinación del coeficiente mórfico y volumen comercial	27
4.2.4. Análisis básico del crecimiento, reclutamiento y mortalidad	28
4.2.4.1. Incremento diamétrico por especie	28
4.2.4.2. Escenarios de comparación y grupos de crecimiento parecido	29
4.2.4.3. Reclutamiento y modelación de la mortalidad	30
4.2.4.4. Análisis estadístico de la información	30

4.2.5. Modelación del crecimiento y rendimiento del bosque	31
4.2.5.1. Componentes del modelo	31
4.2.5.2. Estructura y diagramación del modelo de proyección	31
4.2.6. Selección del ciclo de corta y posibilidad de corta anual	36
5. RESULTADOS	37
5.1. Espesor de corteza y coeficiente mórfico	37
5.1.1. Proporción de corteza	37
5.1.2. Coeficiente mórfico	38
5.2. Derivación de ecuaciones de volumen	39
5.3. Volumen comercial con y sin corteza por tratamiento	40
5.3.1. Parcelas tratadas	40
5.3.2. Parcelas testigo	42
5.4. Tendencias del área basal durante el periodo de observación	44
5.5. Composición de escenarios y distribución de los incrementos de las especies	46
5.6. Agrupación de especies de crecimiento parecido por tratamiento y escenario	48
5.7. Crecimiento diamétrico por tratamiento, escenario, grupos de especies, y clase diamétrica	54
5.7.1. Correlación entre los incrementos diamétricos anuales de las especies por tratamiento, escenario y las variables independientes de los árboles individuales	55
5.7.2. Diferencias de crecimiento entre tratamientos por escenario y grupos de crecimiento parecido	57
5.7.3. Comportamiento del crecimiento en el tiempo por tratamiento, escenario y clase diamétrica	60
5.8. Reclutamiento y Mortalidad	64
5.9. Futuro potencial productivo del área	67
5.9.1. Proyección del crecimiento por tratamiento y escenario	67
5.10. Discusión general	82
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
7. BIBLIOGRAFIA	90
8. ANEXOS	96

LISTA DE CUADROS

PAGINA

1.	Número de árboles, área basal, volumen e incremento medio anual de área basal y volumen para árboles con $dap \geq 10$ cm	8
2.	Clasificación de infestación de lianas	14
3.	Clasificación de clase de identidad	15
4.	Clasificación de calidad de fuste	26
5.	Clasificación del grado de iluminación que recibe la copa de los árboles	26
6.	Clasificación de la forma de copa de los árboles	26
7.	Distribución de árboles y coeficiente mórfico por clase diamétrica y tratamiento silvicultural	38
8.	Ecuaciones volumétricas con y sin corteza por tratamiento silvicultural	39
9a.	Número de árboles (ha) y volumen comercial ($m^3 ha^{-1}$) con y sin corteza por clase diamétrica del bosque tratado en diferentes mediciones para árboles con $dap \geq a 10$ cm.	40
9b.	Número de árboles (ha) y volumen por grupo comercial ($m^3 ha^{-1}$) del bosque tratado para árboles con $dap \geq a 10$ cm.	41
10.	Número de árboles (ha), volumen comercial ($m^3 ha^{-1}$) con y sin corteza de individuos eliminados por el tratamiento	42
11a.	Número de árboles (ha) y volumen comercial ($m^3 ha^{-1}$) con y sin corteza por clase diamétrica del bosque testigo para árboles con $dap \geq a 10$ cm.	44
11b.	Número de árboles (ha) y volumen por grupo comercial ($m^3 ha^{-1}$) del bosque testigo para árboles con $dap \geq a 10$ cm.	44
12.	Número de árboles (ha) y área basal en $m^2 ha^{-1}$ para árboles con $dap \geq 10$ cm. por tipo de bosque, grupo comercial y año de medición	46
13.	Incremento diamétrico mediano en cm. por clase diamétrica, grupos de crecimiento y escenarios del bosque sin tratamiento silvicultural	54
14.	Incremento diamétrico mediano en cm. por clase diamétrica, grupos de crecimiento y escenarios del bosque con tratamiento silvicultural	55
15.	Incremento diamétrico mediano anual por tratamiento y sus diferencias del escenario 1	57
16.	Incremento diamétrico mediano anual por tratamiento y sus diferencias del escenario 2.	58

17. Incremento diamétrico mediano anual por tratamiento y sus diferencias del escenario 3.	58
18. Diferencias de crecimiento entre tratamientos del escenario 1 por grupos de crecimiento, para el periodo 1988-1995	59
19. Diferencias de crecimiento entre tratamientos del escenario 2 por grupos de crecimiento, para el periodo 1988-1995.	59
20. Diferencias de crecimiento entre tratamientos del escenario 3 por grupos de crecimiento, para el periodo 1988-1995	60
21. Distribución del número de reclutas y área basal ($m^2 ha^{-1}$) promedio anual por tratamiento, escenario, y grupos de crecimiento parecido	65
22. Distribución del número de árboles muertos anualmente por clase diamétrica de las parcelas testigo	66
23. Distribución del número de árboles muertos anualmente por clase diamétrica de las parcelas tratadas	66
24. Modelos de regresión exponencial negativo para la mortalidad por clase diamétrica y tratamiento	67
25. Número de árboles, área basal ($m^2 ha^{-1}$), volumen comercial con y sin corteza ($m^3 ha^{-1}$) después de proyectado el crecimiento en periodos de 5 años por tratamiento y escenario, para árboles con $dap \geq 10$ cm.	72
26. Rendimiento medio anual en área basal ($m^2 ha^{-1}$) y volumen comercial con corteza ($m^3 ha^{-1}$), para cada periodo proyectado por tratamiento y escenario	75
27. Aumento proporcional de área basal y volumen comercial para los próximos 20 años por tratamiento y escenario	76
28. Incremento proporcional del número de árboles por ha. (abundancia) entre el año 1995 y el 2015 por tratamiento y escenario	77
29. Número de árboles por ha., área basal ($m^2 ha^{-1}$), y volumen comercial con y sin corteza ($m^3 ha^{-1}$) disponibles para su extracción en los diferentes periodos por tratamiento y escenario ($dap \geq 50$ cm.)	81

LISTA DE FIGURAS

	PAGINA
1. Clase de iluminación de copa	16
2. Forma de copa	17
3. Calidad de fuste según la mejor troza	18
4. Ubicación geográfica del área de estudio	21
5. Distribución de las parcelas de muestreo permanente	22
6. Distribución de la temperatura media mensual, máxima y mínima (°C) de 1994, estación meteorológica de Buenos Aires - Puntarenas, Costa Rica	23
7. Distribución de la precipitación mensual de 1994 (mm) y promedio mensual de la estación meteorológica de Buenos Aires - Puntarenas, Costa Rica	23
8. Características de las parcelas permanentes de 0,25 ha. de Pilar del Cajón San Isidro, Pérez Zeledón, Costa Rica	24
9. Componentes principales del modelo de proyección de crecimiento del bosque secundario de San Isidro, Pérez Zeledón	31
10a. Diagrama de flujo del modelo de proyección del crecimiento para el modulo de la clase diamétrica de 10-19,9 cm.	34
10b. Diagrama de flujo del modelo de proyección del crecimiento para el modulo de clases diamétricas $\geq 20-29,9$ cm.	35
11. Modelo de regresión de espesor de corteza en función del dap	37
12. Distribución diamétrica por ha. del bosque tratado en diferentes periodos de observación	41
13. Distribución diamétrica por ha. del bosque testigo al inicio y final del período de observación	43
14. Comportamiento anual del número de árboles por ha. con dap ≥ 10 cm. por tratamiento	45
15. Comportamiento del área basal anual en m ² ha ⁻¹ por tratamiento, para árboles con dap ≥ 10 cm.	45
16. Distribución del crecimiento de las especies comerciales y no comerciales del bosque testigo (escenario 1) y grupos de crecimiento	50
17. Distribución del crecimiento de las especies comerciales y no comerciales del bosque tratado (escenario 1) y grupos de crecimiento	51

18. Distribución del crecimiento de las especies comerciales del bosque testigo (escenario 2) y grupos de crecimiento	52
19. Distribución del crecimiento de las especies comerciales del bosque tratado (escenario 2) y grupos de crecimiento	52
20. Distribución del crecimiento por especie considerando los árboles seleccionados del bosque testigo (escenario 3) y grupos de crecimiento	53
21. Distribución del crecimiento por especie considerando los árboles seleccionados del bosque tratado (escenario 3) y grupos de crecimiento	53
22a. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 1 del bosque testigo	61
22b. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 1 del bosque tratado	62
23a. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 2 del bosque testigo	62
23b. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 2 del bosque tratado	63
24a. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 3 del bosque testigo	63
24b. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 3 del bosque tratado	64
25. Cambios en la estructura del escenario 1 del bosque testigo al final de cada periodo proyectado	68
26. Cambios en la estructura del escenario 1 del bosque tratado al final de cada periodo proyectado	69
27. Cambios en la estructura del escenario 2 del bosque testigo al final de cada periodo proyectado	69
28. Cambios en la estructura del escenario 2 del bosque tratado al final de cada periodo proyectado	70
29. Cambios en la estructura del escenario 3 del bosque testigo al final de cada periodo proyectado	70
30. Cambios en la estructura del escenario 3 del bosque tratado al final de cada periodo proyectado	71

SANCHEZ S., M.J. 1995. Estudio de crecimiento y rendimiento en un bosque secundario y su aplicación a la elaboración de un plan de manejo forestal, San Isidro-Costa Rica. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

PALABRAS CLAVES: Bosque natural secundario, manejo sostenible, tratamiento silvicultural, crecimiento y rendimiento, reclutamiento, mortalidad, modelo de proyección, regulación de la producción forestal, ciclo de corta.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el bosque natural secundario de el Pilar del Cajón, San Isidro-Costa Rica. El bosque cubre una superficie de 90 ha, y se encuentra en la tercera fase de sucesión secundaria, predominado por especies heliófitas durables y esciófitas.

El estudio tiene como objetivo general, desarrollar un modelo de proyección de crecimiento y rendimiento, y demostrar su uso para la planificación del manejo sostenible de un bosque natural. Para este cometido, se determinó el crecimiento diamétrico de las especies con y sin tratamiento silvicultural de liberación de árboles seleccionados, y las diferencias entre dichos tratamientos. Se identificaron que variables cualitativas y cuantitativas tienen mayor incidencia en el crecimiento de los árboles individuales. Se agrupó las especies de acuerdo a su velocidad y distribución del crecimiento diamétrico por tratamiento experimental. También se proyectó el crecimiento en forma de tablas de existencia para estimar el rendimiento futuro, ciclo de corta y corta anual permisible.

Se utilizó información proveniente de parcelas permanentes de muestreo que fueron establecidas en 1988 por el Proyecto CATIE/RENARM/Producción en Bosques Naturales (PBN). Estas unidades de muestreo son de 50x50 m divididas en 25 subparcelas de 10x10 m. Las variables medidas de los árboles individuales con $dap \geq 10$ cm fueron: especie, dap, diámetro superior del fuste comercial, altura comercial, calidad de fuste, clase de iluminación, forma de copa, y presencia de lianas.

De un total de 1469 árboles, 680 en las parcelas tratadas y 789 en las parcelas testigo, se ajustaron modelos de regresión para determinar el volumen comercial con y sin corteza en función del dap con corteza, para cada tratamiento experimental. Asimismo, se determinó el coeficiente mórfico para ambos tratamientos siendo este de 0,78.

Para los cálculos de crecimiento y rendimiento se utilizaron 8 parcelas permanentes, 4 testigos y 4 tratadas. Durante el periodo de observación directa, el crecimiento medio anual del conjunto de especies (comerciales y no comerciales) del bosque testigo fue de $0,52 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal y de

3,36 m³ ha⁻¹ en volumen, donde las especies comerciales crecen anualmente 0,30 m² ha⁻¹ y 2,09 m³ ha⁻¹. En cambio después de la aplicación del tratamiento silvicultural, el bosque tratado creció anualmente 0,46 m² ha⁻¹ y 1 m³ ha⁻¹, y las especies comerciales crecieron 0,22 m² ha⁻¹ y 0,47 m³ ha⁻¹.

Para estudiar el crecimiento en forma más detallada se agruparon las especies de acuerdo a su velocidad y distribución del crecimiento, generalmente se establecieron dos grupos de crecimiento y las especies más representativas son: especies de crecimiento rápido como la *Vochysia ferruginea* con un incremento mediano de 0,85 cm/año en el bosque testigo y de 1,39 cm/año en el bosque tratado, y especies de crecimiento lento como la *Virola* sp. con 0,13 cm/año en el bosque testigo y la *Persea* sp. con 0,28 cm/año en el bosque tratado. El tratamiento silvicultural fomentó el crecimiento de los árboles seleccionados del bosque tratado. Las diferencias de crecimiento entre tratamientos son significativas, aunque estas diferencias se van reduciendo con el paso del tiempo.

De las variables cualitativas medidas se encuentra que el grado de iluminación que recibe la copa, la forma de copa y la calidad del fuste son las que mayor influencia tienen en el crecimiento de los árboles. Asimismo, se observó que los árboles que al inicio presentan crecimiento rápido tienden a mantener este comportamiento en los siguientes años.

El número de árboles reclutas y muertos son casi iguales en las parcelas testigo, en cambio en las tratadas el reclutamiento es mayor a la mortalidad. La tasa anual de mortalidad en las parcelas testigo es de 5,4 % y en las tratadas de 5,6 %. Las especies con mayor reclutamiento son: *Licania* sp., *Ocotea* sp., *Vochysia ferruginea*, y *Virola* sp.

El modelo de proyección utilizado es por clase diamétrica y considera los principales componentes de la dinámica del bosque estudiado. Este modelo nos permitió predecir la futura productividad del bosque, el año aproximado de futura cosecha, y los cambios de composición en términos de grupos comerciales.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la proyección del crecimiento, el rendimiento medio anual estimado del bosque en los próximos 20 años será de: 0,33 m² ha⁻¹ de área basal y de 3,51 m³ ha⁻¹ de volumen en el bosque sin tratamiento silvicultural; en cambio, en el bosque tratado con tratamiento de liberación de árboles seleccionados será de 0,63 m² ha⁻¹ y de 4,5 m³ ha⁻¹. Asimismo, las especies comerciales crecerán en el orden de 0,26 m² ha⁻¹ de área basal y 2,24 m³ ha⁻¹ de volumen en el bosque testigo, y en el bosque tratado será de 0,27 m² ha⁻¹ y de 2,10 m³ ha⁻¹. El ciclo de corta estimado para el bosque tratado es de 25 años para aprovechar como mínimo 10 árboles por ha.

SANCHEZ S, M.J. A study of growth and yield in a secondary forest and its application in the elaboration of a forest management plan, San Isidro, Costa Rica.

Key words: secondary natural forest, sustainable management, silvicultural treatment, growth and yield, recruitment, mortality, projection model, regulation of forest production, cutting cycle.

SUMMARY

This study was done in the secondary natural forest of "Pilar de Cajon" , in San Isidro, Costa Rica. This forest, which covers an area of 90 ha, is in the third phase of secondary succession and predominated by long-lived light-demanding intolerants as well as shade-tolerant species.

The objective of the study is to develop a model for projecting growth and yield, and to demonstrate its use in planning for the sustainable management of a natural forest. In order to do this, diameter increments were determined for tree species found in permanent sample plots where individually selected trees were silviculturally treated through liberation. These were then compared to trees in untreated control plots. The qualitative variables which had the greatest influence on individual-tree growth were identified. The species were grouped according to growth rates and diameter growth distribution by experimental treatment. Growth was also projected in the form of stand tables in order to estimate future yield, cutting cycle and annual allowable cut.

The data source was information collected from permanent sample plots established in 1988 by the RENARM/Production from Natural Forests Project (PNF) and monitored annually, all of which is stored in PNF's database. The permanent sample plots are of 50 x 50m each and divided into 25 subplots of 10 x 10m each. The variables measured for each tree ≥ 10 cm dbh were: species, dbh, top diameter of commercial stem, commercial height, stem quality, crown illumination class, crown form, and woody climber infestation.

From a total of 1469 trees, 680 in silviculturally treated plots and 789 in untreated control plots, regression models were fitted to determine commercial volume above and below bark, as a function of diameter over-bark for each experimental treatment. A form-factor of 0.78 was also determined for both experimental treatments.

For the growth and yield calculations eight permanent sample plots (4 controls and 4 treated) were utilized. During the period of direct observation the mean annual increment of all species (commercial and non-commercial, grouped together) in the control plots was $0.52 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ in terms of basal area, and $3.36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in terms of volume. The commercial species have an annual growth of

0.30 m² h⁻¹ and 2.09 m³ ha⁻¹. On the other hand, after the application of the silvicultural treatment, all trees in the treated plots grew in the order of 0.46 m² ha⁻¹ and 1 m³ ha⁻¹, while commercial species grew 0.22 m² ha⁻¹ and 0.47 m³ ha⁻¹.

In order to study growth in more detail, species were grouped according to their growth rates and growth distribution. In general, two growth groups were established and the more representative species in each group were: species with rapid growth such as *Vochysia ferruginea*, with a mean annual increment of 0.85 cm in the control plots and 1.39 cm in the treated plots; species with relatively slow growth such as *Virola* sp. with a mean annual increment of 0.13 cm in the control plots and *Persea* sp. with 0.28 cm in the treated plots. The silvicultural treatment encouraged the growth of selected trees in the treated plots. The differences in growth rates between experimental treatments are significant, even though these differences are decreasing with the passage of time.

It was found that degree of crown illumination and stem quality were the qualitative variables which most influenced tree growth. It was also observed that trees which from the beginning presented rapid growth rates tend to maintain this behavior during the years that follow.

Ingrowth was almost equal to mortality in the control plots, but in the treated plots ingrowth was higher than mortality. The annual rate of mortality in the control plots is 5.4 % and in the treated it is 5.6 %. The species with the most ingrowth are: *Licania* sp., *Ocotea* sp., *Vochysia ferruginea*, and *Virola* sp.

The projection model utilizes diameter classes and takes into consideration the main components involved in the dynamics of the forest under study. The model allows us to predict the future productivity of the forest, the approximate year of future harvests, and the changes in composition in terms of commercial groups.

According to the results obtained from the projection, the estimated mean annual yield of the forest in the next twenty years will be 0.33 m² ha⁻¹ in terms of basal area, and 3.51 m³ ha⁻¹ in terms of volume in the untreated control plots. On the other hand, in the silviculturally treated plots it will be 0.63 m² ha⁻¹ and 4.5 m³ ha⁻¹. More specifically, the commercial species in the untreated plots will grow in the order of 0.26 m² ha⁻¹ in terms of basal area, and 2.24 m³ ha⁻¹ in volume, while in the silviculturally treated plots these same species will grow 0.27 m² ha⁻¹ and 2.10 m³ ha⁻¹. The estimated cutting cycle for the treated forest is twenty-five years in order to be able to harvest a minimum of ten trees per hectare.

1. INTRODUCCION

Al finalizar el presente siglo, la humanidad siente los cambios que se están produciendo en el medio ambiente por la explotación irracional de los recursos naturales renovables y no renovables, siendo los bosques húmedos naturales tropicales los más afectados.

En muchos países del trópico los bosques secundarios cada vez tienen mayor importancia para la conservación de la biodiversidad y la producción sostenida del recurso forestal. Su presencia en Costa Rica se debe principalmente a la crisis económica en la ganadería en la década de los 60, y el subsiguiente abandono de tierras.

A pesar de ser una masa boscosa de reciente interés, existen organismos e instituciones que han volcado sus esfuerzos para investigar estos bosques, porque constituyen una fuente de futura producción de productos maderables para la humanidad. Dada esta situación, es urgente iniciar el manejo sistemático (ordenación) de los bosques naturales, aunque no se cuente todavía con la información suficiente, y desarrollar metodologías útiles y prácticas para la planificación del uso racional y sostenido del recurso, y que permitan mostrar: a) Como identificar y montar un programa para generar las informaciones básicas necesarias, b) como hacer proyecciones a pesar de la carencia de información y c) como implementar el manejo de los bosques intervenidos y secundarios, en base a la información generada.

El CATIE por intermedio de sus proyectos de bosques naturales en convenio con diferentes organismos ha venido generando información de estos bosques, que son de gran utilidad para estudiar el comportamiento, realizar proyecciones hacia el futuro y determinar la importancia de dicha información para orientar la programación de actividades silviculturales y de producción.

A pesar de tener gran importancia y como consecuencia del enfoque cortoplazista, en muchos casos y países del trópico no se considera el crecimiento ni las proyecciones futuras del rendimiento para las actividades forestales. Esta falta de visión o planificación conlleva a cometer errores y hacer solo uso de estimaciones y aproximaciones, cuyos resultados se reflejan en el manejo no eficiente y baja productividad de los bosques.

En este sentido el estudio de crecimiento y rendimiento del bosque secundario de Pilar del Cajón, Pérez Zeledón - Costa Rica por medio de informaciones recolectadas desde el año 1988, se constituye en una herramienta que permitirá realizar comparaciones entre un bosque tratado silviculturalmente y un no tratado, en lo referente a: a) La cuantificación de la producción forestal, b) proyección de la producción futura, c) programar actividades de aprovechamiento sin comprometer la producción futura, d) planificación de las intervenciones silviculturales, y e) a establecer una manera de enfocar los problemas para generar la información necesaria, y formular una metodología para permitir confrontar y solucionar dichos problemas en forma eficaz y práctica para planificar el manejo en bosques poco conocidos utilizando las pocas informaciones disponibles.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

General:

Desarrollar un modelo de proyección de crecimiento y rendimiento, y demostrar su uso para la planificación del manejo sostenible de un bosque natural.

Específicos:

1. Determinar el crecimiento diamétrico de las especies que forman parte del bosque natural secundario de Pilar del Cajón con y sin tratamiento silvicultural de liberación de árboles seleccionados, y las diferencias entre dichos tratamientos experimentales.
2. Identificar que variables independientes tienen incidencia en el crecimiento de los árboles individuales (diámetro inicial, calidad del fuste, forma de copa, grado de iluminación, y presencia de lianas).
3. Agrupar las especies de acuerdo a su velocidad y distribución del crecimiento diamétrico por tratamiento silvicultural y escenarios de comparación.
4. Proyectar el crecimiento en forma de tablas de existencia para estimar el rendimiento futuro, ciclo de corta y corta anual permisible de la masa arbórea.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1. Los bosques secundarios: estructura, composición, y dinámica.

Los bosques secundarios son definidos como la vegetación leñosa que se desarrolla sobre sitios abandonados cuya vegetación original ha sido completamente destruida por la actividad humana (Finegan, 1992).

La estructura del bosque natural secundario en relación al primario es diferente, a medida que el bosque secundario alcance la madurez su estructura estará constituida por individuos de varios tamaños, siendo un elevado porcentaje de árboles de clase diamétrica inferior y va decreciendo hasta los árboles de diámetros grandes, de manera que su distribución diamétrica (tamaño) es en forma de una "jota invertida", es decir que conforme pasa el tiempo su estructura va cambiando (Lamprecht, 1990).

Su composición florística varía de acuerdo a la etapa sucesional en que se encuentra el bosque, debido a que es un proceso natural continuo de cambios en la vegetación, fauna, suelo y microclima en un sitio conforme pasa el tiempo, ocasionado por el hombre o por eventos naturales (Budowski, 1963; Gómez-Pompa y Ludlow-Wiechiers, 1976; y Spurr, 1964).

La dinámica del bosque natural secundario se describe a través de tres fases de desarrollo bien definidas (Finegan, 1992), que son:

I Fase

El sitio después de su abandono es colonizado por especies pioneras herbáceas y arbustivas, simultáneamente se establecen especies de otros grupos ecológicos, la duración de esta fase oscila entre 2 a 5 años.

II Fase

Se reduce la presencia de especies herbáceas y arbustivas, se establece una comunidad de baja riqueza florística y dominada por una o pocas especies arbóreas de heliófitas efímeras que forman un bosque de estructura simple, con ausencia de diámetros grandes, su permanencia es variable de 10 a 20 años o más (Budowski, 1963; Becerra, 1971; Fontaine, 1980; Finegan y Sabogal, 1988; Finegan, 1994).

III Fase

Las especies heliófitas efímeras desaparecen y se produce la ocupación de especies heliófitas durables generalmente de valor comercial, se estima que la dominancia de las heliófitas durables en esta fase dura hasta su senectitud y son remplazadas por esciófitas que se están desarrollando simultáneamente bajo el dosel superior del bosque (Baur, 1964; Becerra, 1971; Finegan y Sabogal, 1988; y Finegan, 1994).

3. 2. Manejo del bosque natural secundario

El manejo forestal puede definirse como el conjunto de actividades que permiten la organización de la producción forestal sobre la base del rendimiento sostenido, cuyo objetivo es mantener el ecosistema forestal y sus funciones de protección del medio ambiente y producción de bienes (Luna, 1978; Mata y Quevedo, 1994; Quirós y Finegan, 1994).

En cambio Schmidt (1989) afirma, que el manejo de bosques naturales consiste en definir y proteger una área boscosa , planificar los objetivos de producción, regular y controlar el aprovechamiento de madera y aplicar medidas silviculturales cuando sea necesario para sostener la producción, de manera tal, que se mantenga o incremente el valor de las futuras cosechas.

Las operaciones de manejo de un bosque secundario deben basarse en un entendimiento de su ecología y potencial, y no en modelos propuestos y recetas mecánicas. Desde un punto de vista práctico, un plan de manejo debe ser: simple, actual, objetivo, preciso y realista (Hutchinson, 1994; Manzanilla, 1985).

La estabilidad productiva del bosque secundario es factible a través de la planificación y ejecución de labores silvícolas específicas, que mantengan la sucesión en estado económicamente deseado (Lamprecht, 1990).

3.2.1. Tratamientos silviculturales

Un tratamiento silvicultural se define como el conjunto de operaciones o actividades, cuyo propósito es dirigir el bosque hacia los objetivos de manejo (Hutchinson, 1993). En cambio Whitmore (1991), los considera como manipulaciones del bosque para favorecer algunas especies o árboles seleccionados en base a sus aptitudes para uso comercial.

Estas operaciones deben ser fáciles de aplicar y se agrupan en: a) tratamientos del suelo, b) plantaciones de remplazo o complementación, c) apertura del dosel, d) limpieza de sotobosque, e) liberación de árboles seleccionados, f) raleo, y g) refinamiento (Hutchinson, 1994).

Uno de los objetivos de la silvicultura cuando el manejo de un bosque se realiza por medio de la regeneración natural es la modificación de la composición y estructura del bosque, de manera que se disminuya la competencia sobre los árboles de valor comercial (seleccionados) y se incremente la iluminación que reciben. Según Hutchinson (1975) este objetivo se logra a través de la liberación de dichos árboles.

3.2.1.1. Liberación de árboles seleccionados

El objetivo fundamental de esta operación es liberar la competencia lateral y vertical que puede tener un árbol seleccionado (Hutchinson, 1994), con el fin de fomentar el crecimiento de dichos árboles y es aplicable a rodales residuales o constituidos por árboles jóvenes.

Un árbol para ser seleccionado debe cumplir los siguientes requisitos: pertenecer a una especie comercializable, tener fuste completo y como mínimo 4 m. rectos sin defectos, y contar con una copa completa y vigorosa.

3.2.2. Ciclo de corta

Santillan (1986) define ciclo de corta como el intervalo de tiempo que transcurre entre dos aprovechamientos sucesivos hechos a un mismo bosque. La duración del ciclo de corta depende de diferentes factores, como: la tasa de crecimiento, tipo y tamaño del producto requerido, periodo e intensidad de la ordenación y las limitaciones de orden económico.

Una posibilidad de estimar el ciclo de corta en un bosque primario con un alto grado de seguridad, es por medio de una evaluación sistemática del crecimiento del bosque remanente después del primer aprovechamiento. En cambio, en un bosque secundario se requiere conocer además del estado actual del bosque, el crecimiento del bosque, y de las especies que son comercializables y que cuentan con un mercado asegurado.

3.2.3. Regulación de la producción

Para obtener un rendimiento sostenible del bosque, se debe regular la producción a través de la organización y control sobre bases cuantitativas de las interacciones silvícolas. Se debe buscar un equilibrio entre el rendimiento y la producción del bosque, de manera que se reduzca y/o evite la sobreexplotación del bosque (Leuschner, 1990; Luna, 1978). La regulación puede realizarse por medio de la determinación de la posibilidad silvícola o corta anual permisible, establecimiento del diámetro mínimo de corta, y otros factores como la capacidad productiva de una industria o grupo social.

La posibilidad de corta es el volumen de madera que es posible extraer anual o periódicamente de un bosque, existiendo diferentes relaciones matemáticas para su determinación, muchas de ellas toman en cuenta variables de crecimiento e información proveniente de inventarios forestales.

Frecuentemente el criterio principal para su determinación se basa en el ciclo de corta adoptado o a adoptar y en la estimación del volumen total actual de madera, donde necesariamente se tiene que considerar el diámetro mínimo de corta.

Para establecer un diámetro mínimo de corta deben considerarse tres aspectos básicos: la rentabilidad de los aprovechamientos forestales en relación con el mercado, la distribución diamétrica, y la tasa de crecimiento de las especies (Alder, 1992; Luna, 1978).

Es importante destacar que cuando no se tiene suficiente información se debe tomar en cuenta los diámetros máximos característicos de cada especie y que tengan la posibilidad de producir madera sana para la venta, y que dichas especies tengan por lo menos una floración para asegurar la regeneración de la misma.

En resumen, es perfectamente notable que existe la necesidad de generar información de crecimiento y rendimiento de los bosques naturales del trópico, para la planificación de su manejo sostenible.

3.3. Crecimiento y rendimiento de los bosques naturales tropicales.

El crecimiento es el aumento de tamaño que presentan los organismos conforme pasa el tiempo (Finegan, 1994). Kozlowski (1962), define al crecimiento como la variación del tamaño de un individuo por unidad de tiempo y su cuantificación se denomina incremento. En cambio el rendimiento es la cantidad de algo producido al final de un periodo determinado.

Es importante hacer mención que el crecimiento está representado por diferentes tipos de incremento, así por ejemplo se tiene:

El incremento corriente anual, es el crecimiento que logra un árbol o una población en el curso de un año. En cambio, el incremento medio anual, es el promedio anual del incremento total; se obtiene dividiendo las dimensiones de un árbol o una población entre su edad.

También se cuenta con el incremento periódico, que es el crecimiento en un tiempo determinado, y el incremento periódico anual es el promedio anual del incremento periódico, generalmente a este último se lo denomina incremento medio periódico.

La mejor forma de expresar el crecimiento es a través de los incrementos de diámetro y área basal, debido a que existe menos probabilidad de sobrestimar o subestimar el incremento; lo contrario sucede con el volumen, por la dificultad de medir en forma exacta la altura total de los árboles y restar en forma realista defectos y deformaciones, así p. e. Lemmon y Schumacher (1962), Newnham (1966), Rudra y Filmer (1970), Lanford y Cunia (1977), Hahn y Leary (1979) citado por Mohd (1988) y Alder (1992), utilizan frecuentemente el incremento diamétrico. En cambio, Opie (1968, 1972), Moore *et al* (1973), Quicke *et al* (1994) hacen uso del área basal en sus estudios de crecimiento y rendimiento. Asimismo Hutchinson y Wadsworth (1995) utilizan el incremento en porcentaje de área basal.

Actualmente no existe fundamento que permita explicar cuando y porque usar incremento diamétrico y/o de área basal, algunos autores justifican el uso de incremento de área basal, debido a que es una variable de respuesta que presenta un coeficiente de determinación (R^2) más alto que el diámetro (Vanclay, 1994).

Dada la abundancia de especies forestales que tiene el bosque húmedo tropical, y con el objetivo de facilitar la interpretación de resultados obtenidos en trabajos de crecimiento y rendimiento y otros relacionados a este entorno, es necesario realizar agrupamiento de especies según sus características biológicas, económicas y ecológicas (Hutchinson, 1989; Whitmore, 1984).

El crecimiento en los bosques secundarios es considerable en las primeras fases de sucesión, con el paso del tiempo y desarrollo este decrece, y se aproxima a los valores de una bosque primario (Whitmore, 1984; Lamprecht, 1990). Algunos estudios de caso en Costa Rica muestran como varia la productividad y el crecimiento de un bosque secundario dependiendo de la edad y el sitio (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de árboles, área basal, volumen, incremento medio anual de área basal y volumen para árboles con dap \geq 10 cm..

Localidad	Edad (años)	N (ha^{-1})	G ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	IG ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	IV ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
Sarapiquí	20	511-707	21-27,5	130,2-150,9		
Florencia	25	412-566	14,5-23,6	83,3-142,9		
Sarapiquí	25		24,0		1,0*	2,3-7*

* Incremento medio anual.

Fuente: Guillen (1993), Finegan (1992).

Los factores que mayor incidencia tienen en el crecimiento a nivel de rodal entero son los de sitio: la influencia de tratamientos silviculturales, temperatura, precipitación, humedad relativa del ambiente, composición físico-química del suelo, humedad del suelo, drenaje y nivel de la capa freática; A nivel de árbol individual son: la luz y la competencia.

La luz solar es quizás el factor de mayor influencia en el crecimiento de los árboles dentro de un rodal determinado (Kozlowsky, 1978; Finegan, 1994). Las especies forestales, dependiendo del grupo ecológico a que pertenecen tienen sus requerimientos específicos de luz para su establecimiento y desarrollo (p.e. heliófitas, esciófitas o intermedias) como norma, pero no se descarta una cierta flexibilidad en este sentido. Estudios realizados muestran una fuerte relación entre la tasa de crecimiento con la cantidad de luz solar que recibe la copa del árbol (Siteo, 1992), y la capacidad de utilizarla.

La competencia es una interacción entre individuos que comparten el uso de un recurso de disponibilidad limitada, conduciendo a una reducción del crecimiento, la reproducción y supervivencia de los individuos que compiten (Begon *et al* , 1986).

En la primera fase de sucesión del bosque secundario no se presenta competencia entre especies arbóreas, pero si cuando se cierra el dosel, a mayor competencia, existe mayor mortalidad de los árboles suprimidos mientras aumenta el crecimiento de los árboles de mayor tamaño.

La competencia tiene mucha importancia en el crecimiento, pero su control es factible con tratamientos silviculturales (Husch *et al* , 1982). Actualmente existen diferentes maneras de expresar la competencia en estudios cuantitativos, que van de lo sencillo a lo complejo. Alder (1983) lo expresa como la razón entre el área basal de un árbol por la cantidad de área basal de una parcela, y Faber (1991) lo representa por ecuaciones con múltiples factores (p.e. distancia entre árboles, copa, raíces, etc.).

En bosques poco conocidos y con insuficiente información técnica, el crecimiento puede ser estudiado por medio del conteo directo y medición de los anillos anuales, pero dada la poca variación estacional que se presenta en el bosque húmedo tropical, se dificulta la identificación de las mencionadas características anatómicas. Otra método de investigación es el propuesto por Dawkins (1958) a través de mediciones intensivas, aunque en periodos cortos de observación estas mediciones son poco confiables para realizar predicciones o proyecciones del crecimiento.

En este sentido las mediciones anuales o periódicas provenientes de parcelas permanentes de muestreo tienen mayor precisión y pueden ser empleadas con alto grado de confianza en estudios de crecimiento y rendimiento, aunque el principal inconveniente es el mantener las parcelas y contar con series de mediciones de por lo menos cinco años.

