

Thesis  
R696imp  
c.2

**INSTITUTO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

21 MAR 2009

INSTITUTO

**IMPLICACIONES ECONOMICAS DEL ALMACENAMIENTO DEL  
CO<sub>2</sub> EN UN BOSQUE HUMEDO TROPICAL EN COSTA RICA, BAJO  
DIFERENTES ESTRATEGIAS DE INTERVENCION**

**POR**

**LISSETTE RODRIGUEZ RUBI**



Turrialba, Costa Rica  
1997

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y  
ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSTGRADO

*Implicaciones económicas del almacenamiento del CO<sub>2</sub> en un bosque  
húmedo tropical en Costa Rica, bajo diferentes estrategias de  
intervención.*

POR

LISSETTE EVANGELINA RODRIGUEZ RUBI

CATIE

Turrialba, Costa Rica.  
1997

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Programa de Enseñanza  
Programa de Estudios de Postgrado

21 MAR 2000

RECIBIDO

*Implicaciones económicas del almacenamiento del CO<sub>2</sub> en un bosque húmedo tropical en Costa Rica, bajo diferentes estrategias de intervención.*

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

Lissette Evangelina Rodríguez Rubil

CATIE

Turrialba, Costa Rica.  
Diciembre de 1997

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Área 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:

---

Octavio Ramírez, Ph.D.  
Profesor Consejero

---

Manuel Gómez, M.Sc.  
Miembro Comité Asesor

---

Markku Kanninen, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor

---

Bryan Finnegan, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor

---

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

---

Markku Kanninen, Ph.D.  
Director, Programa de Enseñanza

---

Lissette Rodríguez Rubí  
Candidato

## DEDICATORIA

A mi hijito William Alfonso, por su gran amor y por estar a mi lado en todo momento.

A la memoria de mi madre Blanca por haberme enseñado el significado de la palabra amor,

A mis padre Salvador por su inmenso cariño.

A mis hermanos Salvador y Jorge por ser tan especiales.

A mi hermosa patria, Nicaragua.

## AGRADECIMIENTOS

A la Presidencia de Nicaragua y al Gobierno de Dinamarca por haberme otorgado la Beca.

Al Dr. Octavio Ramírez, por haberme brindado mucho apoyo y excelentes aportes a mi tesis.

Al Dr. Bryan Finegan, por su valiosa colaboración.

Al Dr. Markku Kanninen, por sus observaciones.

Al M.Sc. Manuel Gómez por sus aportes y gran paciencia.

Al personal de la Unidad de Manejo de Bosques por todo el apoyo, Ana Marlen Camacho, Hugo Brenes, Alvaro Chavés, David Qirós, Lidiette Marín y Grace Saénz, sin los cuales no me hubiese sido posible concluir mi trabajo .

Al personal de la biblioteca, principalmente a Addy Mora.

Al personal de postgrado, en especial a Rose Mary.

A Jhony Pérez por su colaboración y su disposición al trabajo .

A Romeo, Carlitos, Adriana, Lorena, Mina, Leyla, Edwincito, Juan Carlos y a todos mis compañeros del Area de Socioeconomía por ser tan solidarios.

Y en especial al M. Sc. Manuel Rincón por sus valiosos aportes, enseñanzas, por brindarme su amistad en todo momento y saber escuchar siempre que fue necesario.

A mis compatriotas nicaragüenses Xochilt, Marta, Dinorah, Alfonso, Carlos, Guadalupe y Diego.

A Natalí y a Alejandro Musalen por su amistad.

RODRIGUEZ, L. E. 1997. Implicaciones económicas del almacenamiento del CO<sub>2</sub> en un bosque húmedo tropical en Costa Rica, bajo diferentes estrategias de intervención. Tesis M. Sc., Turrialba, C.R., CATIE, 73 p.

PALABRAS CLAVES: bosque húmedo tropical, dióxido de carbono, biomasa, análisis financiero, valor actualizado neto, tasa interna de retorno, beneficio-costo analysis.

## RESUMEN

El presente estudio consistió en estimar el almacenamiento de Carbono en un bosque tropical muy húmedo, bajo diferentes estrategias de intervención y manejo y sus implicaciones económicas a través del tiempo. Se realizó en el bosque La Tirimbina, situado en la Zona Norte de Costa Rica.