3.3.1. Modelos de crecimiento y rendimiento

Un modelo se define como la representación de la relación entre algo formalmente definido en cantidad o calidad (Jeffers, 1982), y mientras menos complejo y más eficiente sea la estructura de un modelo mayor será el entendimiento de los fenómenos e interrelaciones que ocurren entre organismos y factores externos.

La representación del grado de desarrollo de los árboles, por medio de sus variables cuantitativas y cualitativas anotadas conforme pasa el tiempo, en función de los factores que influyen, se denomina como modelo de crecimiento de un bosque. Alder (1983) y Meldahl *et al* (1985) concuerdan en afirmar que el crecimiento y rendimiento de los bosques pueden ser modelados en tres niveles básicos: rodal completo, clase diamétrica y árbol individual. Asimismo, dentro del campo forestal existen dos tipos de modelaje: los de crecimiento que proyectan el estado futuro de un parámetro determinado de un rodal, y los de rendimiento que predicen la cosecha futura de madera .

Uno de los métodos más prácticos y sencillos para proyectar el crecimiento de un bosque con reducida información descriptiva y técnica, es el denominado "Tiempo de paso o transición" (time of passage) que se basa en la determinación del tiempo que un árbol o grupo de árboles necesita para crecer de una clase diamétrica inferior hasta la clase diamétrica inmediata superior (Vanclay ,1994; Alder, 1992; Klepac 1986; y Mendoza, 1983), frecuentemente es confundido con el tiempo de permanencia de un árbol o grupo de árboles en una clase diamétrica determinada.

Asimismo, dentro de este método se distingue el tiempo de paso individual y el tiempo de paso medio, el primero se obtiene por el análisis de una muestra y el valor promedio de los tiempos de paso individuales se le denomina tiempo de paso medio. La proyección con este método considera el incremento promedio para cada especie y clase diamétrica y su precisión aumenta a medida que se tome en cuenta las clases diamétricas más pequeñas y menor rango de clase de diámetro.

Cabe hacer notar que existen otros métodos para proyectar el crecimiento como: las matrices de transición de Markov y los modelos de regresión, que para su aplicación es necesario contar con información más detallada y su complejidad en muchos casos limita su aplicación práctica dentro de la planificación de los bosques naturales del trópico.

Para un modelo dinámico es necesario considerar principalmente dos factores adicionales al crecimiento: a) la mortalidad , y b) el reclutamiento, para evaluar sus efectos en conjunto sobre una población, cuyo tamaño se desea saber en el futuro.

3.3.1.1. Mortalidad

Vanclay (1994) y Shugart (1984) concuerdan en afirmar que la mortalidad natural de los árboles se divide en dos categorías: la regular y catastrófica, las cuales son una consecuencia de tres procesos:

Primero.- Los árboles dependiendo de su estado (tamaño, copa, iluminación, etc.) tienen una probabilidad de muerte que es relacionada con una disminución de su tasa de crecimiento.

Segundo.- La mortalidad es mayor cuando el crecimiento de un árbol está por debajo de cierto crecimiento mínimo. La razón de este incremento de mortalidad para árboles de bajo crecimiento es que tiene pocas reservas de fotosintatos para defenderse de las enfermedades y reparar los daños de su estructura.

Tercero.- Otra fuente de mortalidad de los árboles es episódica (incendios naturales, huracanes, inundaciones, plagas y enfermedades, etc.).

Para un grupo de individuos todos nacidos al mismo tiempo o dentro de un periodo determinado - "cohorte" (Finegan, 1994), la mortalidad puede ser obtenida en base a información proveniente de parcelas permanentes de muestreo y puede elaborarse una tabla de vida que considere los sobrevivientes después de un determinado tiempo. Asimismo, este proceso es factible a través del monitoreo directo de dichas unidades de muestreo.

La supervivencia basada en el logaritmo de N (número de individuos) en función del tiempo, puede ajustarse a tres tendencias posibles, de acuerdo a su forma se plantea que: si es una curva de forma convexa, representa un cohorte donde ningún individuo muere antes de alcanzar la senilidad; una recta semilogarítmica, indica la supervivencia donde la tasa de mortalidad es constante; y una curva cóncava, representa un elevado porcentaje de mortalidad en las etapas juveniles (Finegan, 1994).

Estudios realizados muestran que por lo general, la mortalidad de los árboles de los bosques tropicales se ajusta al segundo de estos tres modelos (Lieberman & Lieberman, 1987).

3.3.1.2. Reclutamiento

El reclutamiento es un proceso por el cual un individuo ingresa a una población o a la clase diamétrica menor en el caso de árboles, desde donde se quiere dar seguimiento al desarrollo del mismo durante un periodo determinado, generalmente este proceso de reclutamiento se determina a través de conteos directos.

3.4. Funciones y características de las parcelas permanentes de muestreo.

Las parcelas de muestreo permanente son unidades de muestreo útiles para monitorear los bosques naturales y plantaciones forestales, y en los bosques tropicales poco conocidos y estudiados brindan información valiosa sobre tasas de crecimiento y comportamiento de dichos bosques (Hutchinson, 1982). Asimismo, sirven para estimar las relaciones entre las variables individuales de los árboles y sus incrementos, además pueden usarse para proyectar y estimar futuros rendimientos (Synnott, 1979; Alder y Synnott, 1992).

Para el establecimiento de estas unidades se deben considerar tres aspectos principales: a) el número de parcelas, b) la forma y tamaño y c) la codificación o numeración, para describir las variables a anotar y facilitar el procesamiento de los datos.

El tamaño y forma de las parcelas de muestreo permanente depende de: a) los objetivos para los que se quiere establecer, b) la precisión requerida, c) los costos, d) la variabilidad del bosque (Synnott, 1979; Alder y Synnott, 1992), y e) el tipo de bosque.

Para fines de investigación de crecimiento en bosques naturales, las parcelas cuadradas son las más recomendables, por las siguientes razones:

- Las parcelas cuadradas con una distribución apropiada dentro del bosque, pueden alcanzar menores errores de muestreo que las rectangulares y en fajas (Dawkins, 1952), debido a que tienen menor perímetro que los rectángulos y fajas, por lo tanto se reducen los costos, errores de demarcación y mantenimiento (Synnott, 1979).
- Son fáciles de diseñar, y menos afectadas que las parcelas en fajas por interferencias de vías de extracción, reduciéndose de esta manera el sesgo.

En cambio el tamaño está relacionado directamente con el tipo de bosque donde se va implementar estas unidades de muestreo. Según Hutchinson (1993) las parcelas de un 0,25 de ha son suficientes en un bosque secundario, aunque Brown y Lugo (1990) utilizaron áreas de 0,5 ha para realizar investigaciones en bosques secundarios, en cambio Synnott (1979) recomienda parcelas de 1 ha para bosques primarios.

3.4.1. Selección de variables a medir

Las variables a medir en las parcelas permanentes de muestreo deben ser las necesarias para satisfacer los objetivos de su establecimiento.

Los cambios dinámicos de un individuo o una población vegetal sin déficit hídrico y edáfico limitante en el tiempo, son determinados por factores como: la condición del sitio, iluminación solar, y espacio (densidad) (Alder, 1983; Finegan, 1994).

La luz es quizás el factor que mayor influencia tiene en el crecimiento de un árbol y las especies forestales del bosque natural tropical, dependiendo de su grupo ecológico tienen diferentes requerimientos de luz para su establecimiento y desarrollo (Finegan, 1992).

Basándose en estos antecedentes se puede definir las variables a tomar en cuenta en las mediciones para determinar el crecimiento y rendimiento de un bosque natural tropical, siendo en el presente caso:

a) Diámetro a la altura del pecho.

Este diámetro es medido a 1,3 m arriba de la superficie del suelo para árboles sin aletones o con aletones de menos de 1 m de altura, también es denominado como diámetro normal (Cailliez, 1980; Romahn de la Vega *et al.*, 1994). En casos de árboles con gambas arriba de 1,3 m se toma el diámetro 30 cm arriba del inicio de la gamba más alta.

b) Altura comercial.

La altura comercial de un árbol es la longitud entre la base del árbol hasta la primera ramificación de la copa o base de la copa (Cailliez, 1980; Bruce y Schumacher, 1965). Sin embargo, se debe tener en cuenta que no siempre toda esta longitud es comercial, en este caso debe definirse una altura comercial neta descontando daños y deformaciones, pero esto está supeditado al tipo de producto que se desea obtener del árbol (Romahn de la Vega *et al.*, 1994).

c) Grado de iluminación que recibe la copa.

Para evaluar esta variable Hutchinson (1982) adaptó de Dawkins (1958), una escala para medir la intensidad de luz de acuerdo a la naturaleza de la iluminación de la copa, factor que tiene implicaciones en la tasa de crecimiento de los árboles (Figura 1).

d) Forma de copa.

La fuente principal de carbohidratos que conforman los fustes es la copa, siendo por lo tanto importante considerar esta área fotosintética. Asimismo, la forma de la copa representa el vigor, poder y capacidad recuperativa de un árbol a un tratamiento silvicultural. En este sentido Hutchinson (1982) presenta una clasificación de esta variable (Figura 2).

e) Presencia de lianas.

La presencia de estas trepadoras leñosas en las copas podría tener efectos negativos en el crecimiento de los árboles, por poner las hojas de un árbol en la sombra de las hojas de las trepadoras, y puede causar daños y deformaciones en el fuste. Hutchinson (1975) presenta una escala para evaluar el grado de infestación de lianas como se muestra en el Cuadro 2.

En este caso existen otras clasificaciones propuestas por diferentes autores como Clark y Clark (1990) y Synnott (1979), las que pueden ser ajustadas de acuerdo al tipo de bosque en estudio.

Cuadro 2. Clasificación de infestación de lianas, Hutchinson (1975).

TREPADORAS LEÑOSAS	CODIGO
A. Ninguna visible en el fuste:	
a) No visibles en la copa	1
b) Existe en la copa	2
c) Cubre el 50 % de la copa	3
B. Suetos en el fuste:	
a) No visible en la copa	4
b) Existe en la copa	5
c) Cubre 50 % de la copa	6
C. Apretando el fuste:	
a) No visible en la copa	7
b) Existe en la copa	8
c) Cubre 50 % de la copa	9

f) Calidad de fuste

Siendo una variable preponderante para determinar la capacidad industrial de los árboles en un bosque para fines de producción de madera para aserrio, Hutchinson (1975) implementó una metodología para clasificar los árboles según la calidad de la mejor troza, que distingue los árboles con capacidad de producir por lo menos una troza (4 m) de los que no poseen dicha capacidad (Figura 3), siendo esta una manera rápida de llegar a aproximaciones sobre la producción potencial de un bosque.

g) Clase de identidad

Una manera de identificar el estado actual de un árbol dentro del bosque es por medio de su código de identidad, este refleja si un individuo es un árbol, o rebrote, además del estado de su fuste y tocón. El Cuadro 3 muestra los principales códigos para árboles con $dap \geq 10$ cm. de la escala propuesta por Hutchinson (1982) para evaluar el estado de un individuo y determinar su identidad.

Cuadro 3. Clasificación de clase de identidad, Hutchinson (1982).

CLASE DE IDENTIDAD	Fuste		Tocón		No Encontrado
	Completo	Quebrado	Quebrado	Cortado	
ARBOLES: (≥ 10 cm. dapcc)					
Subparcela 10x10 m.					
Arb. vivo en pie	111	112	113	114	119
Arb. vivo inclinado $< 29^\circ$	121	122			129
Arb. vivo inclinado $\geq 30^\circ$	131	132			139
Fuste curvado (media luna)	141	142			149
Arb. vivo caído	151	152	153		159
Arb. muerto en pie	161	162	163	164	169
Arb. muerto caído	171	172	173		179
REBROTOS: > 10 cm. dapcc)					
Reb. vivo en pie	211	212	213	214	219
Reb. vivo inclinado $< 29^\circ$	221	222			229
Reb. vivo inclinado $\geq 30^\circ$	231	232			239
Reb. vivo caído	241	242	243		249
Reb. muerto en pie	251	252	253	254	259
Reb. muerto caído	261	262	263		269
FUSTE: Altura total mayor que 4 metros.					
TOCON: Altura total menor que 4 metros.					

ILUMINACION DE COPA

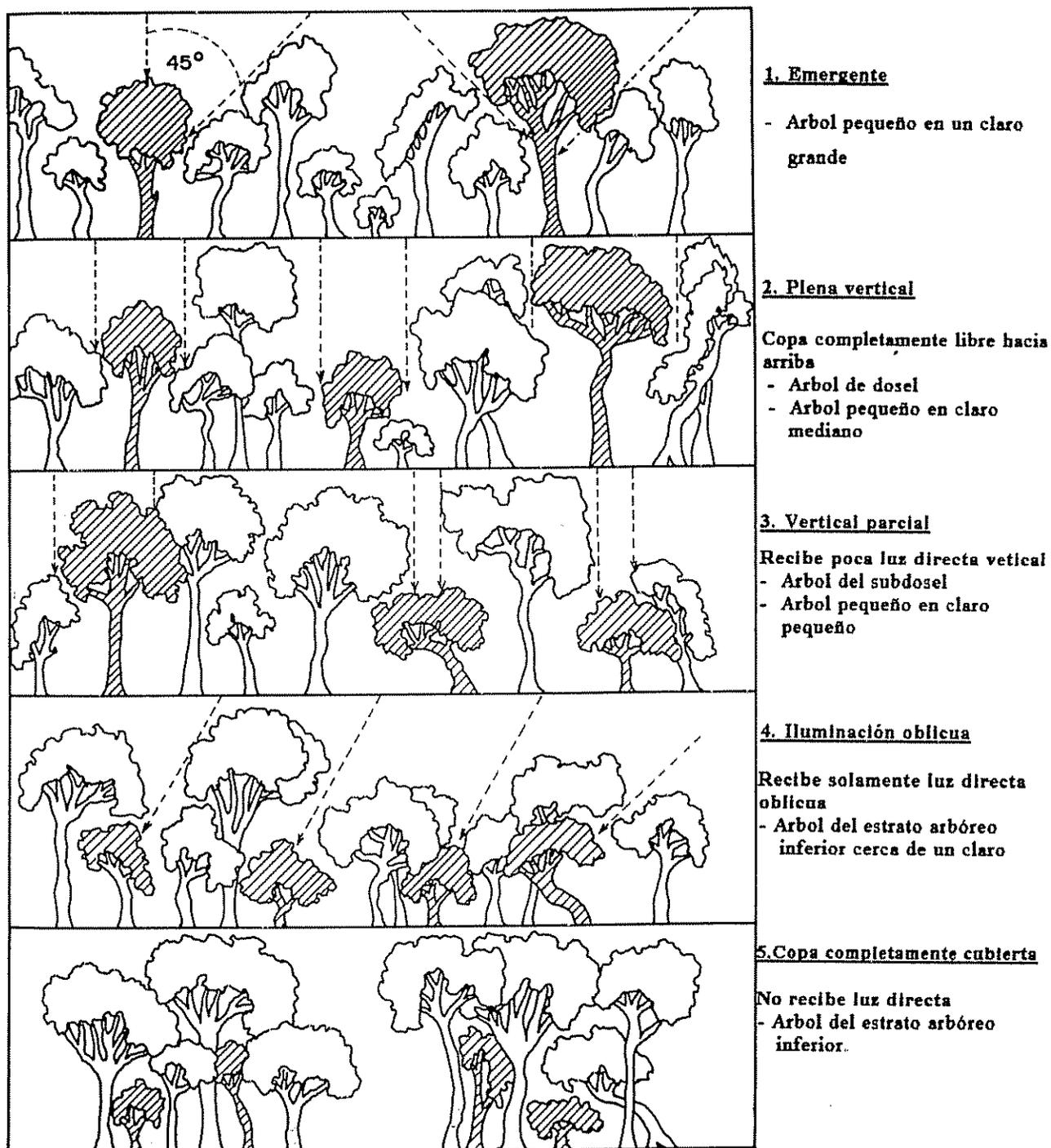


Figura 1. Clasificación de clase de iluminación de copa

Adaptado por I. Hutchinson: Uganda Silvicultural Research Plan 1959-1963

FORMA DE COPA

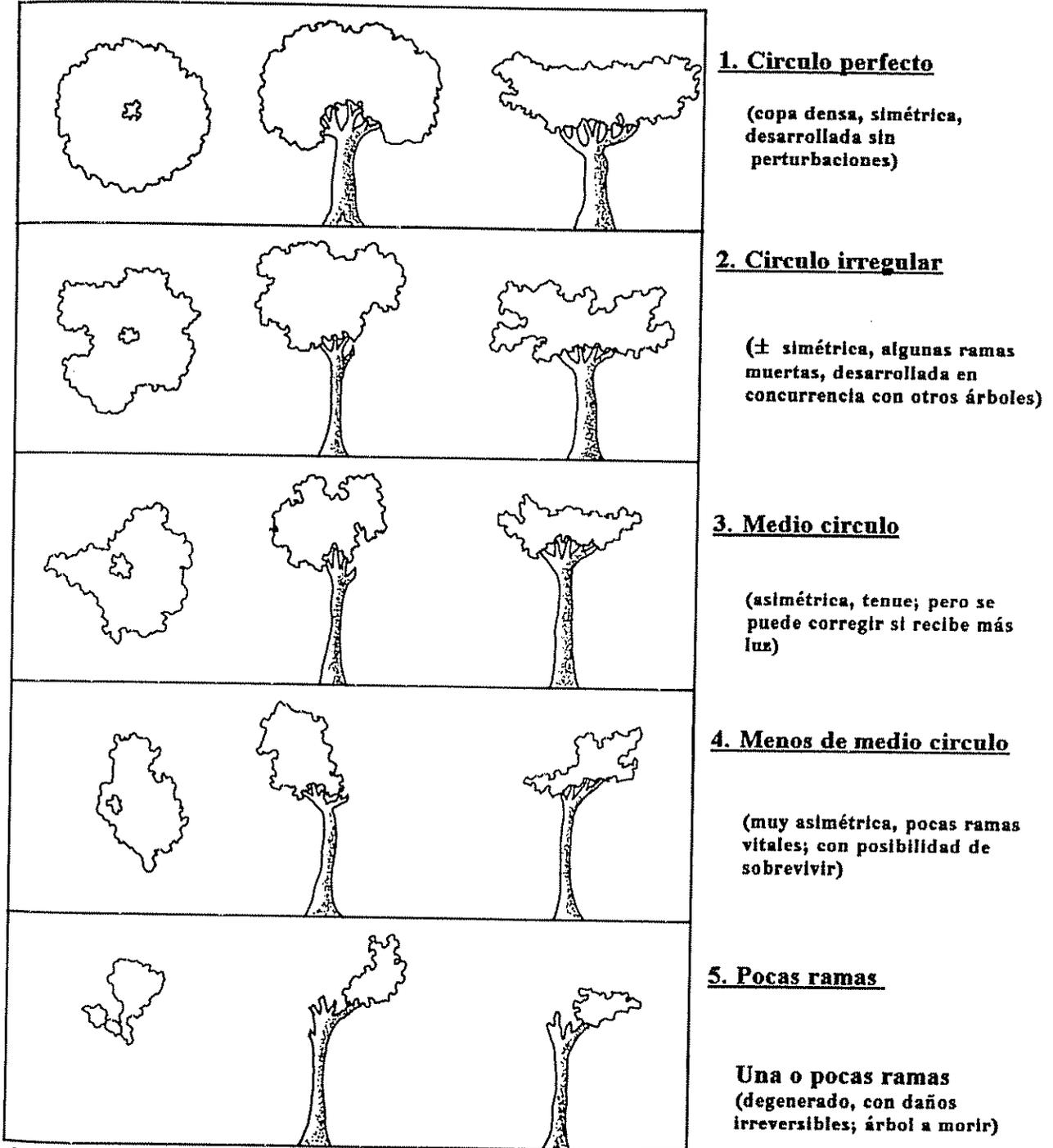


Figura 2. Clasificación de forma de copa

Adaptado por I. Hutchinson: Uganda Silvicultural Research Plan 1959-1963

CALIDAD DE FUSTE

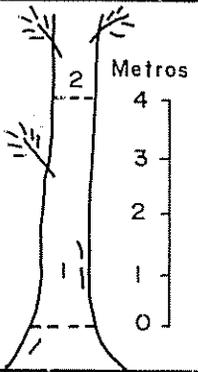
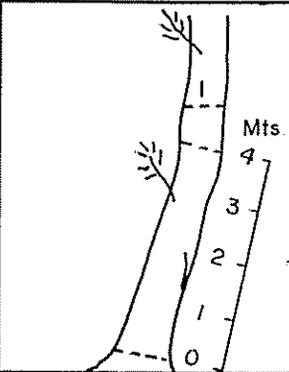
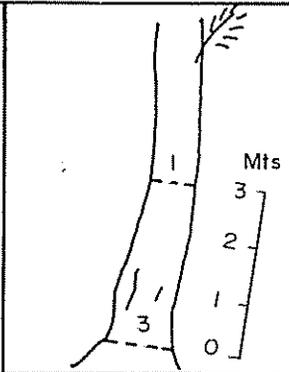
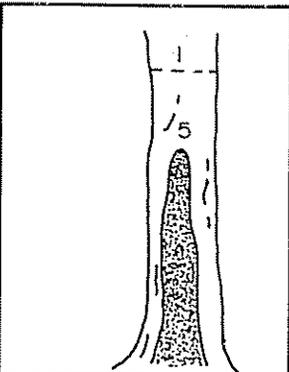
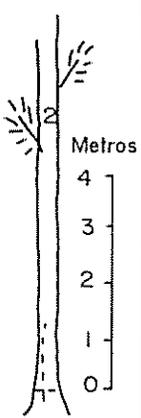
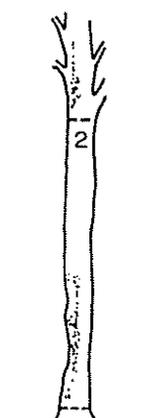
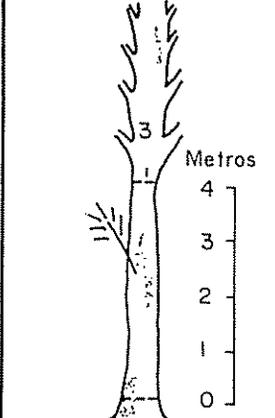
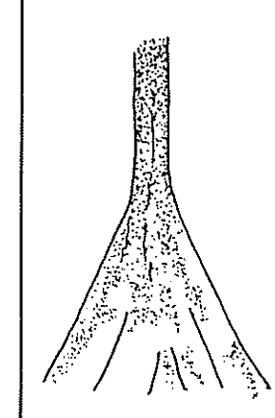
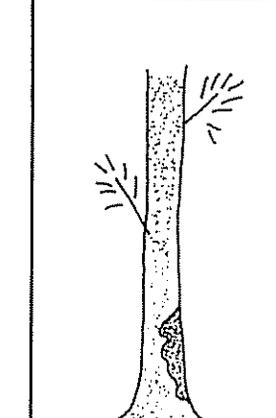
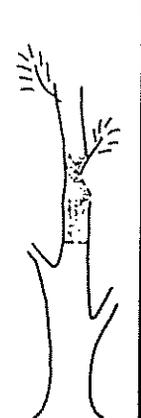
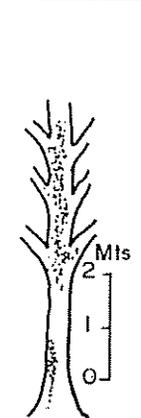
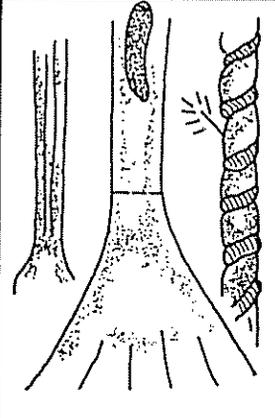
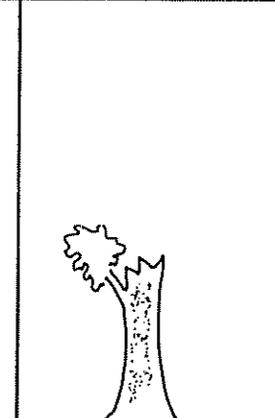
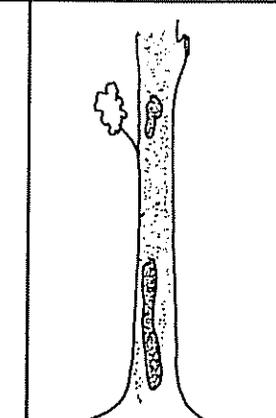
							
Clasificación del árbol		Actualmente maderable 1		1		1	
							
2	2	Clasificación del árbol 2		Potencialmente maderable 2		2	
							
2	Deformado 3	Clasificación del árbol		Dañado 4		Podrido 5	

Figura 3. Clasificación de fuste (Hutchinson, 1987).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el bosque secundario de Pilar del Cajón, ubicado aproximadamente a 17 km Sur de San Isidro del General en el Cantón Pérez Zeledón, correspondiente a la vertiente del Pacífico Sur de Costa Rica (Figura 4), su punto geográfico es de 9° 21' de Latitud Norte y 83° 42' de Longitud Oeste.

El bosque cuenta con una superficie de 180 ha, dividido en dos bloques de 90 ha, el presente trabajo se realizó en el sitio denominado la Sandia (Figura 5).

Antecedentes:

Aproximadamente en la década de los 50 los pastos sembrados en el sitio descrito que fue bosque se abandonaron, esto permitió el surgimiento del bosque secundario que actualmente cuenta con una edad aproximada de 40 años.

El bosque es de propiedad del Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), quienes arrendaron el área a Coopemadereros R. L. de San Isidro. Desde 1988, como resultado de un convenio entre estas entidades y el CATIE, se establecieron parcelas de muestreo permanente con fines de investigación silvicultural.

Es necesario hacer mención que en el año 1990 este bosque fue azotado por vientos huracanados que ocasionaron daños que actualmente se encuentran en recuperación y restablecimiento. Asimismo, en 1991 parte del bosque fue sometido a un aprovechamiento de especies comerciales con diámetro mínimo de corta de 50 cm.

Como producto de trabajos realizados en el área, se cuenta en la actualidad con una base de datos y estudios sobre: "Investigación aplicada al manejo del bosque natural secundario" por Picado (1991) y "Respuesta a la intervención silvicultural de un bosque secundario" por De Lucca.

Clima :

La temperatura y la precipitación pluvial son dos de las variables más importantes para describir el clima que predomina en un área determinada, y dado que en el sitio no se cuenta con una estación meteorológica se tomó como referencia la estación más cercana y está situada en Buenos Aires - Puntarenas (15 km Sur).

La precipitación y la temperatura media anual en el año 1994 fueron de 2728,7 mm y de 25,6 °C, sin embargo es importante mencionar que la precipitación anual promedio desde el establecimiento de dicha estación es de 3487,7 mm. La Figura 6 presenta la temperatura promedio mensual, máxima y mínima, y la Figura 7 muestra la precipitación media mensual y total mensual de la gestión 1994.

Fisiografía y Suelos:

La fisiografía del terreno presenta ondulaciones suaves con ciertas depresiones relativamente fuertes hasta de un 30 % en distancias cortas situadas en los márgenes de los cursos de agua (quebradas) que surcan el área, favoreciendo el escurrimiento del agua proveniente de la precipitación pluvial.

El suelo pertenece al orden de los ultisoles, es arcilloso de color rojo-amarillento con pH de 4,6 y sus principales limitantes de acuerdo al estudio de suelos realizado por Picado (1991) son: la profundidad efectiva, textura y el pH.

Dada estas características la capacidad de uso es de producción forestal extensiva y permanente, bajo ciertas restricciones para el aprovechamiento intensivo, evitando la degradación y erosión del suelo.

Vegetación :

El bosque se encuentra en la tercera fase de sucesión secundaria, predominada por especies heliófitas durables y esciófitas. La vegetación según la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge corresponde a un bosque húmedo tropical (bh-T), y está constituido por 84 especies arbóreas, de las cuales el 26,2 % tienen valor comercial y las más representativas son: aceituno (*Simaruba amara*), chiricano (*Vantanea sp.*), ira (*Ocotea sp.*) y lechoso (*Brosimum sp.*). El 3,6 % de las especies son potencialmente comerciales y están representadas por: anona de montaña (*Guatteria sp.*), gallinazo (*Jacaranda copaia*) y muñeco (*Cordia sp.*). Las restantes no tienen valor comercial, las más representativas son: canilla de mula (*Licania sp.*), mayo (*Vochysia ferruginea*) y targua (*Croton sp.*).

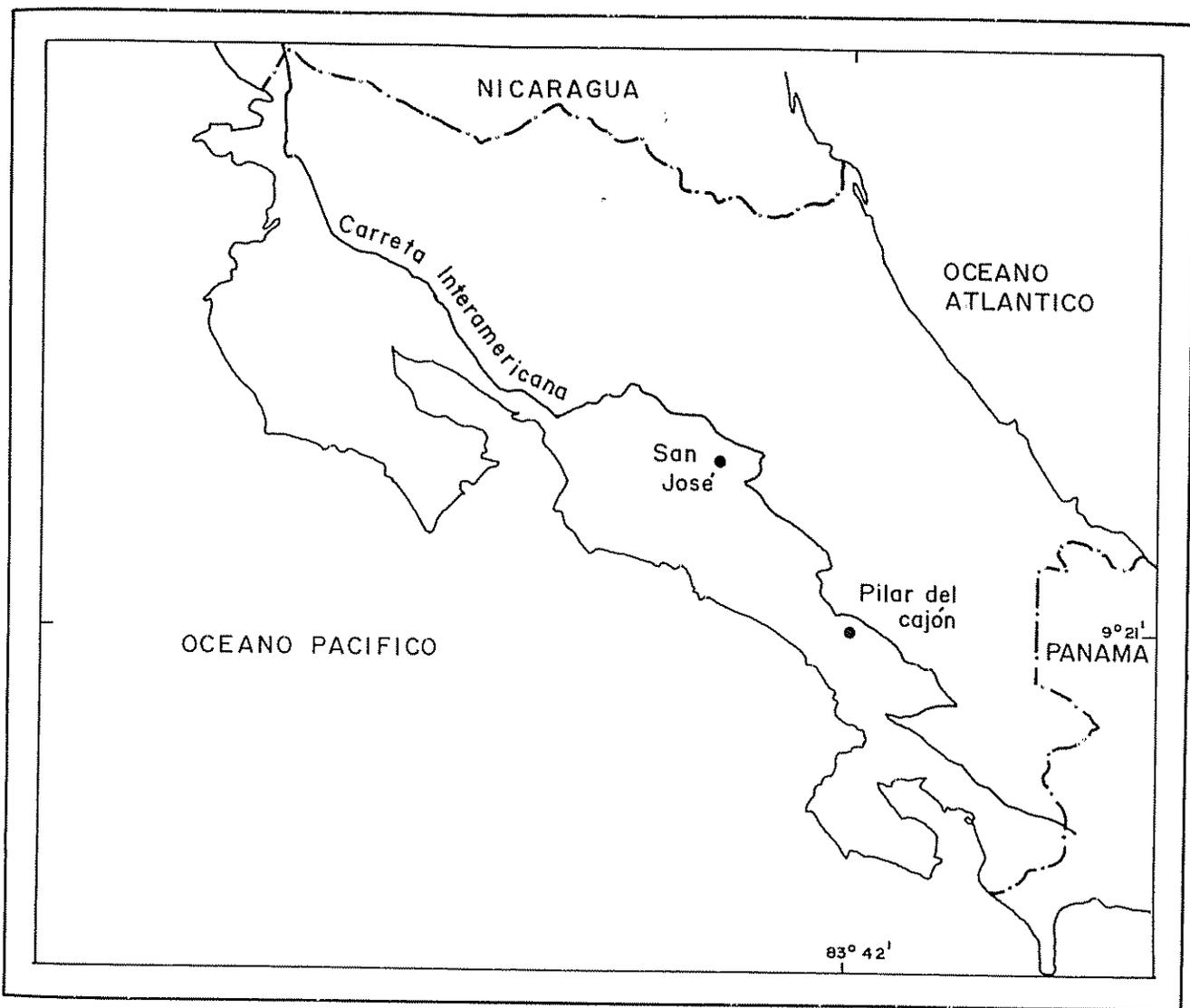


Figura 4. Ubicación geográfica del bosque natural secundario de Pilar del Cajón, San Isidro Pérez Zeledón - Costa Rica.

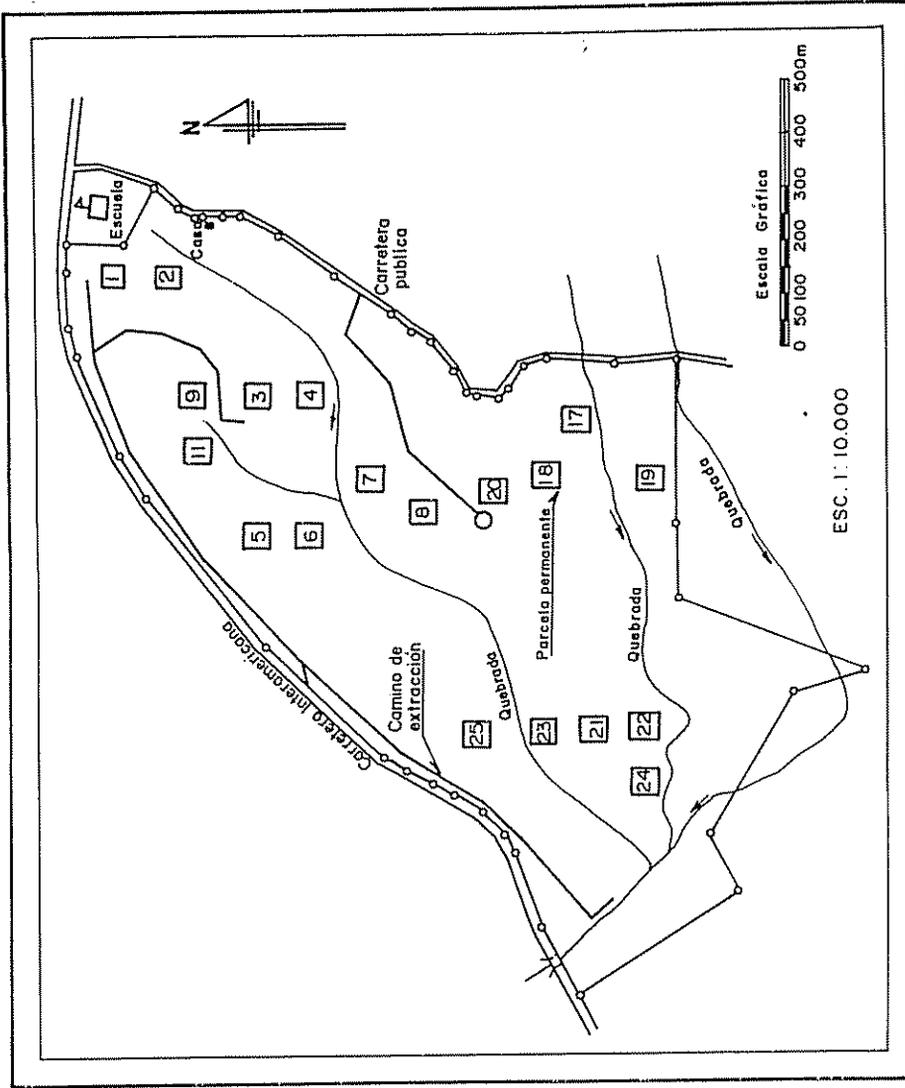


Figura 5. Distribución de las parcelas permanentes de muestreo de 50x50 m en el bloque denominado La Sandía (90 ha)

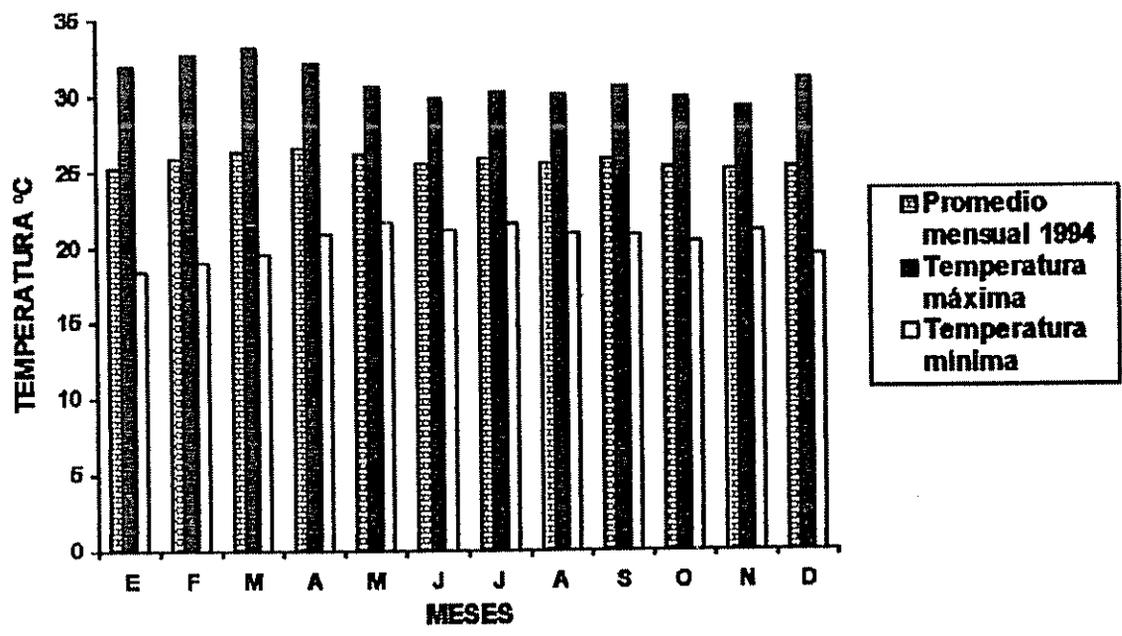


Figura 6. Distribución de la temperatura máxima, mínima y media mensual en 1994. Estación Meteorológica de Buenos Aires - Puntarenas.

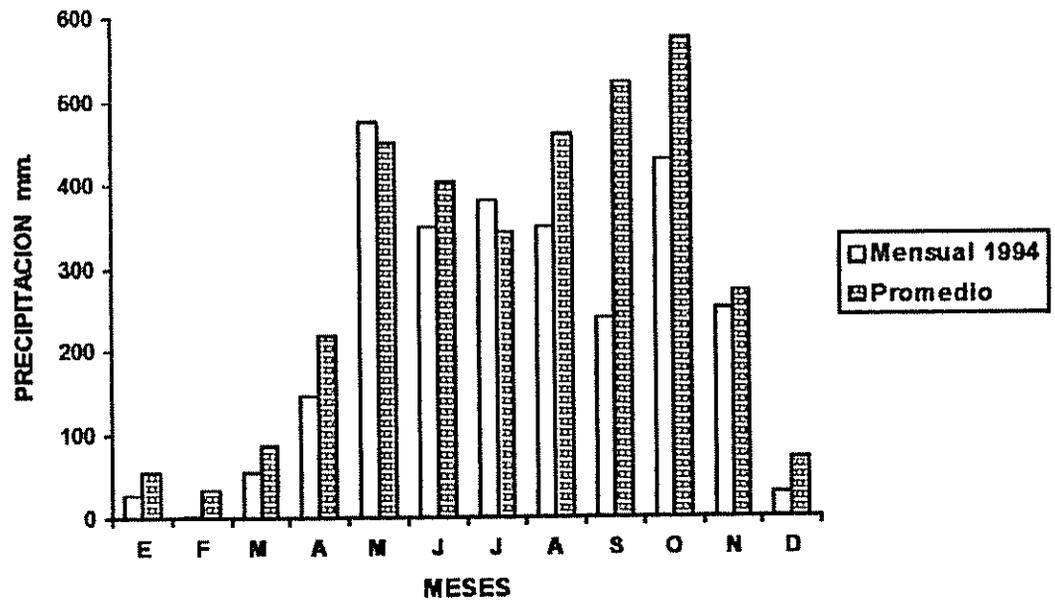


Figura 7. Distribución de la precipitación mensual 1994 y promedio desde la instalación de la estación meteorológica de Buenos Aires - Puntarenas.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional - Costa Rica (Boletín mensual).

4.2. Métodos

4.2.1. Parcelas permanentes de muestreo (PPM)

Una de las fuentes principales de información para el presente trabajo es la recopilada desde 1988 por el Proyecto PBN/CATIE/RENARM Producción en Bosques Naturales de las PPM del bloque denominado La Sandía.

En 1988 fueron establecidas ocho parcelas de acuerdo a la metodología propuesta por Hutchinson (1982) de 0,25 ha (50 x50 m.) divididas en 25 subparcelas de 10x10 m, y con una distancia de separación entre parcelas de 50 m. Dentro de las subparcelas se tiene delimitadas parcelas pequeñas de 5 x 5 m. para realizar conteos de latizales, y de 2 x 2 m. para brinzales (Figura 8). Cuatro de las parcelas grandes fueron sometidas a tratamiento silvicultural de liberación de árboles seleccionados de 10 a 39,9 cm de diámetro a la altura del pecho (dap), y se realizó un aprovechamiento de mejora extrayendo todos los árboles con dap \geq a 40 cm. En el área de amortiguamiento de las parcelas tratadas también se aplicó dicho tratamiento silvicultural para evitar el efecto de borde.

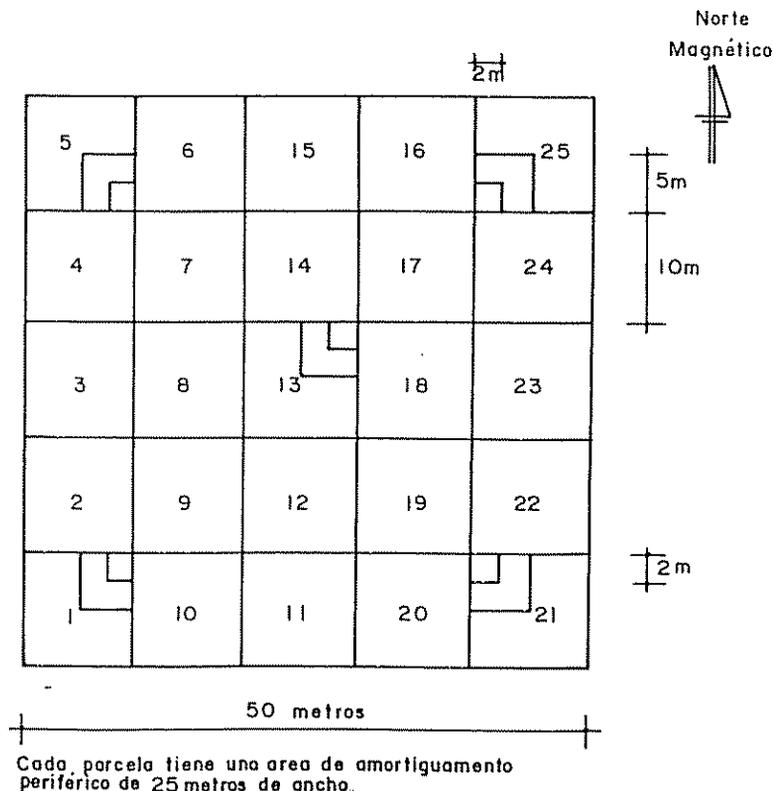


Figura 8. Características de las parcelas permanentes de muestreo de 0,25 ha establecidas en San Isidro, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Las labores silviculturales fueron ejecutadas en las parcelas números 1, 3, 5 y 7; en cambio la 2, 4, 6 y 8 no fueron tratadas, dejándolas como testigo. En 1990 como consecuencia del paso de una tormenta tropical las parcelas 1 y 2 fueron casi destruidas, motivo por el cual sus mediciones fueron en forma discontinua.

La información recogida anualmente desde 1988 de cada parcela a nivel de árbol individual para estudiar los efectos de las operaciones silviculturales aplicadas fue anotada en el formulario 1 del PBN descrito en el Anexo 1. Las variables medidas son:

- a) **Codificación** : Permite realizar el seguimiento de un árbol individual y facilita el procesamiento de la información.
- b) **Clase de identidad** : Facilita un diagnóstico del estado actual de cada árbol individual y es un indicativo del potencial forestal. El Cuadro 3 muestra los códigos de identidad.
- c) **Nombre vernacular** : Es el nombre común con el cual se identifica a cada árbol en un lugar determinado.
- d) **Grupo comercial** : El potencial de un bosque puede ser indicado por medio del agrupamiento de especies de acuerdo a su valor comercial. En el presente trabajo se consideran tres grupos bien definidos como: especies de alto valor comercial actual (COM), especies con otros valores comerciales (OTC), y especies sin valor comercial (SNV).
- e) **Diámetro a la altura del pecho**: Es una variable para evaluar el crecimiento diamétrico de los árboles e indica la dominancia de las especies.
- f) **Calidad del fuste** : Visualiza en términos generales el potencial y la calidad del recurso maderable de una población boscosa, y la escala utilizada fue la adaptada por Hutchinson (1975) que considera seis niveles de calidad descritas en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación de calidad de fuste según Hutchinson (1975)

CALIDAD DE FUSTE	CODIGO
Comercial actualmente	1
Comercial futuro	2
"2" encima de "6"	3
Deformado	4
Dañado	5
Podrido	6

g) Iluminación de copa : Para evaluar la iluminación de copa, se hizo uso del método de Dawkins (1958) modificada y adaptada por Hutchinson (1987), siendo los niveles de clasificación de esta variable los descritos en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación del grado de iluminación que recibe la copa de los árboles.

ILUMINACION DE COPA	CODIGO
Emergente	1
Plena vertical	2
Vertical parcial	3
Plena lateral	4
Iluminación oblicua	5
Nada directa	6

h) Forma de copa : Representa el vigor y la capacidad recuperativa a través de los procesos fisiológicos del árbol a la aplicación de un tratamiento silvicultural, en el Cuadro 6 se describe la clasificación empleada en el presente trabajo.

Cuadro 6. Clasificación de forma de copa

FORMA DE COPA	CODIGO
Circulo completo	1
Circulo irregular	2
Medio circulo	3
Menos de 1/2 circulo	4
Pocas ramas	5
Principalmente rebrotes	6
Vivos sin copa	7

i) **Presencia de lianas** : Diagnostica la competencia entre las trepadoras leñosas (hospedero) y el árbol (hospedante). Su aporte es indicar sobre la eficacia de la aplicación de un tratamiento silvicultural, y si ello causa una proliferación de la población de leñosas trepadoras. En el Cuadro 2 se describe la escala de Hutchinson utilizada en la recolección de la información.

4.2.2. Mediciones de diámetros y altura comercial

Para las mediciones de estas variables se consideraron los árboles con $dap \geq 10$ cm que se encuentran dentro de las parcelas permanentes. Del bosque tratado fueron 680 y del testigo 789 árboles distribuidos en las diferentes clases diamétricas descritas en el Cuadro número 7.

Para la determinación del dap se utilizó la cinta diamétrica y para el diámetro en el punto superior del fuste comercial neto el Pentaprisma de Wheeler (forcípula óptica) que según Husch *et al* (1982) existe una probabilidad de 95 % que la medida leída con el instrumento este $\pm 0,5$ pulgadas de la verdadera.

La altura comercial neta fue estimada con la ayuda de un jalón de 4 m, colocándolo en la base del fuste comercial y comparando con el fuste comercial neto. La altura de tocón fue descontada de acuerdo a la calidad, forma y características del fuste de cada árbol individual. Estas variables fueron registradas en el formulario 14 del PBN mostrado en el Anexo 2.

4.2.3. Determinación del coeficiente mórfico y volumen comercial

Considerando las variables antes descritas se determino el volumen real comercial con corteza basado en la aplicación de la fórmula de Smalian y el volumen estimado basado en la fórmula para el cálculo de volumen de un cilindro, para todos los árboles medidos por tratamiento.

Con estos dos volúmenes se determinó el coeficiente mórfico por árbol individual y el promedio por clase diamétrica y tratamiento, resultados que fueron sometidos a una prueba estadística no paramétrica para verificar si existen diferencias de coeficiente mórfico por clase diamétrica entre tratamientos.

Haciendo uso de información recopilada por Hutchinson y Wadsworth (1995) sobre espesor de corteza de los árboles del área de estudio, se probaron diferentes modelos de regresión para seleccionar el que mejor bondad de ajuste presente y que cumpla los supuestos de residuos entre el espesor de corteza en función del diámetro, modelo que posteriormente fue usado para determinar el dap y diámetro superior sin corteza, y el volumen comercial sin corteza.

Con la información del dap, volumen comercial con corteza y volumen comercial sin corteza de todos los árboles, se probaron modelos matemáticos (lineal, cuadrático, cúbico y logarítmico) para seleccionar el que mejor ajuste presente por tratamiento entre el dap con corteza y el volumen comercial con y sin corteza. Modelos que a la posteridad se utilizaron para determinar dichos volúmenes anuales por especie en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ para todo el período de observación de las parcelas permanentes de muestreo, y para determinar el volumen después de la proyección del crecimiento.

4.2.4. Análisis básico del crecimiento, reclutamiento y mortalidad

4.2.4.1. Incremento diamétrico por especie

Para el crecimiento se consideraron todas las mediciones anuales efectuadas desde 1988 hasta la fecha de todos los árboles con $\text{dap} \geq 10$ cm. Estas mediciones siguieron un orden metódico con la codificación correspondiente a la parcela, subparcela, número de árbol, identidad, calidad de fuste, iluminación de copa, forma de copa, presencia de lianas y marcado del punto donde se realizaron las mediciones.

El incremento diamétrico anual fue calculado por árbol individual considerando todos los árboles que sobrevivieron el período de medición desde 1988 a 1995; de los árboles de las parcelas 3, 5, y 7 (tratadas) y 4, 6 y 8 (testigo) se determinó como producto final el promedio del incremento corriente anual en cm y de las parcelas 1 y 2 que fueron medidas en forma discontinua debido al daño producido por el huracán del 1990 se calculó el incremento medio periódico de todos aquellos individuos que cuentan con la primera medición (1988) y la última (1995). Los árboles que presentaban medidas poco confiables debido a errores de tipo sistemático u de otra índole fueron excluidos del presente trabajo, siendo el incremento negativo máximo permisible de -0,2 cm. (Finegan, comunicación personal).

4.2.4.2. Escenarios de comparación y grupos de crecimiento parecido

Con la información a nivel de árbol individual se busca comparar el crecimiento considerando el incremento de árboles y especies con características y situaciones parecidas, criterios principales que fueron utilizados para establecer tres escenarios de comparación.

Para el primer escenario se consideraron todas las especies que cuentan con información de cuatro árboles como mínimo, indistintamente si son especies comercializables o no, y que sus árboles sean o no seleccionados; el segundo toma en cuenta solamente las especies comercializables con cuatro árboles mínimo sin restringir si sus árboles son o no seleccionados para el tratamiento silvicultural; y finalmente el tercer escenario está integrado en base a la información proveniente de los árboles seleccionados únicamente, donde cada especie también debe tener como mínimo cuatro árboles. Nótese que los escenarios se formaron para el bosque testigo y el tratado.

Dada la insuficiente información para estudiar el crecimiento a nivel de especie individual, una manera de minimizar la variabilidad de la información es agrupando las especies que tengan características parecidas de velocidad y distribución del crecimiento (Dawkins, 1958; Alder, 1983; Vanclay, 1994).

Conociendo los objetivos que se persiguen en el presente trabajo, el agrupamiento de especies se realizó de acuerdo a la distribución del crecimiento de cada especie, para tal efecto se determinó el incremento mediano, máximo, y los primeros y terceros cuartiles por especie tomando en cuenta los árboles que integran cada escenario a través del Análisis Cluster y Discriminatorio para validar el mencionado agrupamiento. El Anexo 6 muestra la distribución diamétrica de los árboles estudiados por tratamiento, escenario y grupo de crecimiento

Establecidos los grupos de crecimiento de cada escenario y con la finalidad de generar la información necesaria para la modelación de la proyección del crecimiento, se determinó el incremento mediano por clase diamétrica de los grupos de especies por escenario y tratamiento.

4.2.4.3. Reclutamiento y modelación de mortalidad

Los principales procesos de la dinámica del bosque secundario de San Isidro Pérez Zeledón se calcularon por medio de conteos anuales, el reclutamiento para el presente estudio se determinó en términos del número promedio de árboles por ha/año que ingresan a la clase diamétrica menor de 10-19,9 cm, por tratamiento, escenario y grupo de crecimiento parecido.

La mortalidad es un evento de baja frecuencia y la información recolectada es insuficiente para determinar modelos independientes para cada escenario y grupo de crecimiento, motivo por el cual se resolvió modelar la información por clase diamétrica dentro de cada tratamiento, considerando los individuos vivos en el momento de realizar la primera medición (1988) como un cohorte de la población, siendo la variable dependiente el número de árboles que sobreviven en función del tiempo, y el modelo utilizado fue exponencial negativo.

4.2.4.4. Análisis estadístico de la información

Las variables estudiadas de crecimiento cuantitativas mostraron diferentes grados de asimetría, por esta razón se realizaron pruebas no paramétricas para el análisis de las mismas. Todo el procesamiento estadístico fue realizado utilizando el paquete estadístico SAS y en particular los procedimientos Corr y Npar1way.

A través de la Correlación de Rango de Spearman se determinó que características cualitativas y cuantitativas de los árboles presentan correlación con su crecimiento. Se tomaron en cuenta las siguientes características cualitativas: calidad del fuste, grado de iluminación de copa, forma de copa y presencia de lianas de la primera medición para los árboles de las parcelas testigo y de la segunda medición para los pertenecientes a las parcelas tratadas; y como cuantitativas: el diámetro inicial y los incrementos diamétricos anuales.

Para notar las diferencias de crecimiento entre tratamientos por escenario y grupos de crecimiento parecido se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, recomendada por Daniel (1977) para informaciones que no presentan una distribución normal. Se considera el incremento medio periódico y el promedio del incremento corriente anual de los árboles individuales pertenecientes a las especies que conforman los escenarios y grupos establecidos.

4.2.5. Modelación del crecimiento y rendimiento del bosque

4.2.5.1. Componentes del modelo

Los principales componentes tomados en cuenta para la modelación del crecimiento y rendimiento del bosque natural secundario de San Isidro Pérez Zeledón fueron: el incremento diamétrico, la mortalidad y el reclutamiento de nuevos individuos. La Figura 9 muestra la representación gráfica de la ubicación de estos componentes dentro del modelo de crecimiento del bosque.

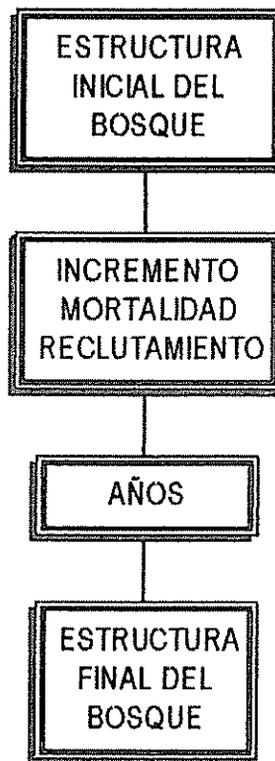


Figura 9. Componentes principales del modelo de proyección de crecimiento del bosque Secundario de San Isidro, Pérez Zeledón.

4.2.5.2. Estructura y diagramación del modelo de proyección

El modelo de proyección propuesto consta de dos módulos principales, que al final de un determinado periodo se ligan entre sí para determinar la población futura del bosque. Estos son: el módulo de proyección de la población original y el de proyección de reclutas. Nótese que la proyección se realizó para cada escenario y tratamiento.

a) Proyección de la población original

El primer módulo incluye todos los árboles del cohorte original de cada escenario y grupo de crecimiento por clase diamétrica, y los pasos que se siguen para su proyección son:

1°. Para el año 0 (hoy) se determina inicialmente su distribución diamétrica, área basal, volumen comercial con y sin corteza de acuerdo a los modelos del acápite 4.2.3.

2°. Antes de realizar la proyección se eliminaron al azar los árboles que morirán durante los cinco primeros años por clase diamétrica para cada grupo de crecimiento en cada escenario, y la proporción de sobrevivientes fue determinada por el siguiente modelo:

$$N = N_0 \times e^{-T \cdot t}$$

Siendo : N = Número de sobrevivientes por clase diamétrica.

N_0 = Número inicial de árboles.

T = Tasa anual de mortalidad por clase diamétrica.

t = Tiempo.

Se debe aclarar que esta cuantificación se realiza para las tres primeras clases diamétricas que son donde se concentra la mortalidad de los árboles del bosque estudiado.

3°. Los árboles sobrevivientes por clase diamétrica son proyectados por medio de la siguiente expresión matemática:

$$d_5 = d_0 + \sum_{t=1}^5 \Delta_t$$

Donde: d_5 = Dap de los árboles al final del periodo de proyección (5 años).

d_0 = Dap de los árboles al inicio de la proyección (año 0).

Δ_t = Incremento diamétrico en el año t .

$t = 1, 2, \dots, 5$ (años).

4°. En base al d_5 se calculó el área basal, volumen comercial con y sin corteza, y se determinó la estructura de la nueva población. En esta estructura, la influencia debida a los reclutas se incorpora a través del segundo módulo del modelo.

b) Proyección de los reclutas

1°. Se consideró el número de reclutas anual por grupo de crecimiento dentro de cada escenario como constante (R_0), asumiendo que el diámetro (dap) de ingreso es de 10,5 cm (r_0).

2°. La proyección se realizó para periodos de 5 años, siendo el número de reclutas al final de este periodo igual al número de reclutas anuales por el tiempo (años), y el dap de estos reclutas a los 5 años está determinado por la siguiente relación matemática:

$$r_5 = r_1 + \sum_{t=1}^4 \Delta_t \quad (I < 5)$$

Donde : r_5 = Dap de los reclutas al final del periodo de proyección (5 años).

r_1 = Dap de los reclutas al ingresar a la población (10,5 cm).

Δ_t = Incremento diamétrico en el año t.

I = Año de ingreso a la población.

3°. El área basal, volumen comercial con corteza y sin corteza de los reclutas fueron calculados en base a los diámetros determinados en el anterior paso y a los modelos indicados en el acápite 4.2.3.

4°. Finalmente todos estos árboles reclutas se incluyen a la población del primer módulo, y para proyectar a 10 años forman parte del cohorte original, donde su probabilidad de muerte es igual a los árboles del cohorte original.

Nótese que el presente modelo no restringe el tiempo de proyección del crecimiento, se puede proyectar anualmente, ó en periodos más prolongados, en el presente estudio la proyección se realizó para 20 años en periodos de 5, por lo tanto si se cambia los periodos o años de proyección se debe tomar en cuenta que, después de cierto periodo se debe considerar como población original a la explicada en el paso 4° del primer módulo, determinar la nueva estructura del bosque y reiterar los pasos 2°, 3°, y 4° también del primer módulo, la Figuras 10a y 10b presentan el diagrama de flujo para la modelación.

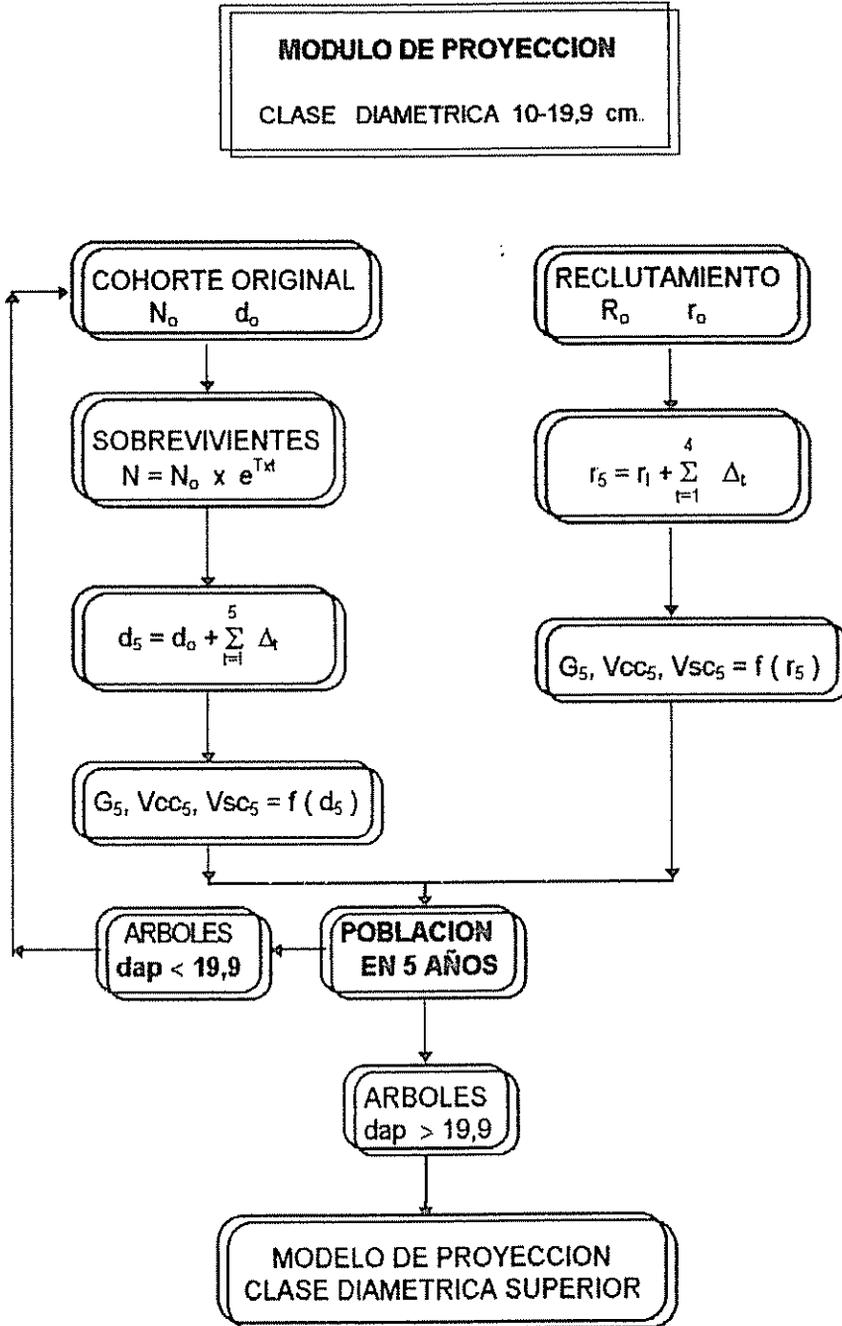


Figura 10a. Diagrama de flujo del modelo de proyección del crecimiento para el módulo de la clase diamétrica de 10-19,9 cm.

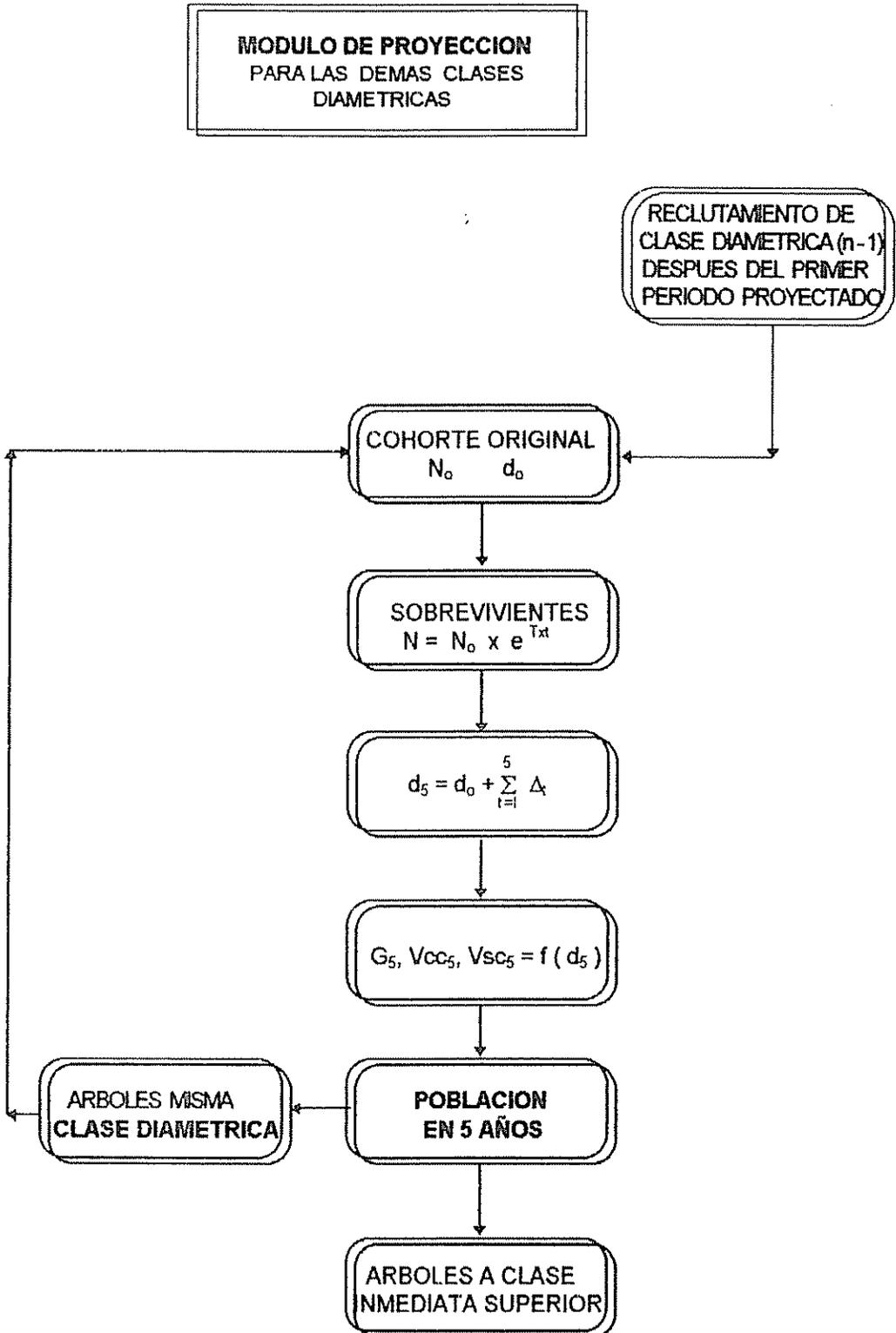


Figura 10b. Diagrama de flujo del modelo de proyección del crecimiento para el módulo de clases diamétricas ≥ 20 cm. ($n =$ clase diamétrica $2 \leq n \leq 6$)

Donde:

N_0	=	Número inicial de individuos por clase diamétrica.
d_0	=	Diámetros iniciales.
R_0	=	Número de reclutas por año.
r_0	=	Diámetro de ingreso de los reclutas (10,5 cm).
N	=	Número de árboles sobrevivientes.
t	=	Tiempo (años).
d_5	=	Diámetros en el año 5.
r_5	=	Diámetros de los reclutas en el año 5.
Δ_t	=	Incrementos diamétricos en el año t.
G_5	=	Area basal en el año 5.
V_{cc5}	=	Volumen comercial con corteza en el año 5.
V_{sc5}	=	Volumen comercial sin corteza en el año 5.
n	=	Clase diamétrica.

4.2.6. Selección del ciclo de corta y posibilidad de corta anual

Para la determinación del ciclo de corta actual por escenario y tratamiento, se tomaron en cuenta principalmente aspectos técnicos, económicos y silviculturales. El criterio técnico básico es que el bosque debe facilitar una producción constante de materia prima para una industria permanente de aserrio. Económico, porque a pesar que la leyes forestales de Costa Rica en actual vigencia permiten el aprovechamiento en un bosque secundario de árboles con un diámetro mínimo de corta de 40 cm, el presente trabajo está orientado a aprovechar solamente los árboles que tengan un diámetro igual o superior a 50 cm., de manera que la industria obtenga mayor ingreso y tenga la posibilidad de obtener mejor valor agregado de sus productos. Silvicultural, porque se tuvo presente el crecimiento y distribución diamétrica de las especies comercializables, además del conocimiento de los principales procesos de la dinámica (reclutamiento y mortalidad) del bosque secundario en estudio.

Sin embargo a pesar de todas estas consideraciones, es importante hacer notar que posiblemente dada las características de la información utilizada como el incremento diamétrico mediano, el ciclo de corta se sobrestime o subestime.

Para el calculo de la corta anual permisible actual y para los periodos proyectados se consideró el crecimiento anual del bosque con especial referencia a las especies de valor comercial, notándose que la masa a extraer no deteriore al bosque y que favorezca la regeneración natural de las especies comerciales para la producción futura.

5. RESULTADOS

5.1. Espesor de corteza y coeficiente m3rfico

5.1.1. Proporción de corteza

El modelo de regresión de espesor de corteza en relación al dap, obtenido en base a mediciones de 47 árboles de diferentes diámetros es de tipo lineal ($P < 0,01$) con un $R^2 = 0,36$ (Figura 11). Los resultados obtenidos del análisis correspondiente de residuos validan al modelo, y la distribución normal del espesor de corteza. En base a este modelo se determinó el espesor de corteza de todos lo árboles y se descontó 2 veces dicho espesor para la obtención del dap sin corteza y el cálculo posterior del volumen comercial.

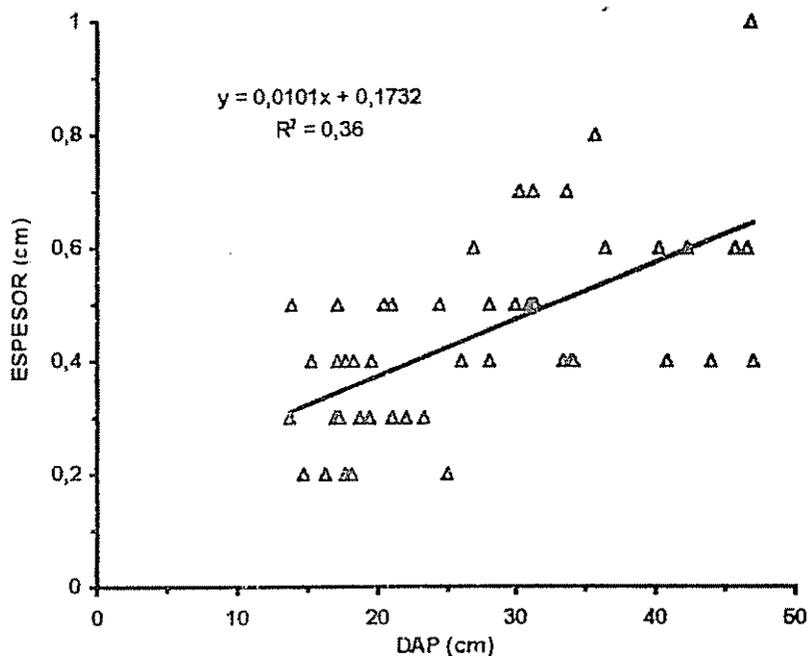


Figura 11. Modelo de regresión de espesor de corteza en función del diámetro para árboles con $dap \geq 10$ cm.