El área se encuentra bajo experimentación silvícola, en un diseño de bloques al azar con tres tratamientos, el área experimental consiste en 9 bloques de tamaño de una ha, en las cuales se ajustaron tres modelos silviculturales. El primer modelo o tratamiento uno consiste en las parcelas de bosque con aprovechamiento y sin intervención silvícola, el modelo dos consiste en el bosque con aprovechamiento y un tratamiento de dosel protector y el modelo tres el bosque con aprovechamiento y mezcla de liberación y refinamiento parcial.

La estimación de carbono almacenado se realizó utilizando datos reales de árboles con un diámetro mayor o igual a 10 cm, en base a las mediciones de diámetro de 6 años de la base de datos de la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE y en base a datos simulados de 3 aprovechamientos posteriores a partir del año 7. El análisis se realizó para un período de 60 años. Para lo cual se utilizaron ecuaciones para predecir biomasa.

El método utilizado para el análisis financiero con y sin valoración de carbono es el de costo-beneficio el cual permitió determinar la rentabilidad financiera de cada uno de los tratamientos. Se utilizaron tres indicadores: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el análisis beneficio-costos (B/C). La información fue suministrada por la Unidad de manejo de Bosques Naturales del CATIE. se utilizaron los precios y costos unitarios de mercado del año 1997.

Se encontró que la cantidad de carbono almacenado a lo largo del tiempo no mostró diferencias considerables para el tratamiento uno y para el tratamiento dos, mientras que el tratamiento tres, presentó la menor cantidad de carbono almacenado.

Los resultados del análisis financiero sin la valoración de carbono indican que el tratamiento tres es el más rentable presentando el VAN más alto.

Sin embargo, los resultados del análisis financiero con la valoración de carbono como un servicio ambiental indican que el tratamiento uno es el que tiene los indicadores financieros (VAN, B/C) mayores y por lo tanto es el más rentable.

RODRIGUEZ, L. E. 1997. Economic implications of CO<sub>2</sub> storage on a tropical rain forest in Costa Rica, under different intervention strategies, Thesis M. Sc., Turrialba, C.R., CATIE, 7 .

PALABRAS CLAVES: tropical rain forest, carbon dioxide, biomass, financial analysis, net present value, rate or internal return, benefit-cost analysis.

## SUMMARY

The present study consisted on estimating carbon storage in a very humid tropical forest, under different interventions and management strategies and their economic implications through time. This study was carried out in a forest near a village called La Tirimbina, located in northern Costa Rica.

The area is under silvicultural experimentation, on a random block design with three treatments. The experimental area consisted of 9 blocks measuring 1 hectare each, where three silvicultural models were placed. The first model or treatment one consisted of forest plots with utilization and a treatment two in the protection canopy treatment three was forest with utilization and a mixture of liberation and partial refinement.

The estimation of stored carbon was done using real data from trees with a diameter equal to or more than 10 cm, according to diameter measurements made during six years from data based on the Natural Forest Management Department at CATIE, and on simulated data from 3 posterior utilizations from the seventh year. The analysis was done for a period of 60 year. For this, mathematical equations to predict biomass were used.

The method used for the financial analyses with and without carbon valuation was the benefit-cost ratio, which permits to determine the financial rentability from each treatment. Three indicators were used: Net present value (NPV), Rate Internal Return (RIR) and the benefit-cost analysis.

Necessary information to develop the analysis was provided by the Natural Forest Management Department at CATIE, using market prices and unitary cost from year 1997.

The amount of stored carbon through time didn't show considerable differences for treatments one and two, treatment three presented the smallest amount of stored carbon.

The results of the financial analyses without carbon valuation indicated that that treatment is the most profitable because it presented the highest NPV.

However, results of the financial analyses with the carbon valuation as a environmental service indicate that the witness treatment is the one that presents the highest financial indicators (NPV, B/C) so, it is the most profitable .