El porcentaje promedio de reducción del diámetro debido al espesor de corteza fue de 3,44 %. El principio que se refleja en el modelo encontrado es que a mayor diámetro mayor es el espesor de la corteza.

Como un lineamiento que puede ser utilizado para el aprovechamiento y manejo de los bosques naturales del trópico con poca información técnica el presente enfoque puede ser válido, teniendo en cuenta que los resultados a obtener son de carácter aproximativo, debido a que el espesor de corteza varía por especie y dentro de cada especie dependiendo de su edad y tamaño (Wadsworth y Hutchinson, comunicación personal).

5.1.2. Coeficiente Mórfico

Se entiende como coeficiente mórfico a la relación existente entre el volumen real del árbol y el del cilindro que tenga el mismo diámetro normal y la misma altura (Padilla, 1987). Considerando que los fustes de los árboles también pueden ser cubicados por su coeficiente mórfico y que su obtención es un aporte para el enriquecimiento de los conocimientos de los bosques naturales secundarios, se calculó dicho coeficiente encontrándose que no existen diferencias entre el coeficiente mórfico del bosque tratado y testigo, ya que el valor promedio en ambos casos es de 0,78. Este coeficiente mórfico obtenido es parecido a los encontrados y utilizados en otros trabajos de bosques naturales primarios, que generalmente son de 0,7, como el utilizado en Surinam (De Graff, 1986), demostrándose que la forma de los árboles de un bosque secundario en tercera fase de sucesión secundaria pueden ser tan productivos como los de un bosque primario (Finegan, 1992).

En cuatro clases diamétricas no existen diferencias significativas (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre los coeficientes mórficos de los árboles de dichas clases de tamaño y tratamientos, en cambio entre los árboles de la clase diamétrica de 30-39,9 cm. existen diferencias significativas entre tratamientos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). En el Cuadro 7 se ilustra la distribución por clase diamétrica de los árboles medidos y coeficiente mórfico por tratamiento.

Cuadro 7. Distribución de árboles y coeficiente mórfico por clase diamétrica y tratamiento silvicultural

Clase diamétrica	TRATADO		TESTIGO		Diferencias
	N. Arb.	Coef. Morf.	N. Arb.	Coef. Morf.	
10-19,9	242	0,78	280	0,77	ns
20-29,9	253	0,77	305	0,77	ns
30-39,9	127	0,77	123	0,78	
40-49,9	47	0,77	52	0,77	ns
50-59,9	9	0,77	22	0,78	ns
60 +	2	0,79	7	0,79	
Total	680		789		

5.2. Derivación de ecuaciones de volumen

De todos los modelos matemáticos probados para la derivación de ecuaciones de volumen considerando el dap y el volumen comercial real de todos los árboles medidos en el bosque, con tratamiento y sin tratamiento, se encontró que el más satisfactorio fue el modelo logarítmico. Este modelo tiene la forma de:

$$\ln v = \alpha + \beta \ln d$$

donde v es el volumen en m^3 del árbol individual, d el diámetro a la altura del pecho (1,3 m) en cm, y α y β son coeficientes.

El uso de modelos para determinar volúmenes de madera de árboles esta sujeto a muchas formas de error (Jennifer *et al* 1994), que fueron reducidos con la transformación logarítmica, de esta manera presentan una distribución normal y cumplen con los restantes supuestos de análisis de residuos.

Nótese que solamente fueron medidos los árboles que presentan buenas condiciones o que por lo menos tienen 4 m de fuste comercial y que representan en sí al bosque secundario, excluyendo algunos individuos remanentes del bosque primario.

Las ecuaciones de volumen encontradas para los dos tipos de bosque son casi idénticas, los valores de sus interceptos (α), y pendientes (β), no difieren en gran medida el uno del otro. El Cuadro 8 muestra en detalle las características individuales de cada modelo, y el Anexo 4 presenta una tabla de volumen elaborada en base a estos modelos matemáticos.

Cuadro 8. Ecuaciones volumétricas con y sin corteza por tratamiento silvicultural.

TESTIGO CON CORTEZA	
$v (m^3) = e^{-9,406805} * d (cm)^{2,527611}$	$R^2 = 0,9302$
TESTIGO SIN CORTEZA	
$v (m^3) = e^{-9,596014} * d (cm)^{2,563023}$	$R^2 = 0,9307$
TRATADO CON CORTEZA	
$v (m^3) = e^{-9,538627} * d (cm)^{2,57375}$	$R^2 = 0,9262$
TRATADO SIN CORTEZA	
$v (m^3) = e^{-9,723546} * d (cm)^{2,607856}$	$R^2 = 0,9279$
Donde :	$e = 2,71828183$

5.3. Volumen comercial con y sin corteza por tratamiento

El volumen comercial con y sin corteza para el bosque tratado y testigo encontrado para antes de la aplicación del tratamiento silvicultural, después del tratamiento y para la presente gestión, fue calculado considerando información proveniente de 4 parcelas testigo y 4 tratadas que han sido medidas durante todo el período 1988 - 1995.

5.3.1. Parcelas tratadas

Se puede verificar que el número de árboles y el volumen comercial por ha⁻¹ entre la medición 1 (antes del tratamiento) y la medición 2 (inmediatamente después del tratamiento) se reducen en 15,4 % y 45,4 % respectivamente como consecuencia de la aplicación del tratamiento silvicultural. Actualmente, sin embargo se distingue la recuperación paulatina de estas variables, sobrepasando inclusive el número de árboles por ha actuales (1995) a los existentes originalmente (1988). No se presenta la misma situación en el volumen debido a que el incremento de número de árboles solamente se observa en la clase diamétrica menor (10 - 19,9). El Cuadro 9a y la Figura 12 muestran en detalle la distribución del volumen comercial con y sin corteza, y la distribución diamétrica del bosque antes del tratamiento, inmediatamente después y actualmente.

Cuadro 9a. Número de árboles (ha⁻¹) y volumen comercial con y sin corteza (m³ ha⁻¹) por clase diamétrica del bosque tratado para árboles con dap ≥ 10 cm.

Clase Diamétrica	Antes del tratamiento (1988)				Después del tratamiento (1988)				Actualmente (1995)			
	Con corteza		Sin corteza		Con corteza		Sin corteza		Con corteza		Sin corteza	
	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
10 - 19,9	304	20,3	304	18,5	287	18,8	287	17,1	484	28,9	484	26,3
20 - 29,9	123	34,3	123	31,8	104	28,5	104	26,4	85	23,7	85	21,9
30 - 39,9	67	42,0	67	39,3	50	30,4	50	28,5	44	27,7	44	25,9
40 - 49,9	20	24,9	20	23,5	4	4,0	4	3,7	7	7,8	7	7,4
50 - 59,9	8	15,4	8	14,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
60 +	4	12,4	4	11,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
TOTAL	526	149,34	526	139,82	445	81,59	445	75,73	620	88,08	620	81,61

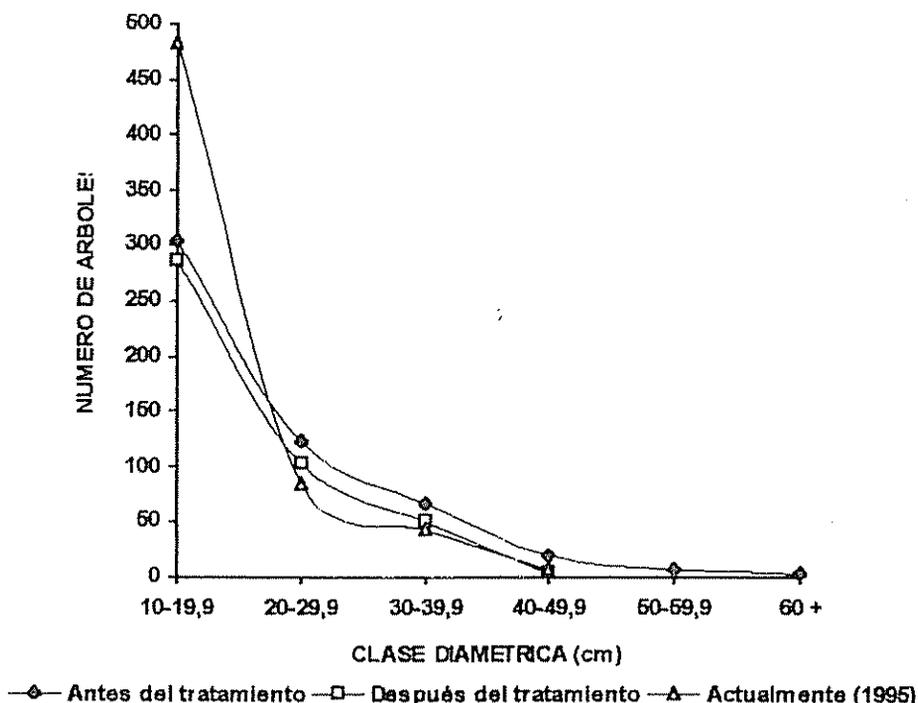


Figura 12. Distribución diamétrica del bosque tratado en diferentes periodos de observación.

La distribución del volumen en las mediciones consideradas por grupo comercial se observa en el Cuadro 9b, y se puede constatar que antes de la aplicación del tratamiento el 42,1 % del volumen comercial con corteza correspondía a especies actualmente comerciadas (COM), el 16,9 % a potencialmente comerciadas (OTC) y el 41 % a especies no comerciadas (SNV); Inmediatamente después de ser tratado el volumen comercial se repartía en 54,9 % (COM), 21,2 % (OTC) y 23,9 % (SNV); Actualmente el 54,6 % es (COM), el 14,8 % (OTC) y el 30,6 (SNV). La reducción de la proporción de volumen comercial de las especies OTC y SNV es consecuencia de la eliminación de árboles por el tratamiento silvicultural aplicado.

Cuadro 9b. Número de árboles (ha^{-1}) y volumen por grupo comercial ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) del bosque tratado para árboles con $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$

Clase Diamétrica	Antes del tratamiento (1988)				Después del tratamiento (1988)				Actualmente (1995)			
	Con corteza		Sin corteza		Con corteza		Sin corteza		Con corteza		Sin corteza	
	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
COM	148	63,0	148	59,3	178	44,8	178	41,7	184	48,1	184	44,8
OTC	96	25,2	96	23,5	82	17,3	82	16,1	69	13,0	69	12,1
SNV	282	61,1	282	57,0	185	19,5	185	18,0	367	27,0	367	24,7
TOTAL	526	149,3	526	139,8	445	81,6	445	75,8	620	88,1	620	81,6

Lo más importante es que los porcentajes del volumen comercial con corteza de las especies SNV y las OTC disminuyen después de la aplicación del tratamiento, en cambio, las especies COM tienen un volumen que aumenta ligeramente.

Finalmente, el crecimiento volumétrico anual del bosque tratado desde después de aplicación del tratamiento silvicultural es alrededor de $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y según el valor comercial de las especies, las COM crecieron en $0,47 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y las SNV en $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, en cambio la OTC crecen muy poco.

El Cuadro 10 presenta la distribución y el volumen comercial con y sin corteza de los árboles que fueron eliminados por la aplicación del tratamiento silvicultural por grupo comercial, nótese que esta masa incluye los árboles cortados por el aprovechamiento de mejora (árboles con $\text{dap} \geq 40 \text{ cm}$) y los eliminados para liberar los árboles seleccionados.

Los árboles del grupo comercial SNV generalmente fueron eliminados por el tratamiento silvicultural de liberación de árboles seleccionados, y los COM y OTC por el aprovechamiento de mejora de todos los árboles con diámetro a la altura del pecho superior a 40 cm

Cuadro 10. Número de árboles (ha^{-1}) y volumen comercial con y sin corteza ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de individuos eliminados por el tratamiento silvicultural

Grupo comercial	Número árboles	Volumen con corteza	Volumen sin corteza
COM	32	39,3	37,2
OTC	15	10,9	10,3
SNV	34	17,6	16,5
Total	81	67,8	64,0

5.3.2. Parcelas testigo

La distribución diamétrica y el volumen comercial con y sin corteza por clase diamétrica y grupo comercial para la primera medición (1988) y la última (1995) se muestra en la Figura 13 y Cuadro 11a, deduciéndose que existen diferencias en el número de árboles por clase diamétrica y en el volumen comercial con y sin corteza entre ambas mediciones.

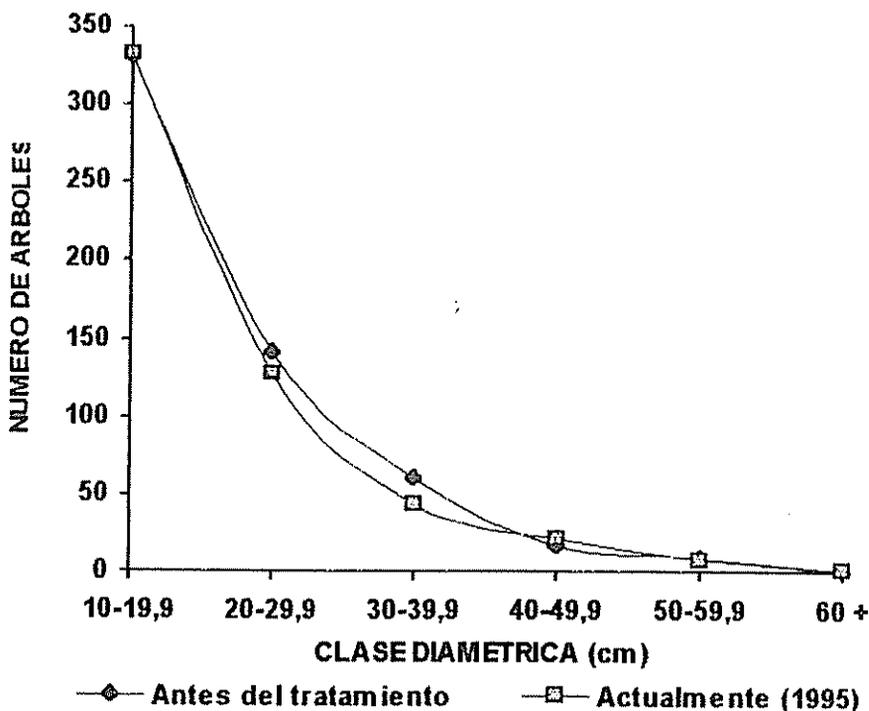


Figura 13. Distribución diamétrica del bosque testigo al inicio y final del periodo de observación.

Del análisis de la información de los Cuadros 11a y 11b se deduce que:

- El número de árboles por ha. entre ambas mediciones se reduce en un 4,11 %.
- De 560 árboles (ha^{-1}) y $143,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con corteza en la primera medición, el 35,2 y 50,4 % corresponden a especies comercializables (COM), el 13,9 y 9,1 % son potencialmente comercializables (OTC), y el 50,9 y 40,5 % son de especies sin valor comercial (SNV).
- En cambio actualmente de 537 árboles y $134,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, el 42 y 61 % son COM, el 12 y 9 % son OTC, y el 46 y 30 % son SNV. El hecho que actualmente exista mayor proporción de especies COM, se debe a que la especies heliófitas efímeras van desapareciendo (SNV) y las heliófitas durables van dominando el sitio.
- El crecimiento volumétrico medio anual del bosque es de $3,36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y según el grupo comercial de las especies, las COM tienen un crecimiento medio anual de $2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, en cambio las SNV tuvieron un crecimiento de $1,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y las especies del grupo OTC crecen muy poco.

Cuadro 11a. Número de árboles (ha^{-1}) y volumen comercial con y sin corteza ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) por clase diamétrica del bosque testigo para árboles con $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$.

Clase Diamétrica	Medición Inicial (1988)				Actualmente (1995)			
	Con corteza		Sin corteza		Con corteza		Sin corteza	
	N	V	N	V	N	V	N	V
10 - 19,9	331	24,1	331	22,0	333	22,2	333	20,3
20 - 29,9	142	38,6	142	35,8	128	36,0	128	33,4
30 - 39,9	60	38,2	60	35,8	44	28,6	44	26,9
40 - 49,9	17	20,9	17	19,8	22	25,3	22	23,9
50 - 59,9	9	18,1	9	17,3	8	15,6	8	14,9
60 +	1	3,4	1	3,3	2	6,9	2	6,6
TOTAL	560	143,3	560	134,0	537	134,6	537	126,0

Cuadro 11b. Número de árboles (ha^{-1}) y volumen por grupo comercial del bosque testigo para árboles con $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$. en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$

Grupo Comercial	Medición Inicial (1988)				Actualmente (1995)			
	Con corteza		Sin corteza		Con corteza		Sin corteza	
	N	V	N	V	N	V	N	V
COM	197	72,3	197	75,3	226	83,8	226	78,8
OTC	78	13,0	78	12,0	62	10,6	62	9,8
SNV	285	58,0	285	46,6	249	40,2	249	37,3
TOTAL	560	143,3	560	133,9	537	134,6	537	125,9

5.4. Tendencias de la estructura del bosque

En las Gráficas 14 y 15 se observa el comportamiento en área basal y número de árboles por ha del bosque tratado y testigo a través del tiempo. Hago notar que para este cometido se hizo uso de 4 parcelas tratadas y 4 testigos, además que la información del bosque testigo en el año 1988b es la misma del 1988a debido a que las parcelas testigo no fueron medidas después de aplicado el tratamiento a las parcelas tratadas.

Se deriva que: a) en el bosque testigo no se producen cambios considerables que conlleven a realizar un análisis detallado de las causas que producen estos cambios, sin embargo se observa que en el año 1990 el número de árboles y el área basal por ha. se reducen en 36 y $1,93 \text{ m}^2$ respectivamente, como consecuencia del paso de una tormenta tropical que produjo daños en el bosque, pero también se debe notar que aparentemente el crecimiento de este bosque en los últimos años es reducido; b) el bosque tratado muestra cambios considerables como efecto de las operaciones silviculturales aplicadas, sin embargo se nota una recuperación paulatina en los años posteriores al tratamiento.

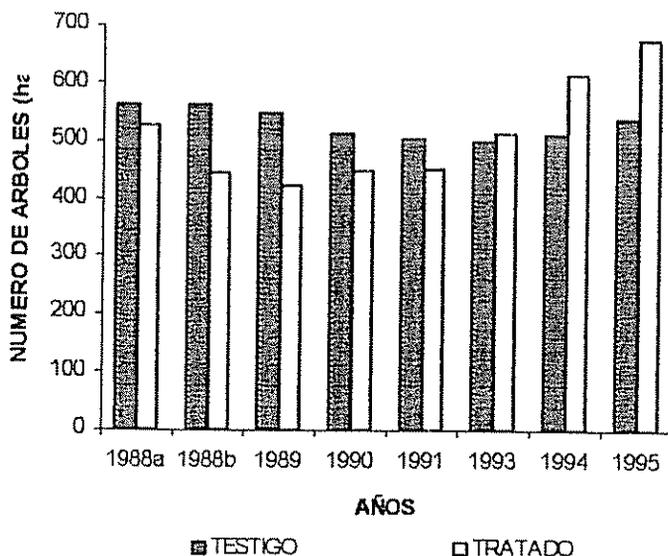


Figura 14 Comportamiento del número de árboles (ha/año) por tratamiento, para árboles con $\text{dap} \geq 10$ cm. 1988a = medición antes del tratamiento; 1988b = medición inmediatamente después del tratamiento.

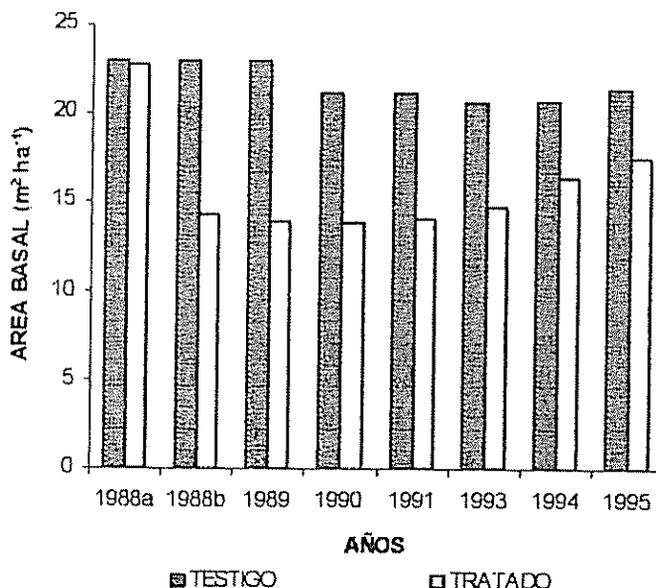


Figura 15. Comportamiento del área basal en $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ por tratamiento y año, para árboles con $\text{dap} \geq 10$ cm. 1988a = medición antes del tratamiento; 1988b = medición inmediatamente después del tratamiento.

Generalmente se espera que un bosque de tercera fase de sucesión secundaria con una área basal (G) inferior a la de un bosque primario, se incremente o se mantenga con el paso del tiempo. Como se demuestra en algunos estudios de caso y citas mencionadas por Finegan (1992); Brown & I ugo (1990); Martinez (1979); Budowski (1965).

Sin embargo, en el presente estudio se observa que el número de árboles (N) y el área basal (G) del bosque testigo (Cuadro 12) disminuyen gradualmente en los grupos de especies OTC y SNV, lo contrario se presenta en el grupo COM, pero este incremento no compensa lo perdido en los anteriores grupos comerciales.

En cambio en el bosque tratado, los grupos COM y SNV aumentan en G y N, no así las especies del grupo OTC que disminuye. Esta situación se debe principalmente al efecto del tratamiento silvicultural aplicado, fomentándose en forma directa el crecimiento de las especies comerciales, pero al mismo tiempo se tiene un efecto indirecto sobre las especies sin valor comercial.

Cuadro 12. Número de árboles y área basal en $m^2 ha^{-1}$ para árboles con $dap \geq 10$ cm. por tipo de bosque y grupo comercial.

MEDICION	TESTIGO						TRATADO					
	COM		OTC		SNV		COM		OTC		SNV	
	N	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N	G
1988a	213,0	11,8	78,0	2,4	269,0	8,8	209,0	12,0	96,0	4,0	221,0	6,7
1988b	213,0	11,8	78,0	2,4	269,0	8,8	178,0	7,3	82,0	3,0	185,0	3,9
1989	215,0	11,9	72,0	2,3	261,0	8,8	165,0	7,2	79,0	2,9	179,0	3,8
1990	217,4	12,1	49,3	1,6	245,3	7,4	194,6	8,2	69,3	2,2	182,7	3,4
1991	218,7	12,3	46,6	1,6	238,7	7,3	200,0	8,6	64,0	2,0	186,7	3,4
1993	215,0	11,8	54,0	1,7	230,0	7,1	196,1	8,4	66,7	2,1	249,2	4,2
1994	219,0	11,7	58,0	1,8	233,0	7,2	208,0	8,8	68,0	2,3	337,3	5,3
1995	226,0	12,3	62,0	1,9	249,0	7,2	217,3	8,9	69,3	2,5	388,0	6,1

En los siguientes acápite se hará referencia con más detalle y separadamente por tratamiento en lo referente al crecimiento del bosque y especies.

5.5. Composición de escenarios y distribución de los incrementos de las especies

Se conformaron tres escenarios para el análisis del crecimiento (acápites 4.2.4.2). De las 84 especies que se encuentran en el bosque, solamente 24 especies en las parcelas testigo y 17 especies en las tratadas fueron objeto de estudio en los diferentes escenarios.

En el escenario 1 se tomaron en cuenta 592 árboles de los cuales 360 corresponden a testigos y 232 a tratados. La distribución del incremento diamétrico por especie, se presenta en el Anexo 5. El incremento anual mediano varía entre 0,1 y 0,8 cm y el incremento anual máximo de 0,30 a 1,6 cm en el bosque testigo; la mediana en el bosque tratado oscila entre 0,3 y 1,4 cm y el incremento máximo entre 0,4 y 2,2 cm.

Los mayores crecimientos se presentan en las especies heliófitas durables como el Fosforillo (*Didymopanax sp.*), Aceituno (*Simarouba amara*), y Mayo (*Vochysia ferruginea*). Las especies de menor crecimiento son el Ajillo (*Pithecellobium sp.*) y el Chiricano (*Vantanea sp.*).

El número de árboles estudiados para el escenario 2 de especies comerciales constituidas por árboles seleccionados o no, es de 162 en las parcelas testigo y 104 en las tratadas, como se observa en el Anexo 5.

El incremento anual mediano de las especies comerciales en el bosque sin tratamiento silvicultural oscila entre 0,2 y 0,8 cm, y el incremento anual máximo varía de 0,4 a 1,6 cm. En cambio en el bosque tratado el incremento mediano anual fluctúa entre 0,3 y 0,9 cm, y el incremento anual máximo varía entre 0,4 y 1,8 cm.

Las especies comerciales con mayor crecimiento son la Ira (*Ocotea sp.*), Aceituno (*Simarouba amara*), Manteco (*Tapirira guianensis*) y el Fosforillo (*Didymopanax sp.*); la de menor crecimiento es el Ajillo (*Pithecellobium sp.*).

Finalmente en el escenario 3, se estudiaron 122 árboles de las parcelas testigo y 59 de las tratadas, descritos en el Anexo 5. El incremento anual mediano en el bosque testigo oscila entre los 0,3 y 0,6 cm, y el incremento máximo fluctúa entre 0,5 y 1,6 cm. En las parcelas tratadas la mediana del incremento anual varía desde 0,3 a 1,0 cm, y el incremento anual máximo entre 0,4 y 1,8 cm. Las especies más favorecidas por el tratamiento de liberación de árboles seleccionados son las descritas en el escenario 2. Es importante aclarar que el tratamiento silvicultural es para fomentar el crecimiento de aquellas especies que tienen crecimiento lento.

En forma general podemos afirmar, que los rangos de variación del crecimiento anual dentro de cada tratamiento no son grandes, por efecto del crecimiento elevado que presentan las especies heliófitas durables. Entre tratamientos las diferencias son más notorias, asimismo, la distribución de los incrementos no presentan variaciones extremas o sesgadas, y en muchas especies el incremento promedio anual es igual al incremento mediano.

5.6. Agrupación de especies de crecimiento parecido por tratamiento y escenario

Los resultados obtenidos del Análisis de Conglomerados arrojan que en casi todos los escenarios por tratamiento se diferencian dos grupos de crecimiento bien definidos, exceptuando en el escenario 2 del bosque testigo en el cual se forman tres grupos. Para fines de una mejor explicación del crecimiento en cada grupo definiremos que grupo 1 son las especies que tienen crecimiento lento a medio y las del grupo 2 son las de crecimiento medio a rápido. Este análisis agrupa las especies en base a los incrementos mediano, máximo, en los primeros y terceros cuartiles de cada especie.

La aplicación de un análisis discriminante a posteriori de la conglomeración no arrojó cambios en la pertenencia de especies a los grupos de crecimiento parecido, excepto en el escenario 3 del bosque tratado, donde la especie colorado (*Persea sp.*) es reclasificada en el grupo 1 después que inicialmente conformaba el grupo 2.

En las Figuras 16 y 17, se muestran los grupos del escenario 1 del bosque testigo y tratado, donde se evidencia que del total de especies del bosque testigo 14 corresponden al grupo 1 y 10 al grupo 2, en cambio en el tratado, 11 especies forman parte del primer grupo y 6 al segundo.

El escenario 2 se encuentra integrado en el bosque testigo por tres grupos de 3, 7 y 2 especies respectivamente, donde se evidencia que las especies del último grupo presentan un crecimiento mayor notorio a las especies de los grupos anteriores. Dentro del bosque tratado se tiene 2 grupos de 5 y 3 especies (ver Figuras 18 y 19)

Finalmente el escenario 3 en ambos tratamientos se tienen dos grupos, el testigo esta conformado por 10 especies donde 4 pertenecen al grupo 1 y 6 al grupo 2, y el tratado se encuentra integrado por 7 especies donde 3 corresponden al primer y 4 al segundo grupo (ver Figuras 20 y 21).

En forma generalizada las especies que siempre tienden a pertenecer al grupo de especies de crecimiento lento a medio (grupo 1) en el bosque testigo son: Ajillo (*Pithecelobium sp.*), Chiricano (*Vantanea sp.*) y Fruta dorada (*Virola sp.*); las de crecimiento medio a rápido (grupo 2) son: Guacimo blanco (*Goethalsia micrantha*), Manteco (*Tapirira guianensis*) y Mayo (*Vochysia ferruginea*).

Situación similar se presenta en los escenarios del bosque tratado, las especies que tienden a formar parte del grupo de crecimiento lento a medio son: Ajillo (*Pithecellobium sp.*), Chasparrio (*Alchornea sp.*), y Colorado (*Persea sp.*); en cambio las especies que normalmente en este tratamiento son de crecimiento medio a rápido son: Aceituno (*Simarouba amara*), Chumico (*Pouruma sp.*) e Ira (*Ocotea sp.*).

Si se analiza con más detalle se puede observar que la especie *Virola sp.* del escenario 3 en las parcelas testigo esta integrando el grupo 1, y como efecto del tratamiento aumenta considerablemente su crecimiento y forma parte del grupo 2 en el bosque tratado.

Análogamente en el mismo escenario la *Persea sp.* en el testigo corresponde a las especies de crecimiento rápido (grupo 2) pero en el tratado corresponde al grupo 1 de crecimiento lento o medio, situación que requiere de mayor seguimiento a nivel de árbol individual para poder confirmar que algunas especies comerciales con tratamiento o sin tratamiento silvicultural su crecimiento no varia.

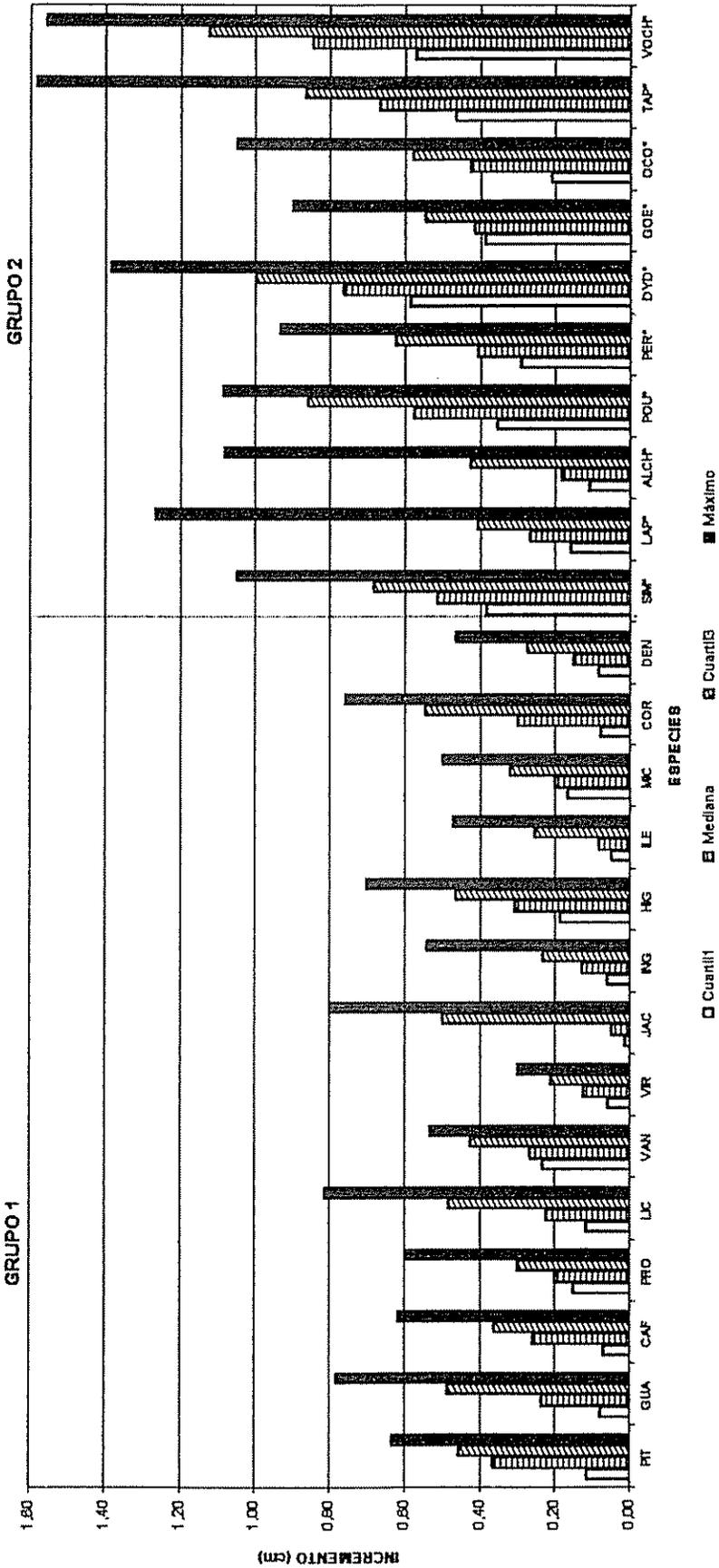


Figura 16. Distribucion del crecimiento de las especies comerciales y no comerciales del bosque testigo, escenario 1, y grupos de crecimiento (* = especies del grupo 2).

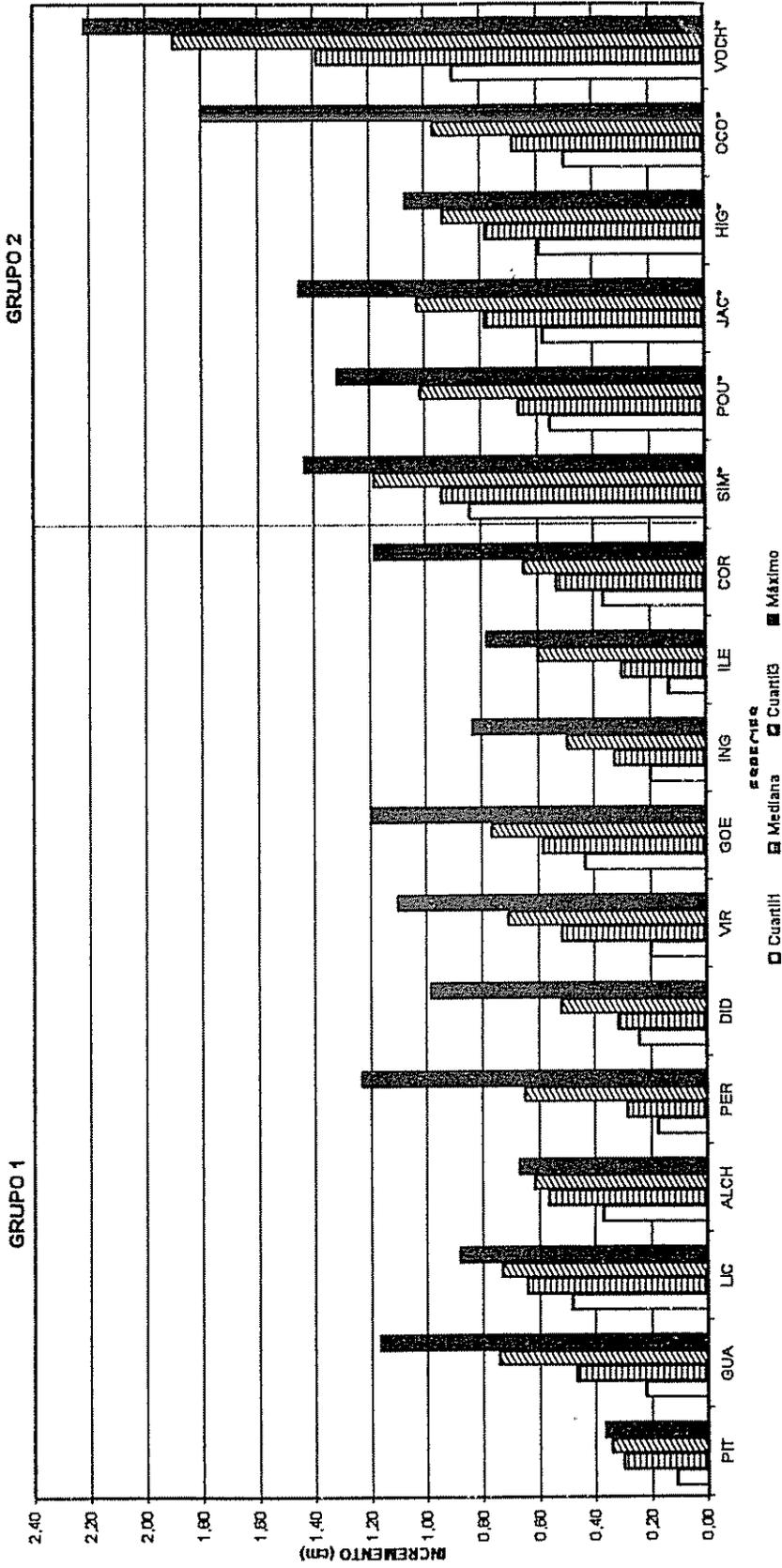


Figura 17. Distribución del crecimiento de especies comerciales y no comerciales del bosque tratado, escenario 1 y grupos de crecimiento (* = especies del grupo 2).

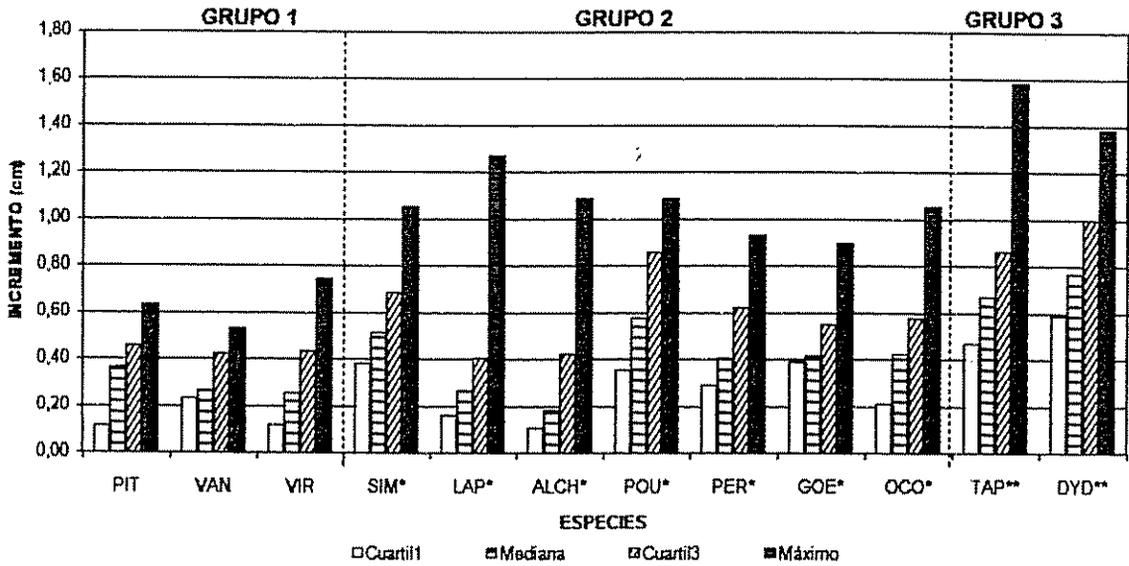


Figura 18. Distribución del crecimiento de las especies comerciales del bosque testigo, escenario 2 y grupos de crecimiento (* = especies del grupo 2; ** = especies del grupo 3).

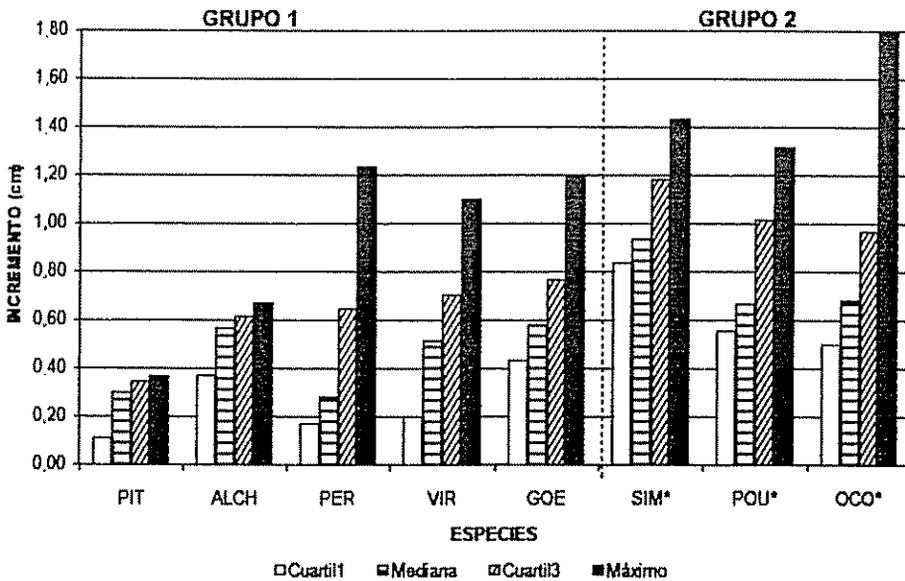


Figura 19. Distribución del crecimiento de las especies comerciales del bosque tratado, escenario 2 y grupos de crecimiento (* = especies del grupo 2).

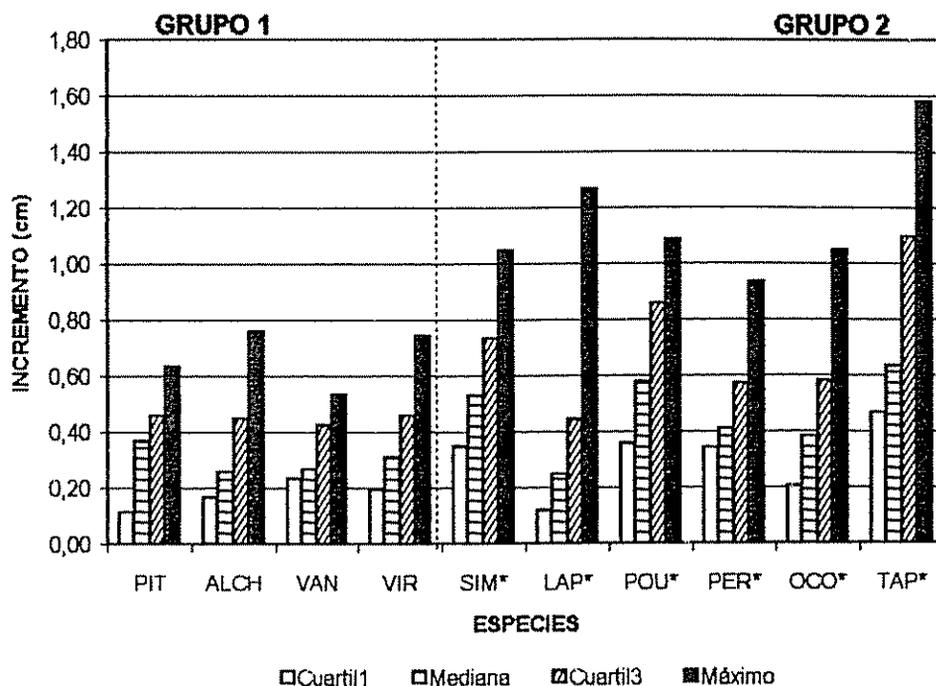


Figura 20. Distribución del crecimiento por especie considerando los árboles seleccionados del bosque testigo, escenario 3 y grupos de crecimiento (* = especies del grupo 2).

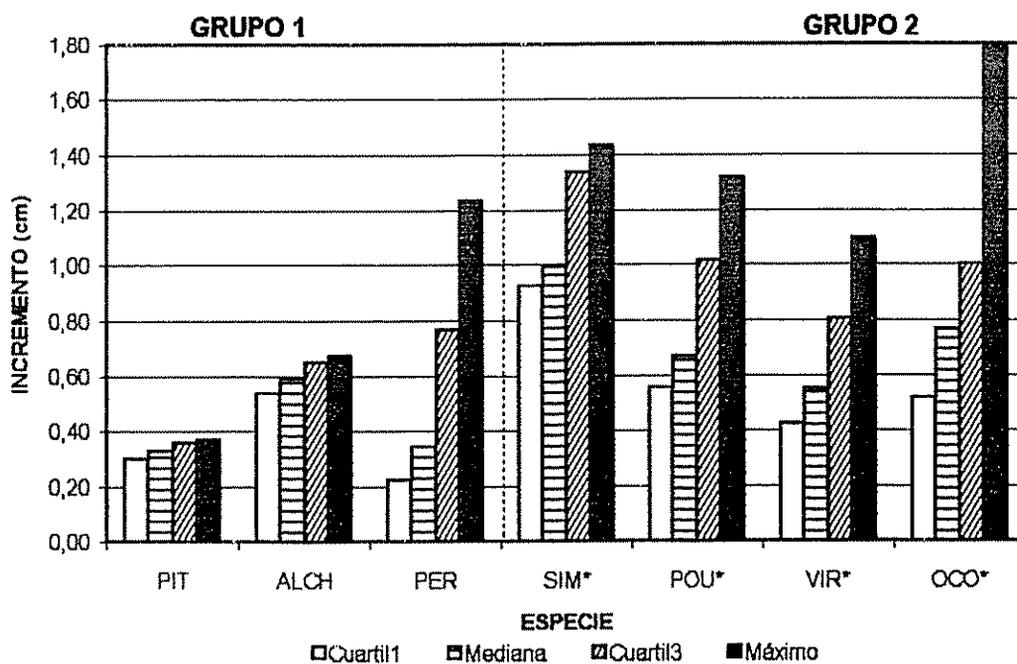


Figura 21. Distribución del crecimiento por especie considerando los árboles seleccionados del bosque tratado, escenario 3 y grupos de crecimiento (* = especies del grupo 2).

5.7. Crecimiento diamétrico por tratamiento, escenario, grupos de especies y clase diamétrica

Los Cuadros 13 y 14 presentan el incremento diamétrico anual mediano en cm por tratamiento y clase diamétrica para cada grupo de especies con características similares de crecimiento, observándose que en muchos casos no es notoria la diferencia de incremento entre un mismo grupo en los diferentes escenarios con el mismo tratamiento, esto es debido a la influencia de especies que siempre son de crecimiento rápido como la *Vochysia ferruginea*, *Didymopanax sp.*, *Tapirira gutanensis* y la *Goethalsia micrantha*.

El incremento mediano anual por clase diamétrica en el escenario 1 del bosque no tratado oscila entre 0,15 y 0,72 cm. En cambio en el tratado es de 0,38 a 0,95 cm. En el escenario 2 del testigo fluctúa entre 0,13 y 0,79 cm y en el tratado entre 0,35 y 0,93 cm. Análogamente en el escenario 3 del bosque testigo varía entre 0,14 y 0,58 cm y en el tratado de 0,35 a 0,93 cm.

Estos resultados muestran que si existen diferencias de crecimiento entre los testigos y tratados. La mayor magnitud de estas diferencias por clase diamétrica se observa en el escenario 3 donde los árboles seleccionados del bosque tratado presentan mayor crecimiento que los árboles del bosque testigo.

Los rangos de variación son amplios entre tratamientos por escenario y grupos de crecimiento, además que los mayores incrementos medianos en el bosque sin tratamiento silvicultural se encuentran en las tres últimas clases diamétricas. Contrariamente en el bosque con tratamiento presenta los incrementos más elevados en las tres primeras clases diamétricas.

Cuadro 13. Incremento diamétrico mediano en cm por clase diamétrica, grupo de crecimiento y escenario del bosque sin tratamiento silvicultural

BOSQUE TESTIGO							
Escenarios	1		2			3	
Clase diamétrica	Grupo I	Grupo II	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo I	Grupo II
10 - 19,9	0,20	0,34	0,33	0,40	0,66	0,35	0,48
20 - 29,9	0,15	0,59	0,13	0,45	0,63	0,14	0,53
30 - 39,9	0,20	0,54	0,30	0,40	0,67	0,30	0,58
40 - 49,9	0,40	0,55	0,30	0,39	0,67	0,37	0,37
50 - 59,9	0,35	0,72	0,40		0,79	0,40	

Cuadro 14 Incremento diamétrico mediano en cm por clase diamétrica, grupo de crecimiento y escenario del bosque con tratamiento silvicultural

BOSQUE TRATADO						
Escenarios	1		2		3	
Clase diamétrica	Grupo I	Grupo II	Grupo I	Grupo II	Grupo I	Grupo II
10 - 19,9	0,57	0,83	0,57	0,77	0,45	0,87
20 - 29,9	0,50	0,95	0,60	0,93	0,61	0,82
30 - 39,9	0,30	0,93	0,35	0,93	0,35	0,93
40 - 49,9	0,43	0,38		0,38		0,38
50 - 59,9						

En los siguientes acápite se explicará que variables independientes tienen correlación con el crecimiento de los árboles individuales y las diferencias de crecimiento por tratamiento, escenario y grupos de crecimiento parecido.

5.7.1. Correlación entre los incrementos diamétricos anuales de las especies por tratamiento, escenario y las variables independientes de los árboles individuales

Para determinar el grado de correlación entre las variables independientes de los árboles individuales con el crecimiento, se utilizó el Coeficiente de Correlación de Rangos de Spearman, cuyas matrices de correlación se presentan en el Anexo 7, de las que se deduce que:

En el escenario 1 en las parcelas testigo existe correlación altamente significativa todos los años entre los incrementos anuales y el grado de iluminación inicial de la copa (medición 1). Esto nos demuestra que un árbol que tenía buena iluminación al inicio mantuvo su crecimiento durante todo el período de observación, además de la influencia del crecimiento de especies no comerciales de rápido crecimiento como la *Vochysia ferruginea* y el *Croton sp.* La calidad del fuste y la forma de copa también se correlacionan parcialmente con los incrementos. Las lianas no presentan correlación, esto posiblemente se debe a que el bosque es joven y que la presencia de estas trepadoras leñosas no es significativa o se concentra en ciertas especies dentro del bosque. Debe notarse que la mayoría de las variables independientes se correlacionan entre sí, exceptuando la presencia de lianas. En 1992 Siteo, encontró resultados parecidos correlacionando la iluminación de copa, forma de copa y calidad de fuste con los incrementos.

Los incrementos anuales se correlacionan entre sí, aunque dicha tendencia va reduciéndose con el paso de los años.

En las parcelas tratadas no existe correlación lineal entre los incrementos anuales y el grado de iluminación, y esto se debe al efecto directo e indirecto de la aplicación del tratamiento silvicultural, ya que al favorecer la iluminación de los árboles seleccionados indirectamente se favorece y fomenta el crecimiento de árboles vecinos. La forma de la copa tiene su efecto hasta el cuarto año después del tratamiento. Los incrementos anuales presentan un comportamiento similar a las parcelas testigo, y las variables independientes en estudio no se correlacionan entre sí.

Si consideramos solamente las especies comerciales del escenario 2 (ver Anexo 7) no existe correlación entre el incremento y la iluminación de copa debido a que no toma en cuenta las especies que generalmente son de crecimiento rápido mencionadas en el escenario 1, en este segundo escenario en las parcelas testigo se observa la existencia de correlación parcial entre la mayoría de los incrementos anuales con la calidad del fuste y la presencia de lianas, y los incrementos anuales se correlacionan parcialmente debido a la variabilidad de los incrementos del primer año y de los últimos 3 años.

En las parcelas tratadas se observa correlación en los primeros 3 años entre la forma de copa inicial y sus incrementos, la interrupción de este proceso es debido a la reducción del crecimiento especialmente al final del periodo de observación, esto como consecuencia probablemente del cierre del dosel y la creciente competencia por la luz.

Los incrementos de los árboles seleccionados (Escenario 3) de las parcelas testigo presentan correlación parcial con la presencia de lianas. Esta situación también se presentó en el escenario anteriormente descrito, aunque en este caso es menor, demostrando que las lianas en estas especies tienen cierto grado de influencia en el crecimiento de los árboles, bajo ciertas condiciones de densidad del bosque. Los incrementos se correlacionan parcialmente debido a que los incrementos del primer año no se correlacionan con el de los últimos tres años. Contrariamente los árboles seleccionados de las parcelas tratadas no presentan correlación con la presencia de lianas y sus incrementos se correlacionan entre sí.

5.7.2. Diferencias de crecimiento entre tratamientos por escenario y grupos de especies de crecimiento parecido

Los cuadros 15, 16 y 17 muestran que los incrementos anuales, fueron superiores en las parcelas tratadas que las testigo (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,01$), en todos los años y escenarios, menos en el escenarios 2 en las gestiones 1994 y 95. La no existencia de diferencias de crecimiento de las especies comerciales del escenario 2 en los últimos dos años, es consecuencia del bajo crecimiento que tuvieron los árboles de las especies que no fueron consideradas para el tratamiento silvicultural.

Considerando que el crecimiento diamétrico en los tres escenarios del bosque tratado va decayendo conforme pasa el tiempo, los incrementos de todos los árboles de cada escenario se ajustaron a un modelo regresivo en función del tiempo y se aplicó una prueba de "t", concluyéndose que las pendientes son negativas y que el crecimiento de los árboles disminuye conforme pasa el tiempo, con una probabilidad significativa al 0,05. Al respecto, Clark & Clark (1994) también encontró que el crecimiento de los árboles disminuye con el paso del tiempo, sin embargo afirma que este descenso se debe a variaciones climáticas.

Cuadro 15. Incremento diamétrico mediano anual por tratamiento y sus diferencias del escenario 1.

Año de medición	Incremento mediano (mm.)		Diferencia
	Testigo	Tratado	
1989	3,0	7,0	**
1990	3,0	7,0	**
1991	2,2	6,0	**
1993	3,0	6,0	**
1994	2,5	5,0	**
1995	2,0	4,0	**

** = $P \leq 0,01$ * = $P \leq 0,05$ ns = no significativa

Cuadro 16. Incremento diamétrico mediano anual por tratamiento y sus diferencias del escenario 2.

Año de medición	Incremento mediano (mm.)		Diferencia
	Testigo	Tratado	
1989	3,0	7,0	**
1990	4,0	8,0	**
1991	3,0	7,0	**
1993	4,0	7,0	**
1994	4,0	5,0	ns
1995	3,0	4,0	ns

** = $P \leq 0,01$ * = $P \leq 0,05$ ns = no significativa

Cuadro 17. Incremento diamétrico mediano anual por tratamiento y sus diferencias del escenario 3.

Año de medición	Incremento mediano (mm)		Diferencia
	Testigo	Tratado	
1989	3,0	8,0	**
1990	4,0	8,0	**
1991	4,0	7,0	**
1993	4,0	7,0	**
1994	4,0	6,0	**
1995	3,0	4,5	**

** = $P \leq 0,01$ * = $P \leq 0,05$ ns = no significativa

Las diferencias de crecimiento a nivel de grupos de crecimiento parecido por escenario y entre tratamientos, considerando las mismas especies que se encuentran en ambos grupos, fueron los siguientes:

- 1) En el escenario 1 existen diferencias significativas en los dos grupos (Kruskal-Wallis $p \leq 0,01$) y las especies que se encuentran en el mismo grupo en ambos tratamientos son: *Pithecellobium sp.*, *Guatteria sp.*, *Licania sp.*, *Virola sp.*, *Inga sp.*, *Ilex* y *Cordia sp.* del grupo 1, y *Simarouba amara*, *Pouruma sp.*, *Ocotea sp.*, y *Vochysia ferruginea* del grupo 2. En el Cuadro 18 se presentan los incrementos medianos y las diferencias explicadas.

Cuadro 18. Diferencias de crecimiento entre tratamientos del escenario 1 por grupos de crecimiento, para el periodo 1988-1995.

Grupo de crecimiento	Incremento mediano (mm)		Diferencia
	Testigo	Tratado	
Grupo I	2,1	5,1	**
Grupo II	5,3	9,4	**

** = $P \leq 0,01$ * = $P \leq 0,05$ ns = no significativa

2) En el escenario 2 no existen diferencias significativas de crecimiento (Kruskal-Wallis $p > 0,05$) entre el grupo 1 del bosque testigo y el tratado. Las especies consideradas para esta comparación fueron: *Pithecellobium sp.*, y *Virola sp.*. En el grupo 2 las diferencias son significativas (Kruskal-Wallis $p \leq 0,01$), y las especies que se encuentran en el mismo grupo y escenario en ambos tratamientos, son: *Simarouba amara*, *Pouruma sp.*, y *Ocotea sp.*. El Cuadro 19 ilustra estas diferencias.

Cuadro 19. Diferencias de crecimiento entre tratamientos del escenario 2 por grupos de crecimiento, para el periodo 1988-1995.

Grupo de crecimiento	Incremento mediano (mm)		Diferencia
	Testigo	Tratado	
Grupo I	2,8	3,6	ns
Grupo II	5,0	7,8	**

** = $P \leq 0,01$ * = $P \leq 0,05$ ns = no significativa

3) Finalmente, en el escenario 3 también se presentan diferencias significativas en el crecimiento entre grupos de ambos tratamientos (Cuadro 20). En el grupo 1 las diferencias son significativas con una probabilidad $< 0,05$, las especies consideradas son: *Pithecellobium sp.* y *Alchornea sp.*, y en el grupo 2 las diferencias son significativas con una probabilidad $\leq 0,01$, las especies tomadas en cuenta son la *Simarouba amara*, *Pouruma sp.*, *Persea sp.*, y *Ocotea sp.*.

Cuadro 20. Diferencias de crecimiento entre tratamientos del escenario 3 por grupos de crecimiento, para el periodo 1988-1995.

Grupo de crecimiento	Incremento mediano (mm.)		Diferencia
	Testigo	Tratado	
Grupo I	3,1	5,1	*
Grupo II	4,9	7,8	**

** = $P \leq 0,01$ * = $P \leq 0,05$ ns = no significativa

5.7.3. Comportamiento del crecimiento en el tiempo por escenario, tratamiento y clase diamétrica

En el presente acápite se describen las tendencias del crecimiento que presentan las diferentes clases diamétricas por escenario en cada tratamiento. Notándose que los siete años de registro no fueron suficientes para aplicar pruebas de autocorrelación en series de tiempo.

De la Figura 22a correspondiente a los árboles del bosque testigo del escenario 1 se deduce que, el crecimiento de dichos árboles durante todo el periodo se mantuvo casi constante, excepto los árboles de la clase diamétrica de 50-59,9 cm. que tienen crecimiento variado. En los árboles del bosque tratado (Figura 22b), el crecimiento en las tres primeras clases diamétricas es elevado en los primeros dos años después de la aplicación del tratamiento silvicultural, posteriormente va decayendo en los últimos años, y los árboles de mayor tamaño presentan un crecimiento ascendente durante todo el periodo. En forma general esta tendencia se ve reflejada en el Cuadro 15.

El comportamiento del crecimiento de los árboles del escenario 2 por clase diamétrica durante el periodo de observación (Figuras 23a y 23b) demuestran que, en el bosque testigo la tendencia en todas las clases diamétricas es parecida, en cambio en el bosque tratado es notorio que el crecimiento de los árboles de todas las clases diamétricas es elevado después de la aplicación del tratamiento de liberación pero a medida que transcurre el tiempo este va disminuyendo, y en los últimos dos años estas diferencias desaparecen. Como lo demuestran los resultados obtenidos en el Cuadro 16.

En las Figuras 24a y b, se comprueba que en el bosque testigo los árboles de las diferentes clases diamétricas tienen crecimiento variado con muchos cambios, contrariamente los árboles del bosque tratado en todas sus clases diamétricas presentan crecimiento con una tendencia casi exponencial negativa, es decir que a medida que transcurre el tiempo el crecimiento de los árboles seleccionado va descendiendo. Pero todavía el crecimiento de los tratados es mayor a los testigo, esta tendencia se demuestra en los resultados obtenidos en el Cuadro 17. También se debe notar que los árboles del bosque tratado son más pequeños que los del bosque testigo.

Este comportamiento también fue encontrado por Clark & Clark (1994), determinando que, existen diferencias significativas en el crecimiento de árboles de todas las clases diamétricas de un año a otro, y que dicho incremento declina con el paso del tiempo, aunque estas variaciones se deben a la influencia climática.

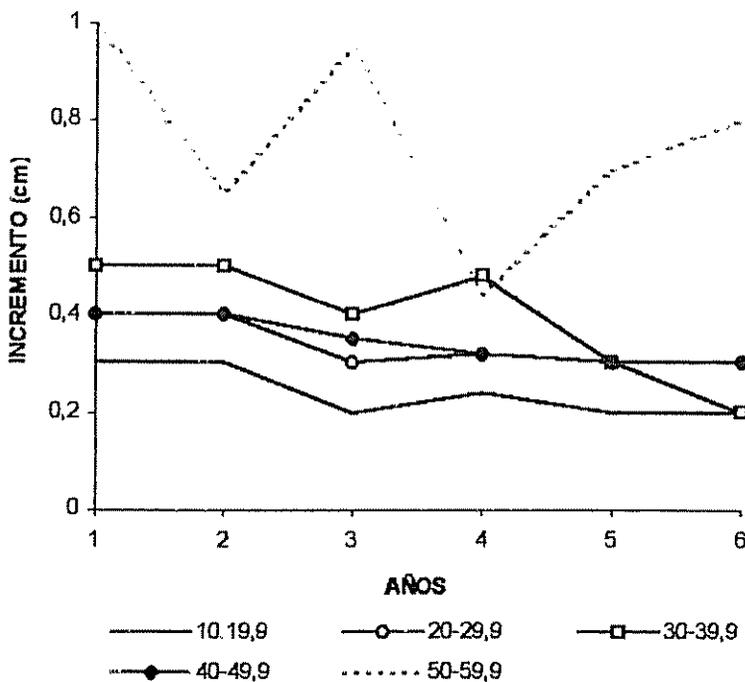


Figura 22a. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 1 y del bosque testigo.

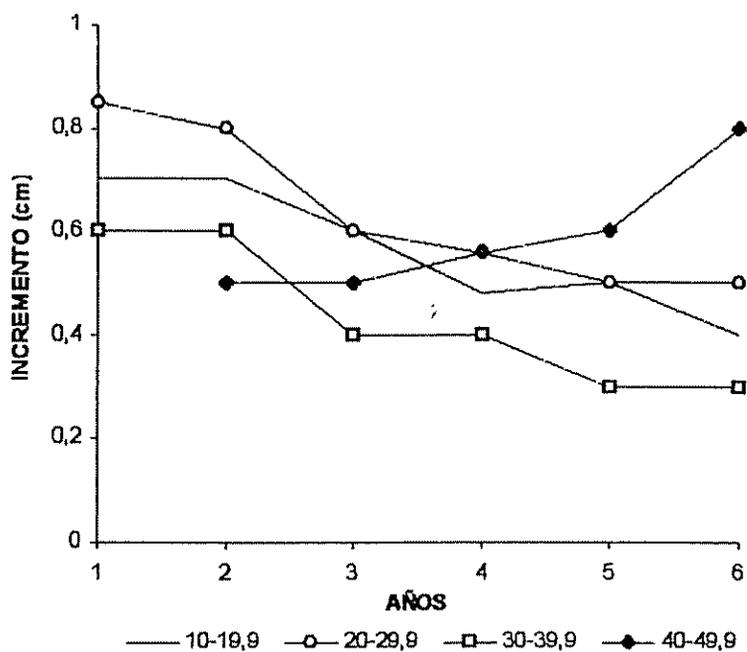


Figura 22b. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 1 y del bosque tratado.

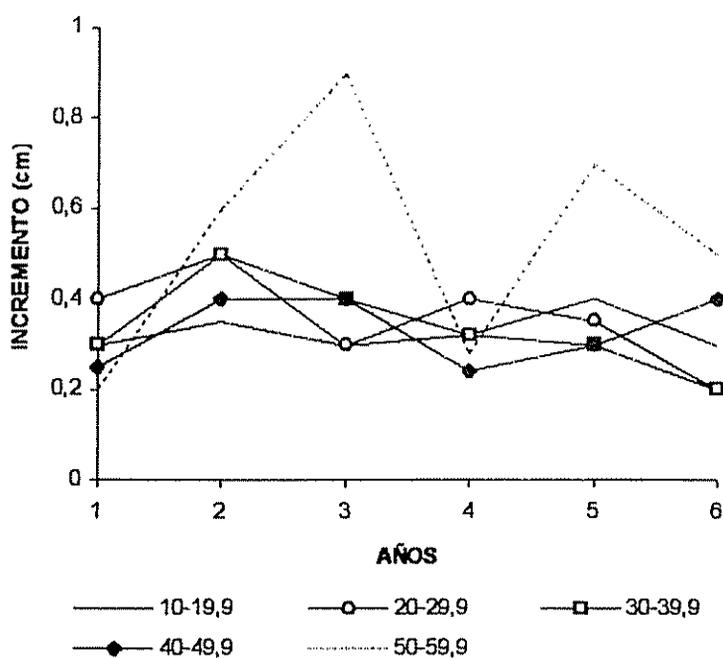


Figura 23a. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 2 y del bosque testigo.

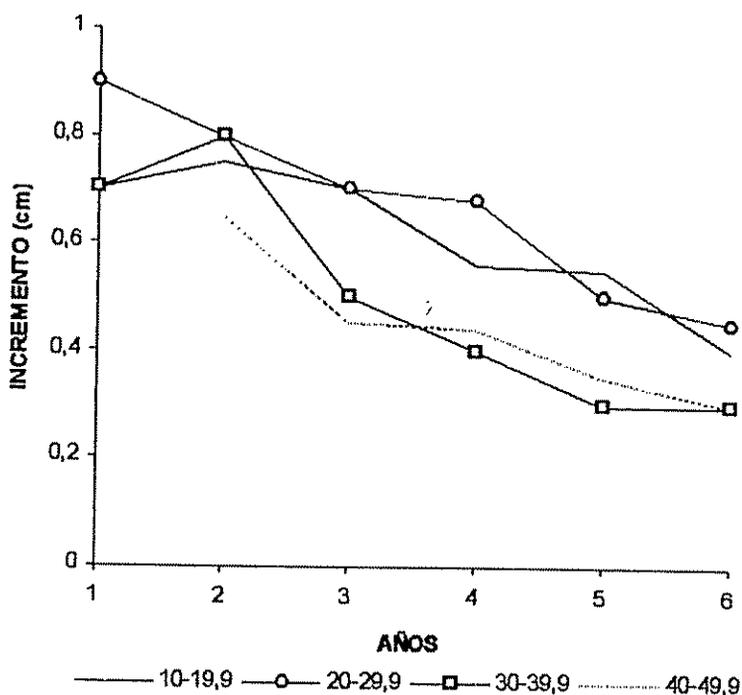


Figura 23b. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando en incremento mediano por clase diamétrica del escenario 2 y del bosque tratado.

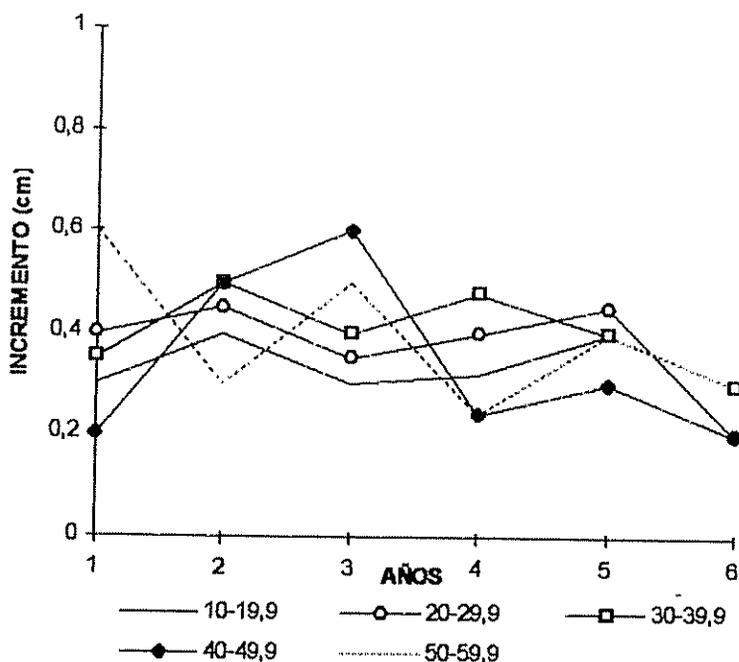


Figura 24a. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 3 y del bosque testigo.

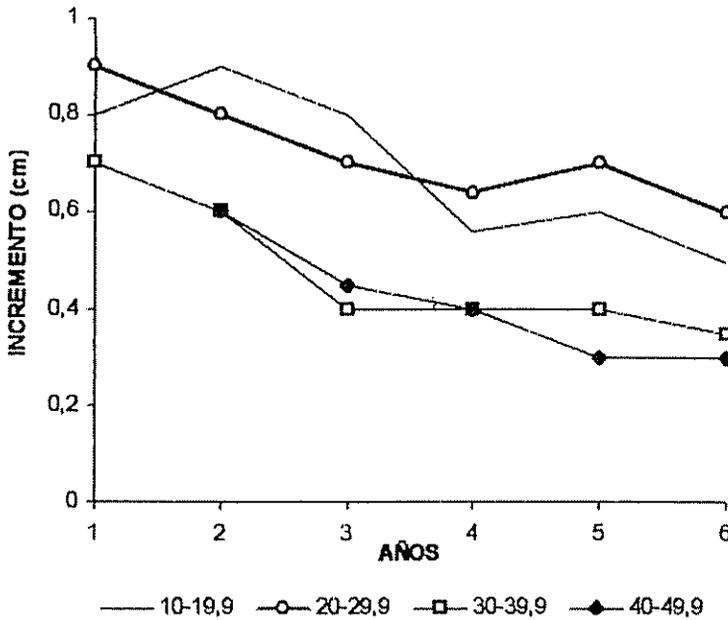


Figura 24b. Comportamiento del crecimiento a través del tiempo considerando el incremento mediano por clase diamétrica del escenario 3 y del bosque tratado.

5.8. Reclutamiento y mortalidad

Los nuevos individuos que ingresan a la población se registraron en número promedio por ha/año para cada grupo de crecimiento, por escenario y tratamiento (Cuadro 21); su dap de ingreso a la población oscila entre 10 y 11 cm, y los grupos de las parcelas tratadas presentan mayor cantidad de reclutas que las testigo en todos los escenarios. Confirmando que el tratamiento silvicultural también favorece el desarrollo de los árboles que se encuentran en estado de latizales y brinzales, haciendo que la dinámica del bosque tratado sea más activa que el bosque testigo. El rango diamétrico de ingreso de los reclutas es un indicador de que existen latizales que crecen hasta 1 cm por año.

En el escenario 1 de las parcelas tratadas el número de reclutas es mayor en 35,3 % respecto al total de reclutas de las parcelas testigo, en las especies comerciales (escenario 2) la proporción es mayor en un 54,3 %, y en el escenario 3 la diferencia es de 14,3 %. Dado que la información sobre reclutamiento proviene de pocas parcelas permanentes, no se realizó ningún tipo de análisis estadístico para confirmar estas diferencias, sin embargo con una mayor cantidad de unidades de muestreo posiblemente se podría realizar un análisis de varianza o ajustar la información a un modelo estadístico.

Las especies con mayor reclutamiento en las parcelas tratadas de acuerdo al número de individuos que aportan por escenario son: Canilla de mula (*Licania sp.*), Ira (*Ocotea sp.*), y Mayo (*Vochysia ferruginea*) en el escenario 1, en el escenario 2 son: el Guacimo blanco (*Goethalsia micrantha*) y la Ira (*Ocotea sp.*), finalmente entre las especies con árboles seleccionados y con mayor cantidad de reclutas son la Ira (*Ocotea sp.*) y Fruta dorada (*Virola sp.*). Demostrándose que las especies con mayor cantidad de reclutas son las que tienen crecimiento rápido y las invasoras de claros como la Canilla de mula (*Licania sp.*).

Cuadro 21. Distribución del número de reclutas y su área basal ($m^2 ha^{-1}$) promedio anual por tratamiento, escenario, y grupo de crecimiento parecido.

Tratamiento	Testigo		Tratado	
	N	G	N	G
ESCENARIO 1				
Grupo 1	11,6	0,097	13,1	0,120
Grupo 2	4,0	0,034	8,0	0,074
ESCENARIO 2				
Grupo 1	2,0	0,021	4,7	0,043
Grupo 2	3,0	0,031	3,6	0,036
Grupo 3	0,38	0,004		
ESCENARIO 3				
Grupo 1	2,6	0,026	2,0	0,02
Grupo 2	2,3	0,022	3,6	0,0339

La mortalidad natural anual por tratamiento en términos absolutos fue mayor en las parcelas testigo respecto a las tratadas, pero en términos relativos (%) se presenta lo contrario (Cuadros 22 y 23). Esta mortalidad se concentró en los árboles de la clase diamétrica de 10-19,9 cm. en ambos tratamientos, y las especies con mayor mortalidad fueron Canilla de mula (*Licania sp.*), Anonillo (*Guatteria sp.*), Ira (*Ocotea sp.*), y Mayo (*Vochysia ferruginea*)

Las diferencias entre el número de árboles reclutados y los árboles muertos durante todo el periodo de observación se muestran en el Anexo 8, notándose que en las parcelas testigo estos dos procesos son casi iguales, en cambio en las tratadas el reclutamiento es mayor hasta en un 100 %. Esta diferencia entre el reclutamiento y la mortalidad augura un mejor rendimiento futuro del bosque tratado. Además que la mortalidad se concentra en especies sin valor comercial.

Cuadro 22. Distribución del número de árboles muertos anualmente por clase diamétrica de las parcelas testigo.

Parcelas testigo										
Clase diamétrica	Años									Tasa anual ajustada (%)
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	
N inicial	438									
10-19,9		2	14	14	9	5	5	49	11,2	3,2
20-29,9		-	3	4	5	2	4	18	4,1	0,8
30-39,9		-	5	3	3	-	1	12	2,7	0,82
Total		2	22	21	17	7	10	79	18,0	

Cuadro 23. Distribución del número de árboles muertos anualmente por clase diamétrica de las parcelas tratadas

Parcelas tratadas										
Clase diamétrica	Años									Tasa anual ajustada (%)
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	
N inicial	278									
10-19,9		11	8	7	4	2	2	34	12,0	3,1
20-29,9		4	5	3	2	1	-	15	5,4	1,6
30-39,9		3	2	1	1	1	3	11	3,9	0,81
Total		18	15	11	7	4	5	60	21,3	

De acuerdo a los resultados obtenidos del ajuste de la información a un modelo exponencial negativo, la mortalidad anual en las clases diamétricas de ambos tratamientos es parecida, exceptuando la clase diamétrica de 20-29,9 cm. en las parcelas tratadas donde su mortalidad es mayor a las testigo. Sin embargo, considerando que la mortalidad está en función del número de individuos, en el bosque tratado morirán mayor número de árboles como consecuencia de tener más individuos que el bosque testigo.

Este modelo se presenta por clase diamétrica y tratamiento, y los coeficientes correspondientes se presentan en el Cuadro 24; la variación del número de sobrevivientes conforme pasa el tiempo se explican satisfactoriamente en todas las clases diamétricas y tratamientos, asimismo fue probado para la información total de ambos tratamientos, encontrándose que en las parcelas testigo la tasa de mortalidad anual es de 5,4 % con un $R^2=0,8690$ y en las tratadas de 5,6 % con un $R^2=0,8351$.

Cuadro 24. Modelos exponencial negativo de regresión para la mortalidad por clase diamétrica y tratamiento. $N = N_0 e^{-\beta t}$

Clase diamétrica	Testigo			Tratado		
	Pendiente (β)	P	R ²	Pendiente (β)	P	R ²
10-19,9	-0,032172	*	0,8527	-0,031023	*	0,8227
20-29,9	-0,008870	**	0,9600	-0,016193	*	0,7768
30-39,9	-0,008217	*	0,8140	-0,008176	**	0,8657

** = $P \leq 0,01$

* = $P \leq 0,05$

ns = no significativo

5.9. Futuro potencial productivo del área.

5.9.1. Proyección del crecimiento por tratamiento y escenario

Como resultado de la proyección realizada a través del modelo determinado, se obtuvo diferentes patrones de análisis que conllevan a establecer una perspectiva para el manejo del bosque estudiado. Es importante hacer mención que para la proyección se ha desarrollado una variante de un modelo de proyección por clase diamétrica de acuerdo a la terminología de Alder (1995).

Asimismo, es necesario notar que en el presente trabajo se pretendía considerar como criterio básico para establecer el ciclo de corta, al periodo que necesita el bosque para tener una estructura que permita el aprovechamiento de por lo menos 10 árboles por ha. con un diámetro mínimo de corta de 50 cm.. Sin embargo, no presentándose esta situación después de la proyección del crecimiento, el criterio será el mismo pero de carácter aproximativo.

En las Figuras 25, 26, 27, 28, 29, y 30 se ilustran los cambios estructurales que se presentaron al final de cada periodo de proyección por tratamiento y escenario. Se distingue que la estructura del escenario 1 (especies comerciales y no comerciales) en número de árboles, área basal, y volumen comercial por ha en ambos tratamientos, dentro de 20 años será similar a la estructura de un bosque primario (Cuadro 25). Los cambios que se producen en el número de árboles por ha y clase diamétrica en cada periodo proyectado son más visibles en el bosque tratado que en el testigo.

En el escenario 2 (especies comerciales) también se distinguen las diferencias establecidas en el escenario 1, sin embargo el movimiento del número de árboles de una clase diamétrica a otra inmediata superior se concentra en las tres primeras clases diamétricas del bosque tratado, situación que es debido al mayor crecimiento de los árboles que pertenecen a estas clases diamétricas. En cambio en el bosque testigo no se presenta la misma situación.

En el escenario 3 (árboles seleccionados de las especies comerciales) los cambios estructurales son mucho más diferenciados que los anteriores escenarios, con especial referencia en el bosque tratado.

Estas diferencias en los tres escenarios se deben principalmente a dos procesos fundamentales que se presentan en el bosque con tratamiento silvicultural, que son: a) el mayor crecimiento diamétrico de sus árboles; b) y la mayor cantidad de árboles reclutas. La mortalidad natural por clase diamétrica no es un proceso que influya en estos cambios debido a que son casi iguales en ambos tratamientos.

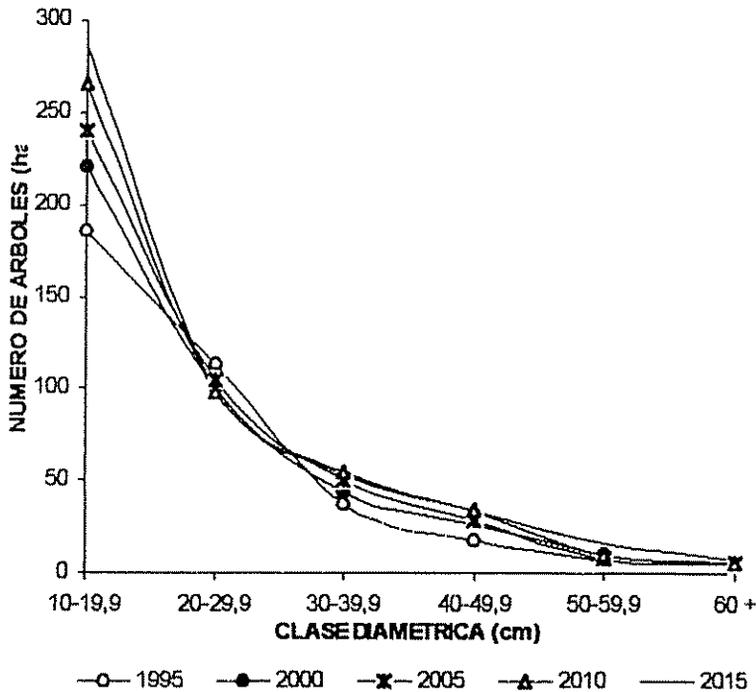


Figura 25. Cambios en la estructura del escenario 1 del bosque testigo al final de cada período de proyección. Escenario 1 = especies comerciales y no comerciales.

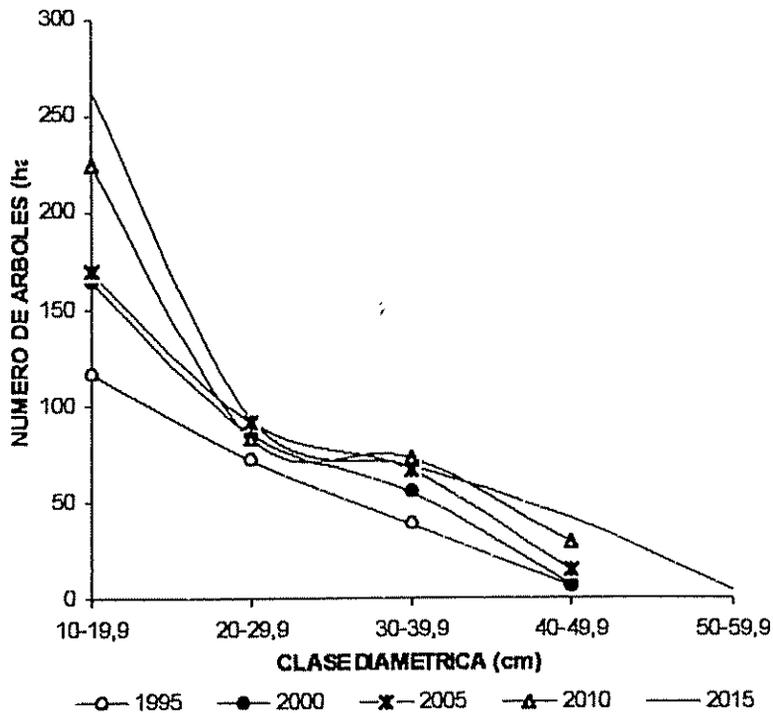


Figura 26. Cambios en la estructura del escenario 1 del bosque tratado al final de cada período de proyección. Escenario 1 = especies comerciales y no comerciales.

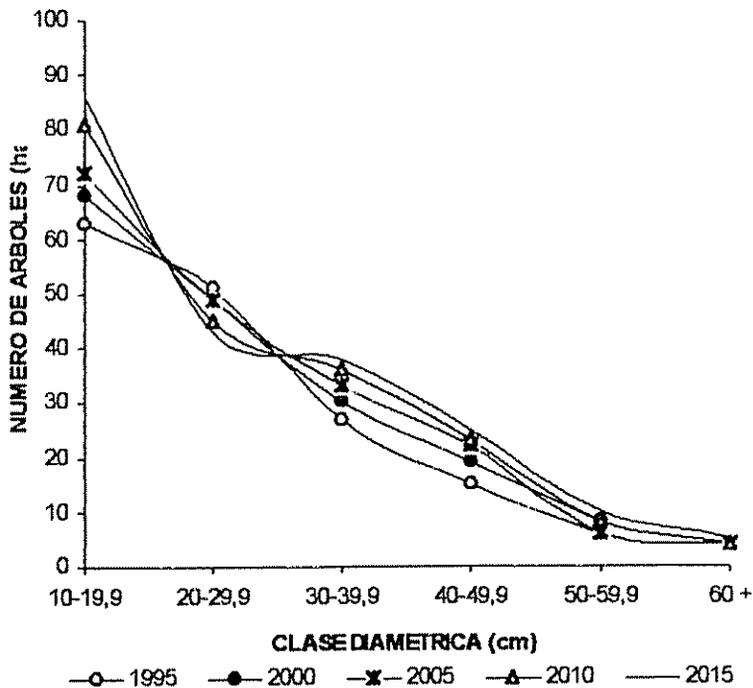


Figura 27. Cambios en la estructura del escenario 2 del bosque testigo al final de cada período de proyección. Escenario 2 = especies comerciales.

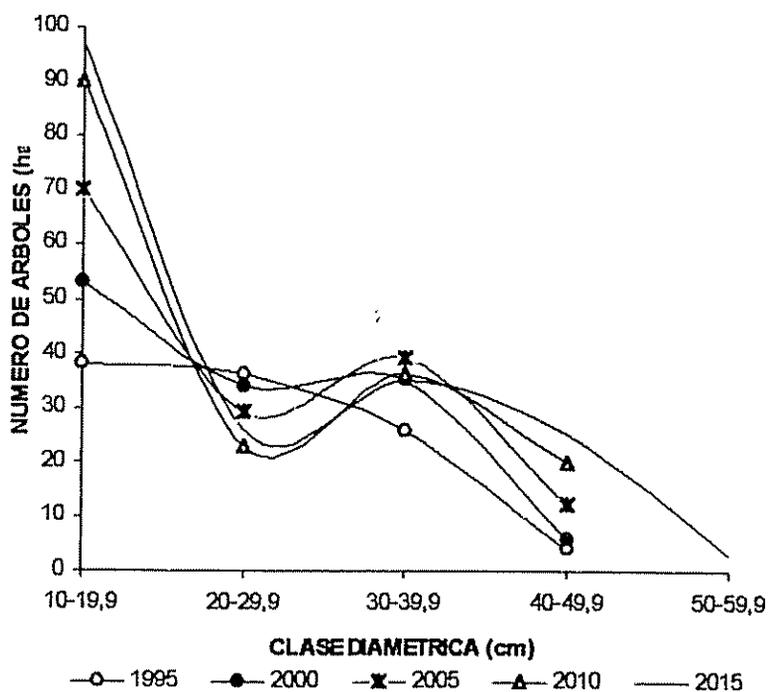


Figura 28. Cambios en la estructura del escenario 2 del bosque tratado al final de cada período de proyección. Escenario 2 = especies comerciales.

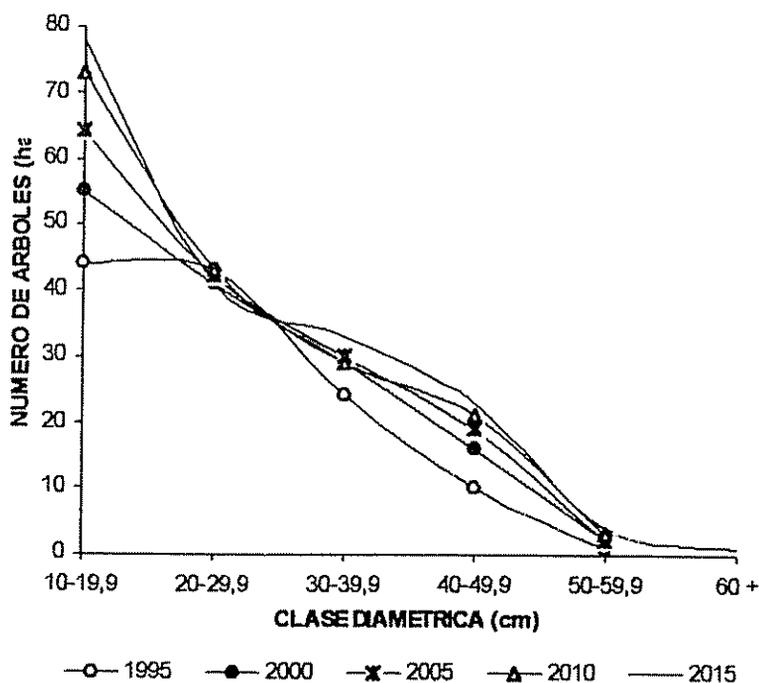


Figura 29. Cambios en la estructura del escenario 3 del bosque testigo al final de cada período de proyección. Escenario 3 = árboles seleccionados de especies comerciales.

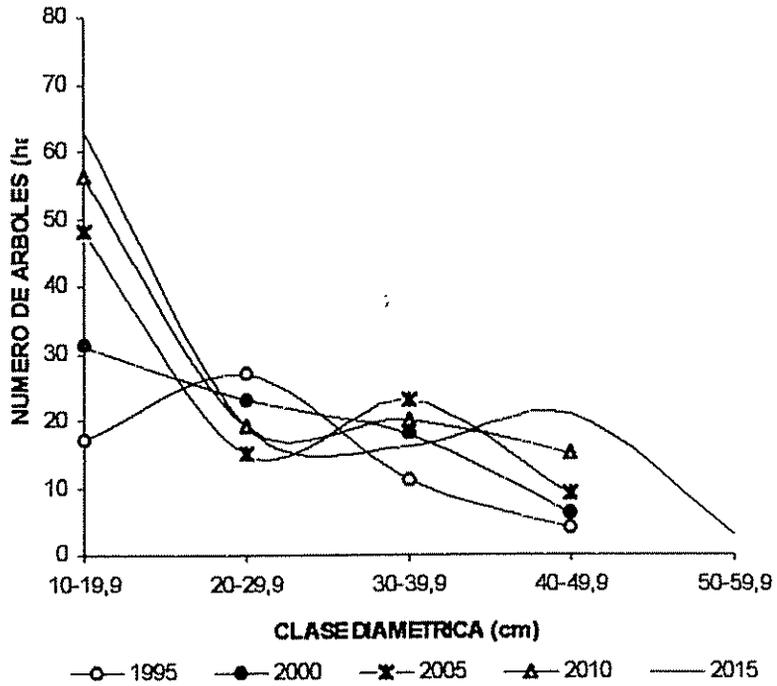


Figura 30. Cambios en la estructura del escenario 3 del bosque tratado al final de cada período de proyección. Escenario 3 = árboles seleccionados de especies comerciales.

Cuadro 25. Número de árboles (ha), área basal ($m^2 ha^{-1}$), volumen comercial con y sin corteza ($m^3 ha^{-1}$) después de proyectado el crecimiento en periodos de 5 años por tratamiento y escenario, para árboles con $dap \geq 10$ cm..

Bosque	Escenario	Año	N	G	Vcc	Vsc
T E S T I G O	1	1995	360	16,8	105,7	98,8
		2000	400	18,8	121,4	113,7
		2005	436	20,9	138,3	129,7
		2010	468	23,2	157,4	147,9
		2015	496	25,3	176,0	165,7
	2	1995	162	9,9	66,6	62,6
		2000	174	11,1	76,3	71,7
		2005	186	12,3	86,7	81,6
		2010	197	13,7	98,7	93,1
		2015	207	15,2	111,5	105,3
	3	1995	122	7,0	45,4	42,5
		2000	143	8,3	54,3	50,9
		2005	157	9,1	60,6	56,9
		2010	169	10,1	68,3	64,1
		2015	180	11,1	76,4	71,8
T R A T A D O	1	1995	232	10,1	61,2	56,9
		2000	311	12,7	78,5	73,1
		2005	341	15,5	98,7	92,2
		2010	409	18,9	123,5	115,5
		2015	470	22,8	151,3	141,6
	2	1995	104	5,5	34,9	32,6
		2000	128	6,6	43,0	40,2
		2005	150	7,9	52,7	49,4
		2010	169	9,3	63,5	59,6
		2015	186	10,9	75,9	71,3
	3	1995	59	3,3	21,4	20,0
		2000	78	4,1	27,3	25,6
		2005	95	5,1	34,6	32,4
		2010	110	6,2	43,3	40,7
		2015	122	7,4	52,4	49,3

Escenario 1 = especies comerciales y no comerciales; Escenario 2 = especies comerciales;
Escenario 3 = especies comerciales considerando árboles seleccionados

En cuanto al incremento medio anual en área basal y volumen comercial, de Guillen y Finegan (1992), se desprende que un bosque secundario de 25 años de edad puede alcanzar un IMA entre 2,3 y 7 m³ ha⁻¹ de volumen, y de 1 m² ha⁻¹ de área basal. Para los bosques tropicales primarios de Surinam, De Graaf (1986) reporta IMA's comerciales entre 2,0 y 4,5 m³ ha⁻¹. En cambio Siteo (1992) encontró que el incremento de área basal de las especies comerciales de un bosque primario de Costa Rica es de 0,36 m² ha⁻¹ por año.

De acuerdo con las proyecciones realizadas en el presente trabajo, los incrementos medios anuales de los próximos 20 años para todo el bosque y por tratamiento serán de: 0,33 m² ha⁻¹ de área basal y de 3,51 m³ ha⁻¹ de volumen en el bosque sin tratamiento silvicultural; en cambio, en el bosque con tratamiento de liberación de árboles seleccionados es de 0,63 m² ha⁻¹ y de 4,5 m³ ha⁻¹. Asimismo, las especies comerciales crecerán en el orden de 0,26 m² ha⁻¹ de área basal y 2,24 m³ ha⁻¹ de volumen en el bosque testigo, y en el bosque tratado será de 0,27 m² ha⁻¹ y de 2,10 m³ ha⁻¹.

El rendimiento absoluto menor del bosque tratado se debe principalmente a la ausencia de árboles de grandes dimensiones y también a que el bosque tratado ya rindió un aprovechamiento rentable en el año 1988.

En el Cuadro 26 se ilustran los incrementos medios anuales en área basal y volumen comercial para el periodo observado directamente y para cada periodo proyectado, distinguiéndose que los rendimientos en área basal y volumen de todas las especies en conjunto (comerciales y no comerciales) del bosque testigo son parecidos entre lo observado (periodo 1) y los proyectados. En el bosque tratado del mismo escenario las diferencias son mayores en el rendimiento volumétrico que el de área basal, además que estas diferencias se van incrementando conforme transcurre el tiempo.

Las desigualdades de los rendimientos entre tratamientos, es notoria debido al crecimiento superior de los árboles del bosque tratado, y a la mayor cantidad de árboles reclutas que pasan a formar parte de la población original después de cada periodo proyectado. Estos resultados confirman de alguna manera las observaciones preliminares realizadas en el acápite 5.3.

En el escenario 2, las diferencias entre el rendimiento volumétrico observado y proyectado del bosque tratado, se deben al reducido diámetro que tenían los árboles remanentes después de la aplicación del tratamiento silvicultural. El rendimiento proyectado entre tratamientos es similar, este comportamiento confirma los resultados obtenidos en el acápite 5.7.2., donde se encontró que a partir del año 1994 no existen diferencias de crecimiento entre los árboles del bosque testigo y los árboles del bosque tratado.

En el escenario 3 (árboles seleccionados de especies comerciales) los rendimientos en área basal son parecidos en todos los periodos en ambos tratamientos, pero el rendimiento en volumen en el bosque testigo decrece después del primer periodo de proyección (1995-2000), contrario al bosque tratado donde el rendimiento volumétrico se incrementa con el paso del tiempo. El hecho que el rendimiento volumétrico de las parcelas tratadas en el primer periodo proyectado sea menor, se debe principalmente a la diferente estructura inicial (1995) que tuvieron los árboles seleccionados del bosque testigo (122 árboles) respecto a la estructura de los árboles seleccionados del bosque tratado (59 árboles).

Podemos generalizar que el rendimiento proyectado en todos los escenarios del bosque con tratamiento silvicultural aumenta con el paso de los años, situación que se debe a dos aspectos principales: el primero, es que los árboles seleccionados del bosque tratado crecen más rápido que los árboles del bosque testigo; y segundo al mayor aporte de árboles reclutas por año.

Las diferencias de rendimiento entre escenarios dentro de cada tratamiento son elevadas, estas se deben principalmente a que desde el inicio de la proyección (1995) presentaron diferente composición y estructura. Esta situación contribuye a la mayor productividad que presentan las especies del escenario 1 (comerciales y no comerciales).

Cuadro 26. Rendimiento medio anual en área basal ($m^2 ha^{-1}$) y volumen comercial ($m^3 ha^{-1}$) para cada periodo proyectado por tratamiento y escenario. Escenario 1 = especies comerciales y no comerciales; Escenario 2 = especies comerciales; Escenario 3 = árboles seleccionados de las especies comerciales; Periodo 1 = (1988-1995); Periodo 2 = (1995-2000); Periodo 3 = (2000-2005); Periodo 4 = (2005-2010); Periodo 5 = (2010-2015).

Escenario	Periodo	TESTIGO		TRATADO	
		G	Vcc	G	Vcc
1	1	0,5	3,4	0,6	1,0
	2	0,4	3,1	0,5	3,5
	3	0,4	3,3	0,6	4,0
	4	0,5	3,6	0,7	4,9
	5	0,4	3,5	0,6	5,5
2	1	0,3	2,0	0,2	0,5
	2	0,2	1,9	0,2	1,6
	3	0,2	2,1	0,3	1,9
	4	0,3	2,4	0,3	2,2
	5	0,3	2,5	0,3	2,5
3	2	0,3	1,8	0,2	1,2
	3	0,2	1,3	0,2	1,5
	4	0,2	1,5	0,2	1,7
	5	0,2	1,6	0,2	1,8

En el Cuadro 27 se muestran las proporciones del aumento del área basal y del volumen comercial con corteza desde el año 1995 hasta el 2015, distinguiéndose que en el escenario 1 (todas las especies) y el escenario 3 (árboles seleccionados de especies comerciales), la proporción del aumento del área basal y del volumen en el bosque tratado será mayor hasta en un 100 % respecto al aumento proporcional del bosque testigo; en el escenario 2 (especies comerciales) el aumento proporcional es menor a los anteriores escenarios. Estas diferencias también son consecuencia del efecto del tratamiento silvicultural, donde los árboles de todos los escenarios del bosque tratado crecen con mayor rapidez que en el bosque testigo.

Las diferencias proporcionales del aumento en área basal y volumen que se presentan entre los escenarios del bosque tratado, probablemente sean debido a la mortalidad. No se puede descartar la posibilidad, que los árboles que mueren durante la proyección del escenario 2, hayan tenido diámetros que se encontraban en el límite superior de cada clase diamétrica. Sin embargo es necesario recordar, que la probabilidad de muerte es la misma para todos los árboles que se encuentran dentro de una clase diamétrica.

Cuadro 27. Aumento proporcional de área basal y volumen comercial para los próximos 20 años por tratamiento y escenario. Escenario 1 = especies comerciales y no comerciales; Escenario 2 = especies comerciales; Escenario 3 = especies comerciales con árboles seleccionados.

Escenario	Testigo		Tratado	
	G (%)	Vcc (%)	G (%)	Vcc (%)
1	50,1	66,5	125,7	147,2
2	53,5	67,4	98,2	117,5
3	58,6	68,3	124,0	144,8

Los cambios proporcionales del número de árboles por ha por grupo comercial entre la información actual (1995) y la proyectada para el año 2015 se ilustran en el Cuadro 28. Estos resultados muestran que el número de árboles de los grupos comerciales del bosque testigo tendrán un incremento proporcional inferior de por lo menos un 100 % respecto a el incremento del número de árboles por ha de todos los grupos comerciales del bosque tratado.

A nivel general, los grupos comerciales COM (actualmente comerciales) y OTC (potencialmente comerciales) en ambos tratamientos son los que mayor incremento proporcional de número de árboles por ha tendrán hasta el año 2015, en cambio en las especies del grupo comercial SNV (sin valor comercial) es menor.

Aunque las especies sin valor comercial (SNV) del bosque tratado tienen el menor aumento proporcional respecto a los otros grupos comerciales, este es elevado comparado con el obtenido en el bosque testigo. Lo anterior nos permite en cierta manera afirmar que el tratamiento silvicultural además de fomentar una mayor abundancia de especies comerciales (COM y OTC), también prolifera la abundancia de especies sin valor comercial (SNV), como posible consecuencia de la apertura del dosel, favoreciendo la invasión de especies deseables y no deseables.

El grado de representación de cada grupo comercial respecto al número total de árboles de cada año en ambos tratamientos es casi la misma. En particular el grupo de especies comercial COM (actualmente comerciales) presentará un ligero aumento entre el 1 y 2 % en la abundancia.

Cuadro 28. Incremento proporcional del número de árboles por ha. entre el año 1995 y el año 2015 por tratamiento y grupo comercial.

Grupo comercial	TESTIGO		Proporción incrementada	TRATADO		Proporción incrementada
	N (1995)	N (2015)		N (1995)	N (2015)	
COM	162	228	40%	108	223	106%
OTC	57	82	43%	46	90	95%
SNV	141	176	24%	78	152	94%

En los siguientes párrafos se desarrollarán algunos lineamientos y resultados sobre la aplicación de los estudios de crecimiento y rendimiento en la planificación del manejo forestal sostenible.

Para regular la producción de un bosque natural tropical es necesario considerar tres aspectos básicos que son: el establecimiento de un diámetro mínimo de corta, ciclo de corta, y la posibilidad silvícola de corta con base en los dos aspectos antes mencionados (Alder, 1992; Leuschner, 1990; Santillan, 1986; Davis, 1966; Veillon, 1965).

Las consideraciones que la literatura menciona para establecer un diámetro mínimo de corta son: la rentabilidad del aprovechamiento forestal, la distribución diamétrica, la tasa de crecimiento de las especies, y diámetros máximos de cada especie (Alder, 1992; Santillan, 1986; Luna, 1978, 1979). Cuando no se cuenta con suficiente información para establecer este diámetro de corta es necesario garantizar que las especies tengan por lo menos una floración para asegurar la regeneración de producciones futuras.

De acuerdo a las disposiciones legales forestales de Costa Rica, en los bosque secundarios se pueden extraer árboles con un diámetro mínimo de corta de 40 cm., sin embargo para el presente trabajo se fijó un diámetro de 50 cm., apoyado por las siguientes razones:

- a. La distribución diamétrica de las especies comerciales del bosque que no fue intervenido silviculturalmente, en la actualidad cuenta con árboles en la clase diamétrica de 50-59,9 cm. que todavía siguen creciendo, además que dicha distribución es continua de manera que garantiza el aprovechamiento en el próximo ciclo de corta (Anexo 10).
- b. Con base en la experiencia obtenida cuando se realizó el aprovechamiento de mejora, extrayendo árboles con diámetros mayor o igual a 40 cm, se observó que los árboles con estos diámetros (menores a 50 cm.) tienen poca aceptabilidad en el mercado local por sus dimensiones. No se descarta que esta tendencia pueda cambiar en el futuro, pudiéndose obtener un mayor volumen aprovechable de las especies actualmente comerciales, y de otras especies que puedan entrar al mercado.

Como alternativa para obtener una producción sostenible del bosque secundario en estudio, con base en los resultados obtenidos de la proyección del crecimiento, es necesario establecer un ciclo de corta que garantice la producción continua del área de estudio.

Un ciclo de corta podríamos definirlo como "Un periodo prefijado de años durante el cual se espera que un bosque aprovechado se recupere y desarrolle para una cosecha futura", sin embargo otros autores también lo definen como "el intervalo de tiempo que transcurre entre dos aprovechamientos sucesivos" (Alder, 1992; Leuschner, 1990; Santillan, 1986; Luna, 1978). En cambio, la rotación o turno no es más que "el número de años entre la formación o regeneración del bosque coetáneo y el aprovechamiento final de la masa forestal" (Padilla, 1987; Luna, 1977). Pero en un bosque discetáneo el turno generalmente se determina por especie, siendo este el tiempo desde su regeneración hasta su madurez.

En bosques naturales tropicales generalmente se establecen sistemas de manejo policíclicos o monocíclicos (Luna, 1978). Dada las características de los bosques naturales secundarios que generalmente están ubicados en sitios degradados y de baja fertilidad (Finegan, 1992), el sistema monocíclico puede ser el más adecuado para manipular el bosque, aunque Hutchinson decidió dirigir el bosque secundario de San Isidro hacia un estado discetáneo, a través de un sistema policíclico.

Si un bosque es manejado bajo un sistema monocíclico, el ciclo de corta es igual al tiempo de rotación, realizándose un aprovechamiento al final de cada rotación, este sistema es aplicable a bosques coetáneos, plantaciones forestales, grupos de especies (heliófitas, esciófitas), y sucesiones secundarias.

Un sistema de manejo policíclico es aplicable a bosques discetáneos, donde se pueden realizar 2 o más aprovechamientos por rotación, es decir que el ciclo de corta es menor al tiempo de rotación.

El manejo intensivo de un bosque acelera su crecimiento y de esa manera acorta el tiempo del ciclo de corta, y las ventajas que se pueden obtener es la reducción de pérdidas de arbolado muerto, además que generalmente se obtienen mayores rendimientos (de Graff, 1986; Santillan, 1986). Según Alder (1992) para la obtención de un ciclo de corta adecuado y de rotación es necesario considerar los tiempos de paso en base a los incrementos diamétricos por especie, metodología apropiada para bosques normales o en equilibrio.

Los ciclos de corta en bosque naturales tropicales pueden variar entre 15 y 40 años. De Graaf (1986) en el bosque Mapane de Surinam que se encuentra manejado bajo el Sistema Celos, propone un ciclo de corta de 20 años. En Queensland, se aplican ciclos de corta entre 15 y 20 años (Lamprech, 1990). Para un bosque primario de Costa Rica se estableció un ciclo de corta de 20 años (Quiróz y Finegan, 1994). En cambio el ciclo de rotación para algunas especies de América Central como la *Goethalsia meiantha* y la *Simarouba amara* fluctúan entre 15 y 25 años (Finegan, 1992). No se debe perder de vista que el ciclo de corta depende mucho de cuanto volumen se desea extraer en cada intervención.

Dada la situación que el bosque secundario en estudio esta orientado a un sistema de manejo policíclico, y la fijación del ciclo de corta esta condicionada a cumplir un requerimiento de 10 árboles por ha con diámetro mínimo de corta de 50 cm para realizar el próximo aprovechamiento. El ciclo de corta en el bosque tratado será de aproximadamente 25 años, debido a que los resultados obtenidos de la proyección del crecimiento reflejan que en los próximos 20 años el bosque no contará con los requerimientos arriba mencionados (Cuadro 29; Anexo 10).

Es necesario aclarar que este primer ciclo de corta será más prolongado debido a que el tamaño de los árboles remanentes del aprovechamiento de mejora y liberación de árboles seleccionados era entre 30 y 39,9 cm, motivo por el cual el tiempo que necesitan los árboles para alcanzar el diámetro mínimo de corta fijado es mayor al tiempo que normalmente necesitarían para pasar de una clase diamétrica a otra inmediata superior.

Si consideramos que el próximo aprovechamiento tiene que realizarse dentro de 20 años, la producción en el escenario 2 (especies comerciales) y 3 (árboles seleccionados de especies comerciales) será de 3 árboles por ha con un área basal de $0,61 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $5,36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Cuadro 29).

La incertidumbre de porque no proyectar el crecimiento hasta que realmente se obtengan los 10 árboles aprovechables por ha es notoria, sin embargo, el motivo de esta decisión es que el bosque estudiado en la actualidad se encuentra todavía en un proceso de transformación donde se producen cambios en su dinámica y estructura, y la proyección podría arrojar resultados erróneos o teóricos. Asimismo, se debe considerar que los incrementos diamétricos del bosque tratado disminuyen a medida que pasa el tiempo, situación que se debe a la mayor densidad de árboles y competencia.

Otro aspecto fundamental dentro de la regulación de producción de un bosque es la determinación de la posibilidad de corta. Según Leuschner (1990) y Santillan (1986), la posibilidad no es más que el volumen que se puede extraer anualmente o periódicamente de un bosque. Existen diferentes métodos para el cálculo de este factor, los principales son: regulación por área, volumen, número de árboles y métodos de regulación combinados (Leuschner, 1990).

En nuestro caso la regulación podríamos realizarla por todos los métodos propuestos respetando lógicamente el diámetro mínimo de corta establecido, sin embargo, dada la situación que no se tiene el número mínimo de árboles por ha contemplado en la fijación del ciclo de corta, la posibilidad puede ser determinada en base a la información por tratamiento que se muestra en el Cuadro 29, siempre y cuando las cantidades encontradas sean rentables para el propietario o arrendante del bosque.

Nótese que los posibles volúmenes a extraer de especies comerciales del bosque testigo en los últimos dos periodos de proyección (Año 2010 y 2015) son parecidos a los volúmenes que se extraen en bosques naturales tropicales primarios. En cambio en el bosque tratado no se presenta tal situación por las diferencias estructurales producidas como consecuencia de la aplicación del tratamiento silvicultural. Es importante mencionar que el número de árboles y volumen comercial extraídos por el tratamiento (aprovechamiento de mejora y liberación de árboles seleccionados) son de 20,2 por ha y 16,9 m³ ha⁻¹ de especies comerciales y no comerciales; en las especies comerciales se extrajo 8 árboles por ha que representan 9,8 m³.

Cuadro 29. Número de árboles por ha, área basal (m² ha⁻¹), y volumen comercial con y sin corteza (m³ ha⁻¹) disponibles para su extracción en los diferentes periodos proyectados por tratamiento y escenario (dap ≥ 50 cm.).

Bosque	Escenario	Año	N	G	Vcc	Vsc
T E S T I G O	2	1995	6	1,35	11,5	10,95
		2000	8	1,92	16,7	15,94
		2005	10	2,54	22,5	21,51
		2010	12	3,2	28,7	27,42
		2015	15	4,14	37,6	35,95
	3	1995	1	0,23	1,95	1,86
		2000	2	0,45	3,82	3,64
		2005	2	0,47	4,11	3,92
		2010	3	0,71	6,11	5,83
		2015	5	1,16	9,95	9,5
T R A T A D O	2	1995	-	-	-	-
		2000	-	-	-	-
		2005	-	-	-	-
		2010	-	-	-	-
		2015	3	0,61	5,36	5,09
	3	1995	-	-	-	-
		2000	-	-	-	-
		2005	-	-	-	-
		2010	-	-	-	-
		2015	3	0,61	5,36	5,09

5.10. Discusión general

Los bosques naturales del trópico en los últimos años han ido tomando importancia para la sociedad por los bienes y servicios que brindan, y pueden ser aprovechados en forma continua cuando se somete a un manejo técnicamente planificado. En la actualidad ya existen técnicas y operaciones silviculturales que sustentan la rentabilidad económica y la sostenibilidad ecológica de un bosque manejado (Leslie, 1987; Maini, 1992; Hutchinson, 1993; Finegan y Sabogal, 1988; Baur, 1964).

El aprovechamiento de mejora y la liberación de árboles seleccionados son labores silviculturales que promueven el enriquecimiento del bosque, fomentando el crecimiento de los árboles individuales y del bosque en general (Hutchinson, 1993). Cuando se aplican simultáneamente estas dos técnicas, como en el caso del bosque secundario de San Isidro, es necesario tomar en cuenta que los árboles a aprovechar estén enmarcados dentro de un rango diamétrico aceptable, que no conlleve a la apertura excesiva del dosel. Debido a que esta situación, independientemente de fomentar el crecimiento de los árboles seleccionados, se crean las condiciones adecuadas para la ocupación de especies invasoras (heliófitas efímeras) que generalmente no tienen valor comercial, como en nuestro caso la canilla de mula (*Licania, sp.*), y el targua (*Croton sp.*). De esta manera se podría aplicar el tratamiento de liberación de árboles seleccionados en períodos más cortos, sin necesidad de aplicar técnicas para eliminar las especies invasoras o no deseables. Como ejemplo, De Graaf (1986) en Surinam determinó a través de extrapolaciones, periodos de 8 años entre tratamientos de refinamiento. Ahora si analizamos el crecimiento del bosque secundario estudiado, tiene dos tendencias bien marcadas: la primera es que el bosque sin tratamiento silvicultural en los últimos años su crecimiento esta casi estancado, situación que requiere de estudios más profundos para determinar que factor es el limitante de su crecimiento (edáfico, climático, otros); y la segunda es que el bosque tratado tiene un crecimiento rápido inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, pero va decreciendo a medida que pasan los años. Esta situación posiblemente conlleve a que en unos cuantos años más el bosque tenga que ser tratado nuevamente.

El tamaño de las parcelas permanentes de muestreo y las variables a medir por árbol individual son de vital importancia para estudiar el crecimiento y rendimiento en forma realista. Dependiendo del tipo de bosque y de las condiciones ambientales del sitio estas

deben ser establecidas (Synnott, 1979, 1992; Sweet & Byrne, 1990; Alder 1983; Hutchinson, 1982), sin embargo en los bosques secundarios es necesario considerar la fase sucesional del mismo, mientras la fase de sucesión sea mayor el tamaño de las parcelas deben ser más grandes, de esta manera se reduce la probabilidad de que la caída de un árbol grande dañe seriamente la estructura de toda la unidad de muestreo y se interrumpa las mediciones secuenciales. Las variables medidas en nuestro estudio son algunas de las más explicativas e influyentes del crecimiento de un árbol individual, sin embargo, considerando que el bosque se ha desarrollado sobre un suelo degradado que contiene un elevado porcentaje de aluminio, es necesario recabar información en este sentido para determinar si estos componentes explican o tienen influencia sobre el crecimiento del bosque en general.

Estas variables normalmente son medidas a través de escalas establecidas de acuerdo a las características del bosque (Synnott, 1992, 1979; Clark y Clark, 1990; Dawkins, 1958) , en el presente estudio se utilizó las escalas propuestas por Hutchinson (1987). Se nota la necesidad de establecer escalas estandarizadas por tipo de bosque o por zonas de vida, de manera que se tenga un lineamiento básico para la investigación de los bosques en general con especial referencia al de los trópicos. Una desventaja para el procesamiento de estas variables, es la escasa difusión de literatura de estadísticas forestales para el análisis de este tipo de información, por lo que es necesario utilizar pruebas que se aplican en otras ciencias a este tipo de variables, denominadas como ordinales por Daniel (1977). En el presente trabajo, se confirma que el crecimiento de los árboles depende en gran medida de las características de sus copas: conforme aumenta la iluminación recibida, tanto como la calidad de la copa, aumenta el incremento diamétrico. Esta situación también fue encontrada en el crecimiento de árboles de un bosque primario de Costa Rica (Sitoe, 1992). Asimismo se puede asegurar que los árboles que desde un inicio tienen crecimiento rápido continúan con este ritmo de crecimiento en los siguientes años, aunque con el paso del tiempo el bosque es más denso y como efecto posiblemente de la competencia el crecimiento de estos árboles va decreciendo, ya que el grado de correlación lineal entre los incrementos es menor tanto en el bosque con tratamiento silvicultural como en el no tratado.

Para encontrar modelos que determinen el volumen comercial de los árboles, de acuerdo a la literatura generalmente estos requieren información de árboles tumbados con mediciones de cada troza (Da Silva *et al.*, 1994; Martínez *et al.*, 1993; Cailliez, 1980). No obstante, una manera práctica y sencilla de recabar información confiable de árboles en pie es utilizando el Pentaprisma de Wheeler (forcípula óptica), aunque su precisión es de ± 12 mm. (Romahn de la Vega, 1994; Wood, 1990; Husch, 1963) no restringe su uso por las múltiples ventajas que facilita. Ciertamente con este instrumento la distancia entre el observador y el árbol a medir no tiene límite, pero la precisión y confiabilidad de la medición es mayor cuando esta distancia es proporcional a la altura entre la superficie del suelo y el punto donde se desea medir el diámetro. Igualmente, para el diámetro a la altura del pecho es mejor utilizar una cinta diamétrica que una forcípula común, con cinta diamétrica se tiene una precisión de 1 mm., además que el resultado del diámetro medido es el promedio de n posibles diámetros que pueda tener un fuste. En el presente trabajo se adoptó el uso de estos dos instrumentos. Considerando que el dap y el volumen no presentan una distribución normal, su transformación logarítmica es mejor para homogeneizar las varianzas y cumplir con los supuestos de residuos que validan los modelos de regresión.

En lo referente a estudios de crecimiento y rendimiento de los bosques naturales secundarios tropicales, en la actualidad existen pocos comparados con la superficie e importancia que tienen estos bosques. Esta situación se presenta como consecuencia de que es un ecosistema poco conocido, y a la falta de planificación y recursos económicos para promover estudios que necesitan información secuencial durante periodos de tiempo prolongados. Por estas razones se ve la necesidad de motivar y demostrar especialmente a los organismos de investigación, sobre la importancia actual y futura que tienen y pueden tener estos estudios para la planificación del manejo sostenible de los bosques tropicales.

A nivel de especies individuales el crecimiento es variable, dependiendo de sus características ecológicas principalmente, y sus incrementos diamétricos generalmente presentan sesgo, motivo por el cual es recomendable la utilización de la mediana del incremento para evitar sobrestimaciones. Dada esta situación existe la tendencia de muchos autores en utilizar la mediana (Alder, 1995, 1983; Vanclay, 1994; Klepac, 1983), aunque en nuestro estudio existen especies que presentan una distribución de sus incrementos insesgada.

Trabajos realizados muestran que los árboles de las clases diamétricas menores reaccionan con mayor intensidad a los cambios ambientales que se dan como efecto de la aplicación de tratamientos silviculturales (Finegan, 1995; De Graaf, 1986). Situación que se presenta posiblemente por el menor requerimiento de luz que tienen los árboles dominantes. Sin embargo, en el presente estudio se demuestra que los árboles de todas las clases diamétricas crecen más rápido después del tratamiento de aprovechamiento de mejora y liberación de árboles seleccionados.

Cuando no se cuenta con la suficiente información para estudiar el crecimiento a nivel de especie individual, el agrupamiento de especies con crecimiento parecido se convierte en una alternativa posible para estudiar y proyectar el crecimiento de un bosque por dos razones principales: primero porque separa las especies de acuerdo a su velocidad de crecimiento (rápido, medio y lento), evitando de esta manera la sobrestimación o subestimación del crecimiento, y segundo porque el grado de variabilidad del crecimiento de las especies de un mismo grupo es reducido. En la actualidad existen pocos estudios de agrupamiento de especies de acuerdo a las características de crecimiento de cada especie, generalmente esta separación se realiza considerando los gremios ecológicos (heliófitas y esciófitas) y grupos comerciales. El agrupamiento de especies de acuerdo a su crecimiento, fue aplicado en el bosque tropical de Tapajos-Brazil, y en el norte de Queensland-Australia por Alder (1995) y Vanclay (1991, 1994), donde también adoptaron la metodología de Cluster para formar los grupos, y la ventaja principal del agrupamiento es que minimiza la variabilidad dentro de cada grupo y la maximiza entre grupos (Vanclay, 1994).

La mortalidad natural de los bosques tropicales generalmente tienen la tendencia exponencial negativa (Lieberman & Lieberman, 1987), sin embargo cuando el número de individuos es bajo y dado que la mortalidad es un evento de baja frecuencia, en algunos casos la curva de mortalidad puede ser sigmoideal o convexa en representación semilogarítmica (Korning & Balslev, 1994), o no presentar una tendencia definida y clara. En los bosques discetáneos (primarios) la tasa de mortalidad es independiente de la clase de tamaño de los árboles (Lieberman et al, 1985). En cambio, en los bosques naturales secundarios, la mortalidad se concentra en los árboles de las clases diamétricas menores, es decir, que a medida que los árboles tienen mayor tamaño la probabilidad de morir es menor, en nuestro estudio del total de árboles muertos durante el período de

observación, el 62 % en las parcelas testigo y el 56 % en las parcelas tratadas corresponden a árboles con diámetros entre 10-19,9 cm.. Situación que también se presentó en los bosque secundarios del noreste de Costa Rica (Finegan y Guillen, 1995). Los árboles con diámetro superior a 40 cm no presentan mortalidad, aunque lógicamente estos árboles en algún momento del tiempo dejarán de crecer, completarán su ciclo de vida y morirán.

Por su parte el reclutamiento de árboles en la clase diamétrica menor (10-19,9 cm.) generalmente no tiene un comportamiento definido a través del tiempo, pero es claro que la mayor cantidad de reclutas se presenta en los años posteriores a una apertura de dosel por la aplicación de tratamientos silviculturales o debido a daños ocasionados por eventos naturales. Se puede generalizar en forma preliminar que una de las razones fundamentales para que los latizales y brinzales se desarrollen con mayor rapidez, es el grado de iluminación que reciben. Ciertamente que los latizales y brinzales de especies de crecimiento rápido crecerán más rápido que de otras especies. .

Las proyecciones del crecimiento a través de modelos, generalmente tienen cierto grado de complejidad para su entendimiento, en la mayoría de los casos son expresados como modelos matemáticos, o caso contrario son difundidos en forma general sin explicación de los pasos intermedios que se deben seguir para proyectar el crecimiento de un bosque. En el presente estudio se trata de ser explicativo en toda la secuencia que se debe seguir para realizar proyecciones en forma práctica y entendible. El modelo utilizado fue una variante de un modelo de proyección por clase diamétrica "Diameter class projection methods" (Alder, 1995, 1983), también denominado como modelos por clase de tamaño por otros autores "Size class models" (Vanclay, 1994). Estos modelos pueden acomodar especies individuales y la variante incluida en el presente caso es que la proyección se realiza por grupos de especies de crecimiento parecido. La precisión de la proyección depende en gran medida de la secuencia lógica a seguir, y la confiabilidad y manipulación de la información a utilizar. El modelo presenta múltiples utilidades, permite predecir la producción futura, determinar la abundancia en términos de grupos comerciales, muestra los cambios que se producen en la distribución diamétrica a través del tiempo, y estima el año aproximado de un futuro aprovechamiento.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo permitió llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Los coeficientes mórficos determinados en el bosque secundario de San Isidro son similares a los reportados en otros trabajos realizados en bosques naturales tropicales.
- Las tendencias globales de los rendimientos obtenidos tanto en área basal y volumen comercial durante el periodo de observación muestran que el bosque tratado está creciendo a una tasa mayor que el bosque testigo, situación que se debe principalmente a la aplicación del tratamiento silvicultural que fomenta el crecimiento en forma directa a los árboles seleccionados e indirectamente a sus vecinos.
- Durante el periodo de observación directa, el crecimiento medio anual del conjunto de especies (comerciales y no comerciales) del bosque testigo fue de $0,52 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal y de $3,36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en volumen, donde las especies comerciales crecen anualmente $0,30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $2,09 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En cambio después de la aplicación del tratamiento silvicultural, el bosque tratado creció en el orden de $0,46 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y las especies comerciales crecen $0,22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $0,47 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Sin embargo, estos resultados son menores a los encontrados en otros bosques secundarios, como los de Sarapiquí, Costa Rica (Guillen y Finegan, 1993). Aunque, es importante aclarar que el rendimiento menor del bosque tratado, es debido a las diferencias estructurales que se presentan después de la aplicación del tratamiento silvicultural, entre el bosque tratado y el testigo.
- Los incrementos diamétricos de cada especie presentan una distribución y tendencia particular en cada tratamiento y escenario, que deben ser consideradas de importancia para realizar proyecciones del crecimiento y rendimiento. Una manera de minimizar la variabilidad del crecimiento es formando grupos de especies de crecimiento parecido. Generalmente se establecieron dos grupos de crecimiento en todos los escenarios y las especies más representativas son: especies de crecimiento rápido como el Mayo (*Vochysia ferruginea*) con un incremento mediano de $0,85 \text{ cm/año}$ en el bosque testigo y de $1,39 \text{ cm/año}$ en el bosque tratado, y especies de crecimiento lento como la Fruta dorada (*Virola sp*) y la Guava (*Inga sp*) con $0,13 \text{ cm/año}$ en el bosque testigo y en el tratado el Colorado (*Persea sp.*) con una mediana de $0,28 \text{ cm/año}$.

- El grado de iluminación que recibe la copa, la forma de copa y la calidad del fuste son las variables que mayor relación tienen al crecimiento del árbol individual. Los incrementos diamétricos anuales de los árboles conservan su tendencia dependiendo de sus incrementos iniciales, o sea, los árboles que al inicio presentan crecimiento rápido tienden a mantener este comportamiento en los siguientes años.
- Las diferencias de crecimiento diamétrico entre escenarios son bajas dentro de cada tratamiento por la influencia de especies de crecimiento rápido como el mayo (*Vochysia ferruginea*) y el gallinazo (*Jacaranda copaia*), pero entre tratamientos las diferencias son significativas, a tal grado que como consecuencia de la liberación de árboles seleccionados existen especies que aumentaron su crecimiento diamétrico en un 80 % como el caso del aceituno (*Simarouba amara*), como también existieron otras especies como el ajillo (*Pithecelobium sp*) que no reaccionaron a este tratamiento.
- El tratamiento de aprovechamiento de mejora y liberación de árboles seleccionados ejerció una influencia notable en el crecimiento de la mayoría de las especies, tanto comerciales como no comerciales, aunque estas diferencias se van reduciendo paulatinamente con el paso del tiempo.
- La mortalidad natural y el reclutamiento de nuevos individuos son casi iguales en las parcelas testigo, en cambio en las parcelas tratadas el reclutamiento es mayor a la mortalidad, además que la mayor proporción de estos reclutas pertenecen a especies comerciales. Asimismo, los árboles que se encuentran en la clase diamétrica de 10-19,9 cm son los que presentan mayor mortalidad, por ser suprimidos por árboles de clases diamétrica superiores.
- El modelo de proyección utilizado es por clase diamétrica y considera los principales componentes de la dinámica del bosque estudiado, además que no limita el tiempo de proyección. La información resultante del mismo nos permite predecir la futura productividad del bosque, los cambios de composición en términos de grupos comerciales, y el año aproximado de un futuro aprovechamiento.

- El diámetro mínimo de corta fijado es de 50 cm, y para aprovechar como mínimo 10 árboles por ha en el bosque tratado se requiere un periodo de 25 años aproximadamente. Este periodo prolongado se debe principalmente al mayor diámetro mínimo de corta (DMC) establecido en el presente trabajo. Por tanto una vez realizado el primer aprovechamiento con este DMC es necesario redefinir el ciclo de corta.
- El rendimiento medio anual estimado del bosque en los próximos 20 años será de: $0,33 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal y de $3,51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de volumen en el bosque sin tratamiento silvicultural; en cambio, en el bosque tratado con tratamiento de liberación de árboles seleccionados será de $0,63 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y de $4,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Asimismo, las especies comerciales crecerán en el orden de $0,26 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal y $2,24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de volumen en el bosque testigo, y en el bosque tratado será de $0,27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y de $2,10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Estos resultados se aproximan en mayor grado a los encontrados en un bosque secundario dominado por la especie *Vochysia ferruginea* en Costa Rica (Guillen y Finegan, 1993).
- Considerando la importancia de la información recolectada y los resultados que se van obteniendo de las parcelas permanentes del bosque secundario de San Isidro, es recomendable continuar dando seguimiento a dicho experimento, y establecer nuevas investigaciones relacionadas con tratamientos silviculturales y factores que influyen en el crecimiento del bosque (edáfico, climático, otros).
- Como producto del presente trabajo realizado y considerando que la literatura no hace hincapie sobre las bondades que facilitan las clases de identidad, se recomienda que en la toma de datos de parcelas permanentes de muestreo se considere la escala utilizada (propuesta por Hutchinson, 1988), por las siguientes razones: primero porque facilita el procesamiento de la información, y segundo porque permite al usuario un mejor entendimiento de la dinámica del bosque y de los árboles individuales.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALDER, D. 1980. Estimación del Volumen y Predicción del Rendimiento. Estudio de FAO/MONTES No. 22/2 80 p.
- , 1983. Growth and yield of the mixed forest of the humid tropics: a review. Consultancy report prepared for the FAO of the United Nations. Oxford, G.B. 44p.
- , 1992. Simple methods for calculating minimum diameter and sustainable yield in mixed tropical forest. Oxford, Reino Unido. 13 p.
- , 1995. Growth modelling for mixed tropical forest. Oxford, Reino Unido 231 p.
- ALDER, A.; SYNNOTT, T. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Oxford Forestry Institute (U.K.). Paper N° 25. 124 p.
- BAUR, G. 1964. The ecological basis of rainforest management. Sydney, FAO. 499 p.
- BECERRA, J. 1971. Algunas consideraciones técnicas para la ordenación de un bosque heterogéneo natural en la zona húmeda tropical. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg.Sc., CATIE. 135 p.
- BEGON, M.; HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. 1986. Ecology: individuals, populations and communities. Oxford, Reino Unido. Blackwell. 876 p.
- BROWN, S.; LUGO, A. 1990. Tropical secondary forests. Journal of Tropical Ecology. N°6. 1-32 p.
- BRUCE, D.; SCHUMACHER, F. 1965. Medición forestal. México 457 p.
- BUDOWSKI, G. 1963. Forest succession in tropical lowlands. Turrialba, Revista Turrialba. IICA. Enc-Mar, 13(1):42-44.
- CALLIEZ, F. 1980. Estimación del Volumen y Predicción del Rendimiento. Estudio de FAO/MONTES No. 22/1 92 p.
- CLARK, D. & CLARK, D. 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa Rican tropical rain forest. Journal of ecology 82(4):865-872p.
- DA SILVA, J.; BORDERS, B.; BRISTER, G. 1994. Estimating tree volume using a new form factor. Commonwealth Forestry Review. 73(1):14-17.

- DANIEL, W.W. 1977. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa, México, 485 p.
- DAVIS, K.P. 1966. Forest management: regulation and valuation. McGraw-Hill Book Company. 180-198 p.
- DAWKINS, H.C. 1961. New methods of improving stand composition in tropical foresters. *Caribbean Forester* 22 (1-2):12-20.
- , 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Imperial Forestry Institute, Oxford (U.K.). Paper n° 34. 155p.
- DE LUCCA, C.A. 1993. Respuesta a la intervención silvicultural de un bosque secundario en el Sur de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba C.R., CATIE. 65p.
- FABER, P.J. 1991. A distance-dependent model of tree growth. *For. Ecol. Manage.* 41:111-123.
- FINEGAN, B.; GUILLEN, L. 1995. La dinámica de los bosques húmedos neotropicales secundarios: resultados de un estudio de 8 años, y sus implicaciones para el manejo forestal. *CATIE, 2a Semana Científica, diciembre 1995, 4p.*
- FINEGAN, B. *et al.* 1995. Production and conservation in Costa Rican rainforests: the effects of logging and silviculture on tree growth and plant biodiversity. In IUFRO XX World Congress, Finlandia 17 p.
- FINEGAN, B. 1994. Crecimiento y Rendimiento. Apuntes de Bases Ecológicas para la Silvicultura CATIE-COSTA RICA.
- FINEGAN, B.; GUILLEN, L. 1992 Crecimiento y rendimiento de bosques húmedos secundarios en Sarapiquí, Costa Rica. *CATIE, Costa Rica.* 3 p.
- FINEGAN, B.; SABOGAL, C. 1988. El desarrollo de sistemas de producción sostenible en bosques tropicales húmedos de bajura: Un estudio de caso en Costa Rica. *El Chasqui* (17):3-24.
- FONTAINE, R.; GOMEZ-POMPA, A.; LUDLOW, B. 1980. Sucesiones secundarias. In UNESCO/PNUMA/FAO. *Ecosistemas de los bosques tropicales.* p.245-264.
- GRAAF, N.R. DE. 1986. A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname. Wageningen, Holanda, Agricultural University. 250 p.

- GOMEZ-POMPA, A. et al. 1976. Investigación sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Co. Ed. Continental S.A. 676 p.
- GUILLEN, A.L. 1993. Inventario comercial y análisis silvicultural de bosques húmedos secundarios en la región huetar norte de Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, Costa Rica 75 p.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I. & BEERS, T.W. 1982. Forest Mensuration. John Wiley and Sons, New York, EE.UU. 402 p.
- HUTCHINSON, I.D. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico. Trad. por Ricardo Luján. Serie técnica. Informe técnico N° 204. CATIE Costa Rica 32 p.
- 1993. Técnicas para la silvicultura y el manejo forestal en bosque naturales tropicales, intervenidos y secundarios. In Simposio Taller de "El manejo y rehabilitación de tierras degradadas y bosques secundarios en Amazonia". Brasil 24 p.
- 1987. The management of humid tropical forests to produce wood. In Management of the forests of Tropical América: Prospects and Technologies. Ed. by Julio C. Figueroa. Puerto Rico. p. 235-243.
- 1982. Field enumeration of permanent sample plots in the mixed dipterocarp forest of Sarawak, Kuching. FAO Roma 136 p.
- 1981. Sarawak liberation thinning: background and initial analysis of performance: a practical guide. Sarawak Forestry. UNDP/FAO/MAL/76/008. 121 P.
- 1975. "Proposal for liberation thinning in experimental areas of Hill Dipterocarp Forest, Sarawak". UNDP/FAO/MAL/72/009, Kuching. 21 p.
- JEFFERS, J.N.R. 1982. Modelling. Outline studies in ecology. Chapman and Hall Ltd, Londres, G.B. 80 p.
- KLEPAC, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico. 365 p.

- KORNING, J.; BALSLEV, H. 1994. Growth rates and mortality patterns of tropical lowland tree species and the relation to forest structure in Amazonian Ecuador. *Journal of Tropical Ecology* (10):151-166p.
- KOZLOWSKI, T.T. 1962. *Tree growth*. New York, EE.UU. The Ronald Press. 442 p.
- 1978. *Growth and development of trees (Vol.2)*. Academic Press, New York, EE.UU. 514 p.
- LESLIE, A.J. 1987. A second look at the economics of natural management systems in mixed tropical forest. *Unasyuva* 39(155)46-58.
- LEUSCHNER, W. 1990. *Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques*. School of Forestry and Wildlife Resources. USA. 281 p.
- LAMPRECHT, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos*. Trad. por Antonio Carrillo. Eschborn, Alemania. GTZ. 335 p.
- LIEBERMAN, D & LIEBERMAN, M. 1987. Forest tree growth and dynamics at La Selva, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* 3, 347-358 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(3):915-924p.
- LUNA, L. A. 1978. *Aspectos generales del manejo de bosques tropicales en América Latina*. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela 25 p.
- MAINI, J. 1992. Desarrollo sostenible de los bosques. *Unasyuva* FAO-Roma 43(2):3-8p.
- MAITRE, H.F. 1986. Growth and yield of natural stands in the tropical rain-forests of Africa. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*. N° 213(trim. III):13-20 p.
- MANZANILLA, H. 1985. Breve análisis sobre el manejo de bosques y las necesidades de desarrollo tecnológico en México. *Ciencia Forestal*. 10(58):17-35 p.
- MARTINEZ, J.; ARA, P.; GONZALEZ, J. 1993. Ecuaciones alométricas de tres variables: estimación del volumen, crecimiento, y porcentaje de corteza de las principales especies maderables españolas. España. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 2(2):211-228p.

- MELDAHL, R.S.; ERICKSON, M.; THOMAS, C.E. 1985. A method for grouping species forest type combinations for the development of growth models for mixed species stands. Servicio Forestal USDA Atlanta 7p.
- MENDOZA, M.A. 1983. Conceptos básicos de manejo forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. Mexico. 117 p.
- MOHD, R.W. 1988. Modelling the tree growth in mixed tropical forest I. use of diameter and basal area increments. *Journal of tropical forest science*. 1 (2):114-121
- PADILLA, H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, México 273 p.
- PICADO, W. 1991. Investigación aplicada en manejo de bosque natural secundario: Estudio de caso en el Sur de Costa Rica. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 142 p.
- QUICKE, H; MELDAHL, R; KUSCH, J. 1994. Basal area growth of individual trees. *Forest Science* 4(3):528-542.
- QUIROS, D.; FINEGAN, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica. Serie técnica. Informe técnico N° 225. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 25 p.
- ROMAHN DE LA VEGA, C.F.; RAMIREZ, H.; TREVIÑO, J.L. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 351 p.
- SANTILLAN, J.P. 1986. Elementos de dasonomía. México 346 p.
- SCHMIT, R. 1987. Ordenación de los bosques hidrofíticos tropicales *Unasylyva*, FAO-Roma 39(2):2-17p
- SHUGART, H. 1984. A Theory of Forest Dynamics. The Ecological Implications of Forest Succession Models. USA 278 p.
- SITOE, A.A. 1992. Crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg.Sc. 109 p.

- SWEET, M.; BYRNE, J. 1990. A standardized data structure for describing and exchanging data from remeasured growth and yield plots. United States Department of Agriculture. 43 p.
- SYNNOTT, T.J. 1979. An manual of permanent plot procedures for tropical rain forest. Commonwealth Forestry Institute, Tropical Forestry papers n°14 67 p.
- VANCLAY, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. Wallingford, U.K. 304 p.
- VANCLAY, J.K. 1991. Aggregating tree species to develop diameter increment equations for tropical rainforests. Forest Ecology and Management (42):143-168p.
- WADSWORTH, F; HUTCHINSON, I. 1995. Response of secondary forest in Costa Rica to liberation. (en preparación).
- WHITMORE, T.C. 1991. An introduction to tropical rain forest Oxford, R.U. Clarendon Press. 226 p.
- WONG, J.; BLACKETT, H. 1994. Bole volume equations for high forest timber species in Ghana. Commonwealth Forestry Review. 73(1):18-22 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Formulario 1.

Este formulario es utilizado para la recolección de datos de parcelas permanentes para cuadrados (subparcelas) de 10 *10 o 20*20 metros y también para inventarios forestales. Conteniendo variables útiles y prácticas para la descripción de la vegetación que son las siguientes:

a) A nivel de parcela:

Nombre del sitio : identifica la ubicación de la parcela a nivel de forma conocida a nivel regional.

Código del país; Código del tratamiento; Número de experimento: son de gran relevancia cuando la información se integra a un banco de datos y se trabaja con diferentes áreas simultáneamente. Puede adaptarse a cualquier dimensión y número de sitios.

Clase de bosque: sirve para verificar y corroborar la información de gabinete, respecto al tipo de bosque (primario, secundario), estrato arbóreo (alto, mediano y bajo), y dentro de un bosque secundario la fase de sucesión ecológica.

Nombre del Identificador; Medidor; Anotador: su inclusión tienen importancia para estandarizar la información y resultados a nivel de matorral (baquiano), sobre estas tres personas recae la responsabilidad del trabajo y de los resultados a obtener.

Número de Parcela y Subparcela: la primera permite el reconocimiento a nivel de computadora y otros usuarios de una parcela tratada o una testigo, ya que las tratadas tienen numeración impar y las testigo son números pares. Y el número de subparcela es para una identificación más detallada, en la marcación con pintura de los árboles medidos se incluye el número de subparcela.

Fecha de medición: es de importancia para el cálculo del crecimiento e informa sobre la periodicidad de recolección de la información.

b) A nivel de árbol individual:

Número consecutivo y nombre vernacular de cada árbol: identifica a cada árbol en el campo evitando la repetitividad de la información de cada individuo, estos son marcados con pintura indeleble y reforzados con etiquetas de aluminio.

Clase de identidad: es un indicativo de la condición actual de un individuo y de su potencial maderero.

Grupo comercial: brinda información respecto al valor comercial actual y potencial del bosque.

Diámetro a la altura del pecho (dap): es una de las mejores variables para determinar el crecimiento de los árboles a nivel individual, clase diamétrica y bosque en general, asimismo indica la dominancia de las especies desde el punto de vista ecológico.

Clase de calidad de fuste: indica en forma rápida el potencial comercial de los árboles maderables y de la población en general.

Iluminación de copa: es una de las variables que mayor influencia tiene sobre el crecimiento de los árboles.

Forma de copa: representa el vigor y la capacidad recuperativa de los árboles a la aplicación de un tratamiento silvicultural.

Presencia de lianas: evalúa el grado de competencia que existe entre las trepadoras leñosas y el árbol hospedero

ANEXO 2

Formulario 14.

Es empleado para recolectar información de trozas de árboles cortados y fuste comercial de árboles en pie, para cubicar y elaborar tablas de volumen comercial.

a) A nivel de parcela:

Nombre del sitio: Identifica la ubicación de la parcela de forma conocida en una región dada, la restante información recolectada a nivel de parcela es semejante a la descrita en el formulario 1.

b) A nivel de árbol individual:

Número de árbol consecutivo: Es importante que los árboles considerados tengan numeración consecutiva que facilite un seguimiento futuro del individuo.

Nombre vernacular: Permite la identificación de cada árbol a nivel de especie.

Diámetro a la altura del pecho y clase de calidad de fuste: (idem Anexo 1).

Diámetro superior de la troza o del fuste comercial: Es una medida de importancia para la determinación del volumen comercial con precisión y seguridad, asimismo sirve para determinar su forma comparando el dap con el diámetro superior.

Diámetro inferior: Cuando se trata de la primera troza del árbol este valor coincide muchas veces con dap pero generalmente en árboles sin aletones es a 30 cm. de la superficie del suelo

ANEXO 3

Lista de especies encontradas en el bosque secundario de San Isidro del General.

Nombre Común	Familia Botánica	Género Botánico	Grupo Comercial
Aceituno	Simaroubaceae	Simarouba amara	COM
Achiotillo			SNV
Aguacatillo	Lauraceae	Nectandra salicifolia	SNV
Ajillo	Leguminosae	Pithecellobium sp.	COM
Alazán	Leguminosae	Tachigalia versicolor	COM
Amarillón	Combretaceae	Terminalia amazónica	COM
Anona de montaña			SNV
Anonillo	Annonacea	Guatteria sp.	OTC
Arenillo			SNV
Barbasquillo	Euphorbiaceae	Phyllanthus scutchii	SNV
Burio	Tiliaceae	Heliocarpus sp.	SNV
Cafecillo			SNV
Caimito	Sapotaceae	Chrisophyllum sp.	SNV
Campanillo	Chrysobalanaceae	Hirtella americana	SNV
Campano	Theaceae	Laplaceae sp.	COM
Canfin	Anacardiaceae	Protium pittieri	SNV
Canilla de mula	Rosaceae	Licania sp.	SNV
Capulin			SNV
Caragra			SNV
Cedro cobalo			SNV
Cedro maria	Guttiferae	Calophyllum sp.	COM
Cerillo	Citriaceae	Symphonia globulifera	SNV
Chaspárrio	Euphorbiaceae	Alchornia sp.	COM
Chiricano	Humiriaceae	Vantanea sp.	COM
Chumico	Moraceae	Pourouma sp.	COM
Colorado	Lauraceae	Persea sp.	COM
Comenegro	Leguminosae		COM
Coralillo	Rubiaceae	Coutareae hexandra	SNV
Erythroxyllum	Erythroxylaceae	Erythroxyllum macrophyllum	SNV
Esterculia			SNV
Fosforillo	Araliaceae	Didymopanax sp.	COM
Fruta dorada	Myristicaceae	Virola sp.	COM
Gallinazo	Bignoniaceae	Jacaranda copaia	OTC
Guaitil			SNV
Guanacaste	Leguminosae	Enterolobium cyclocarpum	COM
Guarumo	Moraceae	Cecropia sp.	SNV
Guava	Leguminosae	Inga sp.	SNV
Guavilla			SNV
Guayabillo	Myrtaceae	Eugenia acapulcensis	SNV
Guácimo blanco	Tiliaceae	Goethalsia micrantha	COM
Higueron	Moraceae	Ficus sp.	SNV
Higuillo	Moraceae		SNV
Iguano	Sapindaceae	Dipterodendron sp.	SNV
Ilex		Ilex sp.	SNV
Ira	Lauraceae	Ocotea sp.	COM
Ira carne	Flacourtiaceae	Hasseltia floribunda	COM
Ira colorada	Lauraceae	Persea sp.	SNV

Jicaro de montaña	Rubiaceae	Pentagonia sp.	SNV
Lechoso	Moraceae	Brosimum sp.	COM
Lengua de vaca	Melastomataceae	Miconia sp.	SNV
Lunaria	Flacourtiaceae	Plenmethodendron lindeni	SNV
Manguillo	Moraceae	Maquira costaricensis	SNV
Manteco	Anacardiaceae	Tapirira guianensis	COM
Mayo	Vochysiaceae	Vochysia ferruginea	SNV
Mufiaco	Boraginaceae	Cordia sp.	OTC
Nance	Malpighiaceae	Eyrsonima sp.	SNV
Nispero zapotillo	Sapotaceae	Manilkara sp.	SNV
Ocora	Meliaceae	Guarea bullata	COM
Ojoche	Moraceae	Brosimum lactescens	SNV
Ojochillo	Moraceae	Pseudolmedia oxphyllaria	SNV
Palomo	Araliaceae	Dendropanax sp.	SNV
Panamá	Sterculiaceae	Sterculia sp.	SNV
Papayillo			SNV
Pera			SNV
Pilón	Euphorbiaceae	Hieronyma sp.	COM
Plomillo	Flacourtiaceae	Cassearea sylvestris	SNV
Quizarra	Lauraceae		SNV
Ratón danto	Proteaceae	Roupala montana	SNV
Ratón papa	Proteaceae	Roupala sp.	SNV
Sangre de toro			SNV
Sapotillo	Sapotaceae	Pouteria sp.	SNV
Sauco	Staphyllaceae	Turpinia occidentalis	SNV
Suarilla			SNV
Targuá	Euphorbiaceae	Croton sp.	SNV
Tucuico	Clusiaceae	Tovomita weddelliana	SNV
Vainillo	Leguminosae	Strynodendrum excelsum	COM

ANEXO 4

Tabla de volumen comercial con y sin corteza
Bosque Secundario de Pilar del Cajón - Pérez Zeledón

Bosque Testigo

	DAPcc (cm)	VCcc (m ³)	VCsc (m ³)
1	10	0,028	0,025
2	15	0,077	0,070
3	20	0,160	0,147
4	25	0,280	0,260
5	30	0,445	0,415
6	35	0,657	0,616
7	40	0,920	0,868
8	45	1,240	1,174
9	50	1,618	1,538
10	55	2,059	1,964
11	60	2,565	2,454

Bosque Tratado

	DAPcc (cm)	VCcc (m ³)	VCsc (m ³)
1	10	0,027	0,024
2	15	0,077	0,070
3	20	0,160	0,148
4	25	0,285	0,265
5	30	0,456	0,426
6	35	0,678	0,636
7	40	0,957	0,901
8	45	1,295	1,226
9	50	1,699	1,614
10	55	2,171	2,069
11	60	2,716	2,596

DAPcc = Diámetro a la altura del pecho con corteza.

VCcc = Volumen comercial con corteza.

VCsc = Volumen comercial sin corteza.

ANEXO 5

Distribución del incremento diamétrico en cm. por escenario, tratamiento y especie. Q1= primer cuartil; Mdna=mediana; Q3=tercer cuartil; y Máx=incremento máximo.

ESCENARIO 1												
Especie	Código	Parcelas testigo					Parcelas tratadas					
		Q1	Mdna	Q3	Máx	N	Q1	Mdna	Q3	Máx	N	
Alchornea sp.	ALCH	0,11	0,18	0,43	1,08	19	0,37	0,57	0,61	0,67	13	
Cafecillo	CAF	0,07	0,26	0,36	0,62	8						
Cordia sp.	COR	0,08	0,30	0,55	0,76	16	0,37	0,53	0,65	1,18	17	
Dendropanax sp.	DEN	0,08	0,15	0,28	0,47	7						
Didymopanax sp.	DID	0,59	0,76	1,00	1,38	4	0,24	0,32	0,52	0,98	4	
Goethalsia micrantha	GOE	0,39	0,42	0,55	0,90	10	0,43	0,58	0,77	1,20	25	
Guatteria sp.	GUA	0,08	0,24	0,49	0,78	32	0,22	0,47	0,74	1,17	18	
Higuillo	HIG	0,19	0,31	0,47	0,70	6	0,59	0,78	0,93	1,07	8	
Ilex	ILE	0,05	0,08	0,25	0,47	24	0,13	0,30	0,60	0,78	13	
Inga sp.	ING	0,06	0,13	0,23	0,54	23	0,20	0,33	0,50	0,83	10	
Jacaranda copaia	JAC	0,01	0,05	0,50	0,80	9	0,58	0,79	1,03	1,45	11	
Laplacea sp.	LAP	0,16	0,27	0,41	1,27	8						
Licania sp.	LIC	0,12	0,23	0,48	0,81	32	0,48	0,64	0,73	0,88	30	
Miconia sp.	MIC	0,17	0,20	0,32	0,50	10						
Ocotea sp.	OCO	0,21	0,43	0,58	1,05	24	0,50	0,68	0,97	1,80	17	
Persea sp.	PER	0,29	0,41	0,63	0,93	6	0,18	0,28	0,65	1,23	10	
Pithecelobium sp.	PIT	0,11	0,37	0,46	0,63	9	0,11	0,30	0,34	0,37	6	
Pouruma sp.	POU	0,36	0,58	0,86	1,09	8	0,55	0,67	1,01	1,32	6	
Protium pitieri	PRO	0,15	0,20	0,30	0,60	17						
Simarouba amara	SIM	0,38	0,51	0,68	1,05	25	0,84	0,94	1,18	1,43	16	
Tapirira guianensis	TAP	0,47	0,67	0,87	1,58	11						
Vantanea sp.	VAN	0,23	0,27	0,43	0,53	8						
Virola sp.	VIR	0,06	0,13	0,21	0,30	30	0,20	0,52	0,71	1,10	11	
Vochysia ferruginea	VOCH	0,57	0,85	1,13	1,56	14	0,90	1,39	1,90	2,22	17	
TOTAL						360					232	

ESCENARIO 2												
Especie	Código	Parcelas testigo					Parcelas tratadas					
		Q1	Mdna	Q3	Máx	N	Q1	Mdna	Q3	Máx	N	
Alchornea sp.	ALCH	0,11	0,18	0,43	1,08	19	0,37	0,57	0,61	0,67	13	
Didymopanax sp	DID	0,59	0,76	1,00	1,38	4						
Goethalsia micrantha	GOE	0,39	0,42	0,55	0,90	10	0,43	0,58	0,77	1,20	25	
Laplacea sp	LAP	0,16	0,27	0,41	1,27	8						
Ocotea sp.	OCO	0,21	0,43	0,58	1,05	24	0,50	0,68	0,97	1,80	17	
Persea sp.	PER	0,29	0,41	0,63	0,93	6	0,18	0,28	0,65	1,23	10	
Pithecelobium sp.	PIT	0,11	0,37	0,46	0,63	9	0,11	0,30	0,34	0,37	6	
Pouruma sp.	POU	0,36	0,58	0,86	1,09	8	0,55	0,67	1,01	1,32	6	
Simarouba amara	SIM	0,38	0,51	0,68	1,05	25	0,84	0,94	1,18	1,43	16	
Tapirira guianensis	TAP	0,47	0,67	0,87	1,58	11						
Vantanea sp.	VAN	0,23	0,27	0,43	0,53	8						
Virola sp.	VIR	0,12	0,26	0,43	0,74	30	0,20	0,52	0,71	1,10	11	
TOTAL						162					104	

ESCENARIO 3

Especie	Código	Parcelas testigo					Parcelas tratadas				
		Q1	Mdna	Q3	Máx	N	Q1	Mdna	Q3	Máx	N
Alchornea sp.	ALCH	0,17	0,26	0,45	0,76	13	0,54	0,59	0,65	0,67	8
Laplacea sp.	LAP	0,12	0,25	0,44	1,27	7					
Ocotea sp.	OCO	0,21	0,38	0,58	1,05	23	0,52	0,77	1,00	1,80	13
Persea sp.	PER	0,34	0,41	0,57	0,93	4	0,23	0,34	0,77	1,23	8
Pithecellobium sp.	PIT	0,11	0,37	0,46	0,63	9	0,30	0,33	0,36	0,37	4
Pouruma sp.	POU	0,36	0,58	0,86	1,09	8	0,55	0,67	1,01	1,32	6
Simarouba amara	SIM	0,35	0,53	0,73	1,05	23	0,93	0,99	1,34	1,43	12
Tapirira guianensis	TAP	0,47	0,63	1,10	1,58	7					
Vantanea sp.	VAN	0,23	0,27	0,43	0,53	8					
Virola sp.	VIR	0,20	0,31	0,46	0,74	20	0,43	0,55	0,80	1,10	8
TOTAL						122					59

ANEXO 6

Distribución diamétrica de los árboles que sobrevivieron durante los 7 años de medición, por tipo de bosque, escenario y grupo de crecimiento

BOSQUE TESTIGO							
Escenarios	I		II			III	
Clase diamétrica	Grupo I	Grupo II	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo I	Grupo II
10 - 19,9	142	43	22	56	2	24	34
20 - 29,9	67	46	11	25	5	12	24
30 - 39,9	12	25	8	17	3	10	12
40 - 49,9	8	10	5	2	3	3	2
50 - 59,9	2	5	1		2	1	
Subtotal	231	129	47	100	15	50	72
Total	360		162			122	

BOSQUE TRATADO						
Escenarios	I		II		III	
Clase diamétrica	Grupo I	Grupo II	Grupo I	Grupo II	Grupo I	Grupo II
10 - 19,9	97	54	31	22	9	20
20 - 29,9	41	15	20	11	7	13
30 - 39,9	18	4	14	4	4	4
40 - 49,9	1	2		2		2
50 - 59,9						
Subtotal	157	75	65	39	20	39
Total	232		104		59	

ANEXO 7

Coefficiente de Correlación de Spearman entre los incrementos diamétricos anuales de todos los árboles y las variables independientes: Dap1= diámetro inicial; Califus= calidad del fuste; Ilumi= Iluminación de copa; Fcopa=forma de copa; Plianas=presencia de lianas; Inc1-6=incrementos anuales.

ESCENARIO 1

1. Bosque testigo

	Dap1	Califus	Ilumi	Fcopa	Pliana	Inc1	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6
Dap1		-0,34 **	-0,68 **	-0,28 **	0,10 ns	0,12 *	0,11 ns	0,18 **	0,14 *	0,08 ns	0,09 ns
Califus	-0,37 **		0,30 **	0,20 **	-0,12 *	-0,08 ns	-0,17 **	-0,24 **	-0,19 **	-0,19 **	-0,19 **
Ilumi	-0,68 **	0,30 **		0,26 **	-0,16 **	-0,29 **	-0,30 **	-0,33 **	-0,23 **	-0,14 *	-0,13 *
Fcopa	-0,28 **	0,20 **	0,26 **		0,00 ns	-0,09 ns	-0,16 **	-0,14 **	-0,10 ns	-0,02 ns	-0,01 ns
Plianas	0,10 ns	-0,12 *	-0,16 **	0,00 ns		0,01 ns	0,17 **	0,09 ns	0,04 ns	0,08 ns	0,06 ns
Inc1	0,12 *	-0,08 ns	-0,29 **	-0,09 ns	0,01 ns		0,53 **	0,5 **	0,54 **	0,44 **	0,40 **
Inc2	0,11 ns	-0,17 **	-0,30 **	-0,16 **	0,17 **	0,53 **		0,65 **	0,69 **	0,60 **	0,54 **
Inc3	0,18 **	-0,24 **	-0,33 **	-0,14 **	0,09 ns	0,50 **	0,65 **		0,66 **	0,66 **	0,54 **
Inc4	0,14 *	-0,19 *	-0,23 *	-0,10 ns	0,04 ns	0,54 **	0,69 **	0,66 **		0,72 **	0,69 **
Inc5	0,08 ns	-0,19 **	-0,14 *	0,02 ns	0,08 ns	0,44 **	0,60 **	0,66 **	0,72 **		0,60 **
Inc6	0,09 ns	-0,19 **	-0,13 *	-0,01 ns	0,06 ns	0,40 **	0,54 **	0,54 **	0,69 **	0,60 **	

2. Bosque tratado

	Dap1	Califus	Ilumi	Fcopa	Pliana	Inc1	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6
Dap1		-0,11 ns	0,59 **	-0,14 ns	-0,05 ns	-0,08 ns	-0,11 ns	-0,18 **	-0,04 ns	-0,19 **	-0,11 ns
Califus	0,11 ns		0,19 **	0,18 *	-0,06 ns	0,00 ns	-0,06 ns	-0,02 ns	-0,02 ns	0,04 ns	-0,02 ns
Ilumi	-0,59 **	0,19 **		0,16 *	0,01 ns	-0,10 ns	-0,07 ns	-0,03 ns	-0,16 **	0,05 ns	0,06 ns
Fcopa	-0,14 ns	0,18 *	0,17 *		0,11 ns	-0,15 *	-0,24 **	-0,12 ns	-0,13 ns	-0,11 ns	-0,04 ns
Plianas	-0,05 ns	-0,06 ns	0,01 ns	0,11 ns		0,02 ns	0,04 ns	0,03 ns	0,03 ns	-0,06 ns	-0,09 ns
Inc1	-0,08 ns	0,00 ns	-0,10 ns	-0,15 *	0,02 ns		0,64 **	0,67 **	0,56 **	0,43 **	0,29 **
Inc2	-0,11 ns	-0,06 ns	-0,07 ns	-0,24 **	0,04 ns	0,64 **		0,71 **	0,64 **	0,46 **	0,25 **
Inc3	-0,18 **	-0,02 ns	-0,03 ns	-0,12 ns	0,03 ns	0,67 **	0,71 **		0,73 **	0,62 **	0,47 **
Inc4	-0,04 ns	-0,02 ns	-0,16 *	-0,13 ns	0,03 ns	0,56 **	0,64 **	0,73 **		0,72 **	0,53 **
Inc5	-0,19 **	0,04 ns	0,05 ns	-0,11 ns	-0,06 ns	0,43 **	0,46 **	0,62 **	0,72 **		0,78 **
Inc6	-0,11 ns	-0,02 ns	0,06 ns	-0,04 ns	-0,09 ns	0,29 **	0,25 **	0,47 **	0,53 **	0,78 **	

ESCENARIO 2

1. Bosque testigo

	Dap1	Califus	Iumi	Fcopa	Pliana	Inc1	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6
Dap1		-0,39 **	0,11 ns	0,99 **	0,02 ns	-0,70 **	0,08 ns	0,10 ns	0,00 ns	-0,09 ns	0,03 ns
Califus	-0,39 **		0,04 ns	-0,41 **	-0,10 ns	0,39 **	-0,21 *	-0,30 **	-0,19 *	-0,19 *	-0,10 ns
Iumi	0,11 ns	0,04 ns		0,11 ns	-0,08 ns	-0,11 ns	0,14 ns	0,00 ns	0,00 ns	-0,02 ns	0,01 ns
Fcopa	0,99 **	-0,41 **	0,11 ns		0,06 ns	-0,71 **	0,10 ns	0,11 ns	0,02 ns	-0,08 ns	0,04 ns
Pliana	0,02 ns	-0,10 ns	-0,08 ns	0,06 ns		-0,13 ns	0,42 **	0,35 **	0,52 **	0,28 **	0,29 **
Inc1	-0,70 **	0,39 **	-0,11 ns	-0,71 **	-0,13 ns		-0,23 **	-0,21 *	-0,05 ns	0,06 ns	0,00 ns
Inc2	0,08 ns	-0,21 *	0,14 ns	0,10 ns	0,42 **	-0,23 **		0,58 **	0,61 **	0,48 **	0,39 **
Inc3	0,10 ns	-0,30 **	0,00 ns	0,11 ns	0,36 **	-0,21 *	0,58 **		0,63 **	0,62 **	0,47 **
Inc4	0,00 ns	-0,19 *	0,00 ns	0,02 ns	0,52 **	-0,05 ns	0,61 **	0,63 **		0,67 **	0,63 **
Inc5	-0,09 ns	-0,19 *	-0,02 ns	-0,08 ns	0,28 **	0,06 ns	0,48 **	0,62 **	0,67 **		0,53 **
Inc6	0,03 ns	-0,10 ns	0,01 ns	0,04 ns	0,29 **	0,00 ns	0,39 **	0,47 **	0,63 **	0,53 **	

2. Bosque tratado

	Dap1	Califus	Iumi	Fcopa	Pliana	Inc1	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6
Dap1		-0,21 *	-0,67 **	-0,06 ns	-0,10 ns	-0,04 ns	-0,05 ns	-0,14 ns	-0,09 ns	-0,2 ns	-0,04 ns
Califus	-0,21 *		0,23 *	0,28 **	-0,05 ns	-0,13 ns	-0,23 *	-0,15 ns	-0,12 ns	-0,09 ns	-0,14 ns
Iumi	-0,67 **	0,23 *		0,17 ns	0,07 ns	-0,08 ns	-0,15 ns	0,00 ns	-0,04 ns	0,17 ns	0,13 ns
Fcopa	-0,06 ns	0,28 **	0,17 ns		-0,08 ns	-0,22 *	-0,36 **	-0,27 *	-0,16 ns	-0,12 ns	0,00 ns
Pliana	-0,1 ns	-0,05 ns	0,07 ns	-0,08 ns		0,05 ns	0,12 ns	0,05 ns	0,13 ns	0,02 ns	-0,07 ns
Inc1	-0,04 ns	-0,13 ns	-0,08 ns	-0,22 *	0,05 ns		0,58 **	0,67 **	0,52 **	0,44 **	0,31 **
Inc2	-0,05 ns	-0,23 *	-0,15 ns	-0,36 **	0,12 ns	0,58 **		0,65 **	0,64 **	0,46 **	0,26 *
Inc3	-0,14 ns	-0,15 ns	0,00 ns	-0,27 *	0,05 ns	0,67 **	0,65 **		0,69 **	0,55 **	0,42 **
Inc4	-0,09 ns	-0,12 ns	-0,04 ns	-0,16 ns	0,13 ns	0,52 **	0,64 **	0,69 **		0,72 **	0,48 **
Inc5	-0,2 ns	-0,09 ns	0,17 ns	-0,12 ns	0,02 ns	0,44 **	0,46 **	0,55 **	0,72 **		0,78 **
Inc6	-0,04 ns	-0,14 ns	0,13 ns	0,00 ns	-0,07 ns	0,31 **	0,26 *	0,42 **	0,48 **	0,78 **	

ESCENARIO 3

1. Bosque testigo

	Dap1	Califus	Ilumi	Fcopa	Pliana	Inc1	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6
Dap1		-0,21 *	-0,07 ns	0,99 **	0,10 ns	-0,70 **	0,04 ns	0,08 ns	-0,01 ns	-0,13 ns	-0,04 ns
Califus	-0,21 *		0,21 *	-0,21 *	0,01 ns	0,30 **	-0,09 ns	-0,22 *	-0,08 ns	-0,1 ns	0,03 ns
Ilumi	-0,07 ns	0,21 *		-0,07 ns	-0,02 ns	0,01 ns	0,00 ns	-0,12 ns	-0,09 ns	-0,12 ns	-0,10 ns
Fcopa	0,99 **	-0,21 *	-0,07 ns		0,13 ns	-0,70 **	0,06 ns	0,10 ns	0,00 ns	-0,12 ns	-0,03 ns
Pliana	0,10 ns	0,01 ns	-0,02 ns	0,13 ns		-0,21 *	0,39 **	0,33 **	0,48 **	0,18 ns	0,33 **
Inc1	-0,70 **	0,3 **	0,01 ns	-0,70 **	-0,21 *		-0,20 *	-0,23 *	-0,07 ns	0,06 ns	0,07 ns
Inc2	0,04 ns	-0,09 ns	0,00 ns	0,06 ns	0,39 **	-0,20 *		0,57 **	0,56 **	0,45 **	0,39 **
Inc3	0,08 ns	-0,22 *	-0,12 ns	0,10 ns	0,33 **	-0,23 *	0,57 **		0,65 **	0,64 **	0,46 **
Inc4	-0,01 ns	-0,08 ns	-0,09 ns	0,00 ns	0,48 **	-0,07 ns	0,56 **	0,65 **		0,66 **	0,67 **
Inc5	-0,13 ns	-0,10 ns	-0,12 ns	-0,12 ns	0,18 ns	0,06 ns	0,45 **	0,64 **	0,66 **		0,54 **
Inc6	-0,04 ns	0,03 ns	-0,10 ns	-0,03 ns	0,33 **	0,07 ns	0,39 **	0,46 **	0,67 **	0,54 **	

2. Bosque tratado

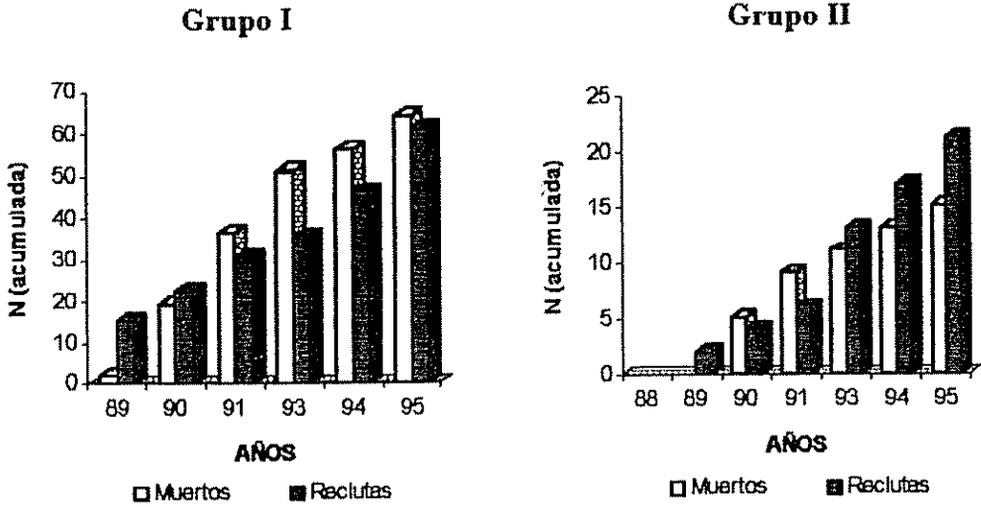
	Dap1	Califus	Ilumi	Fcopa	Pliana	Inc1	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6
Dap1		-0,33 *	-0,57 **	0,09 ns	0,06 ns	-0,04 ns	-0,25 ns	-0,22 ns	-0,07 ns	-0,13 ns	-0,04 ns
Califus	-0,33 *		0,20 ns	0,07 ns	0,02 ns	0,33 *	0,08 ns	0,15 ns	0,08 ns	0,15 ns	0,11 ns
Ilumi	-0,57 **	0,20 ns		-0,03 ns	0,06 ns	-0,03 ns	0,11 ns	0,09 ns	0,06 ns	0,04 ns	0,04 ns
Fcopa	0,09 ns	0,07 ns	-0,03 ns		-0,05 ns	-0,09 ns	-0,30 *	-0,23 *	-0,04 ns	-0,17 ns	-0,02 ns
Pliana	0,06 ns	0,02 ns	0,06 ns	-0,05 ns		0,21 ns	0,05 ns	0,14 ns	0,16 ns	0,13 ns	0,22 ns
Inc1	-0,04 ns	0,33 *	-0,03 ns	-0,09 ns	0,21 ns		0,56 **	0,60 **	0,5 **	0,58 **	0,56 **
Inc2	-0,25 ns	0,08 ns	0,11 ns	-0,3 *	0,05 ns	0,56 **		0,67 **	0,69 **	0,74 **	0,50 **
Inc3	-0,22 ns	0,15 ns	0,09 ns	-0,23 ns	0,14 ns	0,60 **	0,67 **		0,68 **	0,65 **	0,63 **
Inc4	-0,07 ns	0,08 ns	0,06 ns	-0,04 ns	0,16 ns	0,50 **	0,69 **	0,68 **		0,84 **	0,67 **
Inc5	-0,13 ns	0,15 ns	0,04 ns	-0,17 ns	0,13 ns	0,58 **	0,74 **	0,65 **	0,84 **		0,75 **
Inc6	-0,04 ns	0,11 ns	0,04 ns	-0,02 ns	0,22 ns	0,56 **	0,5 **	0,63 **	0,67 **	0,75 **	

ANEXO 8

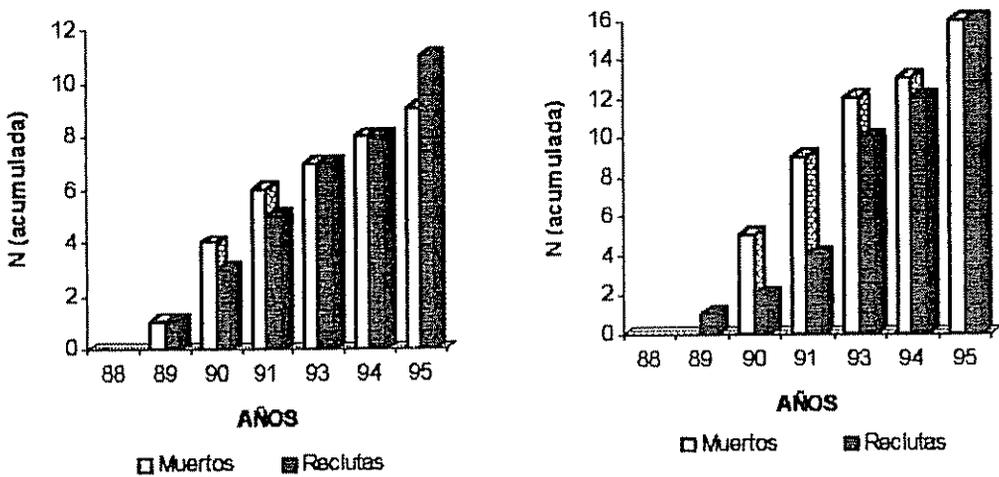
Número de muertos y reclutas acumulados por tratamiento, escenario y grupo de crecimiento parecido.

PARCELAS TESTIGO

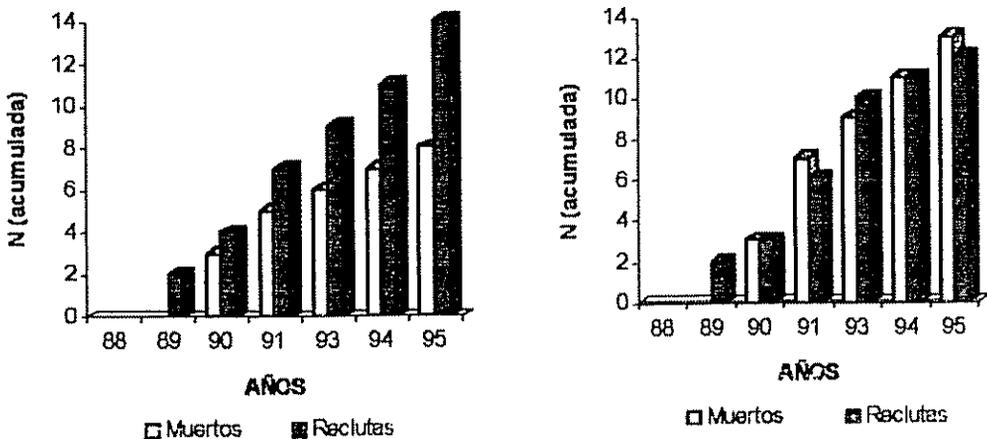
a) Escenario 1



b) Escenario 2

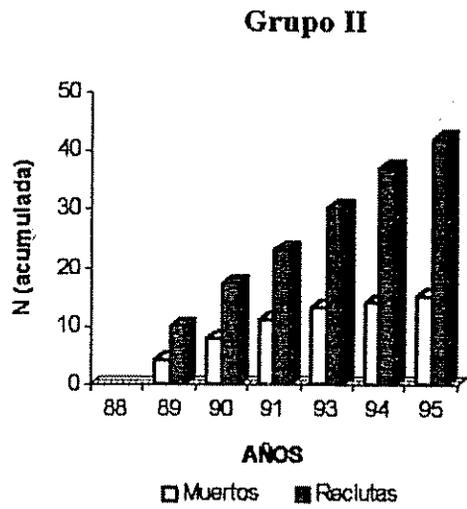
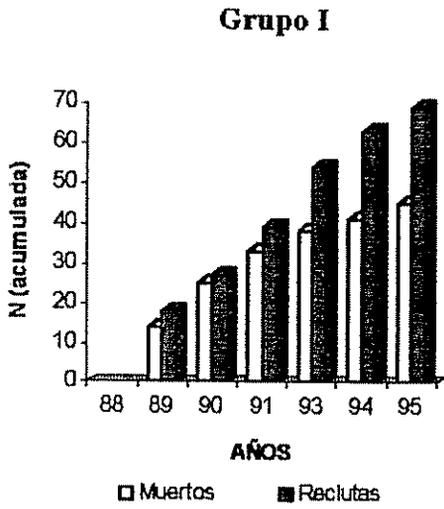


c) Escenario 3

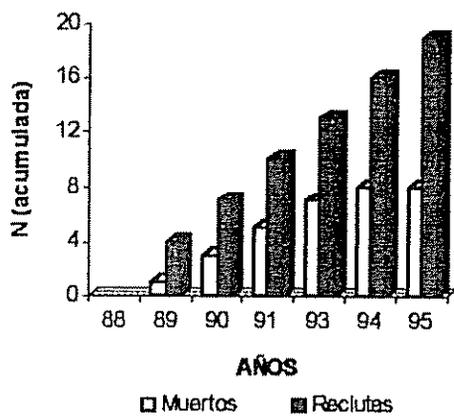
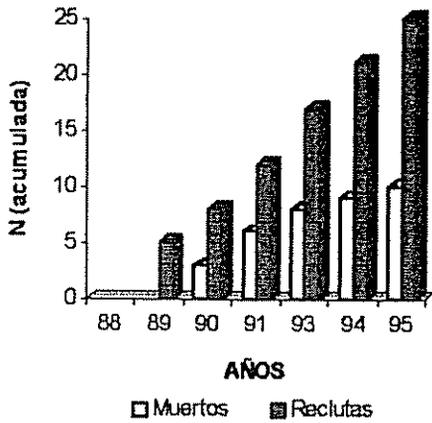


PARCELAS TRATADAS

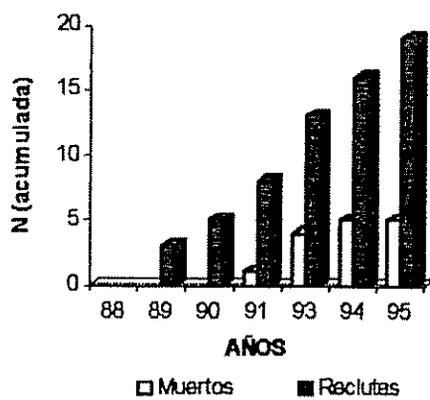
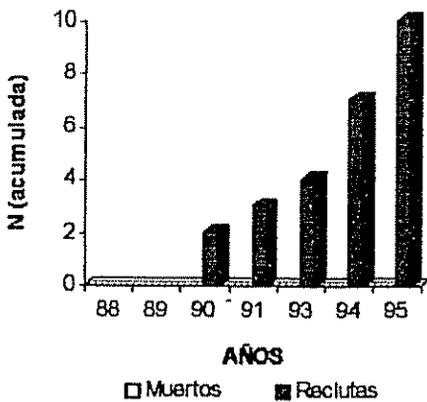
a) Escenario 1



b) Escenario 2



c) Escenario 3



ANEXO 9

Distribución de árboles muertos por años, tratamiento, escenario, y grupos de crecimiento

a) Parcelas testigo

ESCENARIO 1																			
Clase diamétrica	GRUPO I										GRUPO II								
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	
N inicial	242										119								
10-19,9	-	2	11	12	8	4	4	41	16,9	-	-	3	2	1	1	1	8	6,7	
20-29,9	-	-	2	3	4	1	3	13	5,4	-	-	1	1	1	1	1	5	4,2	
30-39,9	-	-	4	2	3	-	1	10	4,1	-	-	1	1	-	-	-	2	1,6	
40-49,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50-59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL	-	2	17	17	15	5	8	64	26,4	-	-	5	4	2	2	2	15	12,6	

ESCENARIO 2																			
Clase diamétrica	GRUPO I										GRUPO II								
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	
N inicial	42										96								
10-19,9	-	-	3	1	-	1	1	6	14,3	-	4	2	2	1	2	11	11,4		
20-29,9	-	-	-	1	-	-	-	1	2,4	-	1	1	1	-	1	4	4,1		
30-39,9	-	1	-	1	-	-	-	2	4,7	-	-	1	-	-	-	1	1		
40-49,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
50-59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TOTAL	-	1	3	2	1	1	1	9	21,4	-	5	4	3	1	3	16	16,5		

ESCENARIO 3																			
Clase diamétrica	GRUPO I										GRUPO II								
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	
N inicial	58										79								
10-19,9	-	-	2	-	-	1	1	4	6,9	-	1	3	2	1	1	8	10,1		
20-29,9	-	-	-	1	-	-	-	1	1,7	-	1	1	-	-	1	3	3,8		
30-39,9	-	-	1	2	-	-	-	3	5,1	-	1	-	-	1	-	2	2,5		
40-49,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
50-59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TOTAL	-	-	3	2	1	1	1	8	13,7	-	-	3	4	2	2	2	13	16,4	

b) Parcelas tratadas

ESCENARIO 1																		
Clase diamétrica	GRUPO I									GRUPO II								
	N	89	90	91	93	94	95	Total	%	88	89	90	91	93	94	95	Total	%
N inicial	196									82								
10-19,9		7	6	5	4	2	2	26	13,3	-	4	2	2	-	-	-	8	9,7
20-29,9		4	4	2	-	1	-	11	5,6	-	-	1	1	2	-	-	4	4,9
30-39,9		3	1	1	1	-	2	8	4	-	-	1	-	-	1	1	3	3,7
40-49,9		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50-59,9		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		14	11	8	5	3	4	45	22,9	-	4	4	3	2	1	1	15	18,3

ESCENARIO 2																		
Clase diamétrica	GRUPO I									GRUPO II								
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	88	89	90	91	93	94	95	Total	%
N inicial	69									44								
10-19,9	-	-	3	1	1	-	-	5	7,2	-	1	2	1	-	1	-	5	11,3
20-29,9	-	-	-	1	-	1	-	2	3	-	-	-	1	2	-	-	3	6,8
30-39,9	-	-	-	1	1	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-49,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50-59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	-	-	3	3	2	1	-	9	13,2	-	1	2	2	2	1	-	8	18,1

ESCENARIO 3																		
Clase diamétrica	GRUPO I									GRUPO II								
	88	89	90	91	93	94	95	Total	%	88	89	90	91	93	94	95	Total	%
N inicial	16									47								
10-19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2	4,2
20-29,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	2	4,2
30-39,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	2,1
40-49,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50-59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	1	-	5	10,5