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 IANIGLA - CATIE  
 21 MAR 2000  
 LIBRO  
 CENTRO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
I. INTRODUCCION .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
II.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
II.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
III. HIPOTESIS.....	4
IV. REVISION DE LITERATURA.....	5
IV.1 EL CICLO DEL CARBONO .....	5
IV.2 EFECTO INVERNADERO.....	6
IV.3 RESERVAS DE CARBONO EN LOS BOSQUES .....	7
IV.4 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN BOSQUES TROPICALES CON BASE EN DATOS DE INVENTARIOS FORESTALES.....	10
IV.5 LA FUTURA POTENCIALIDAD DE LOS BOSQUES.....	12
IV.6 CÁLCULO DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO.....	12
IV.7 ANÁLISIS FINANCIERO.....	14
IV.7.1 Indicadores Financieros.....	17
IV.7.2 Análisis económico.....	18
IV.8 DIFERENCIAS ENTRE ANÁLISIS FINANCIERO Y ANÁLISIS ECONÓMICO.....	19
IV.9 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	21
V. MATERIALES Y METODOS.....	22
V.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO.....	22
V.2 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE C ALMACENADO .....	25
V.2.1 Cálculo de biomasa total (sobre la superficie).....	25
V.2.2 Cálculo de la cantidad de carbono fijado en la madera.....	29
V.3 ANÁLISIS FINANCIERO.....	29
V.3.1 Recuperación de información.....	29
V.3.2 Análisis Beneficio Costo (ABC).....	30
V.4 ANÁLISIS FINANCIERO MÁS VALORACIÓN DE C.....	35
V.4.1 Análisis del costo de oportunidad de la tierra.....	37
V.4.2 Análisis financiero incluyendo el valor de la renta de la tierra.....	37
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
VI.1 ESTIMACIÓN DE BIOMASA .....	38
VI.2 ESTIMACIÓN DE CARBONO FIJADO EN LA MADERA.....	46
VI.2.1 Valoración del carbono almacenado.....	46
VI.3 ANÁLISIS FINANCIERO DEL APROVECHAMIENTO Y MANEJO DEL BOSQUE.....	49
VI.3.1 Costos de las actividades forestales.....	49
VI.3.2 Ingresos.....	54
VI.3.3 Indicadores Financieros.....	58
VI.3.4 Costo de oportunidad de la tierra.....	61
VI.3.5 Análisis financiero considerando la renta de la tierra.....	62
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	65
IX. ANEXOS.....	69

## I. INTRODUCCION

Desde hace mucho tiempo se reconoce la importancia de los bosques como generadores de bienes y servicios, tales como productos forestales, combustible, conservación de recursos naturales como el suelo y el agua, sitios de recreación y reservorios de biodiversidad. Actualmente, también se reconoce que las masas forestales juegan un papel muy importante en los ciclos biogeoquímicos a nivel de la biósfera entera y, en particular en el ciclo global del carbono (Dixon et al, 1994).

Dicho ciclo desempeña una función de suma importancia al regular la concentración atmosférica del dióxido de carbono, que se considera un gas clave en el efecto invernadero. La concentración creciente de CO<sub>2</sub> en la atmósfera contribuye al calentamiento del planeta y, por consiguiente, al cambio climático (Brown, 1996).

Se ha establecido que la acumulación de gases de invernadero en la atmósfera, en particular dióxido de carbono, alterará el clima de la tierra. En este sentido, los bosques, dado que almacenan carbono, pueden desempeñar un rol importante evitando la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera (Schroeder, Dixon y Winjum, 1993)

Las principales reservas de carbono en el planeta se encuentran en la atmósfera, depósitos naturales de combustibles fósiles, los océanos, las biotas terrestres y los suelos. Estas reservas intercambian carbono en forma de dióxido (CO<sub>2</sub>) mediante la quema de combustibles fósiles; la producción primaria neta y la respiración de los biótas, los suelos, y otras formas de materia orgánica muerta; la deforestación y la forestación (replantación forestal y plantación de árboles) y el rebrote de la vegetación que ha sufrido trastornos; y por último, la diseminación a través de los océanos.

Los bosques son importantes para el ciclo global del carbono porque almacenan grandes cantidades de este en la vegetación y el suelo, y lo intercambian con la atmósfera

mediante los procesos de fotosíntesis y respiración. Además, estos se constituyen en fuentes de carbono para la atmósfera cuando sufren alteraciones provocadas por el hombre o por causas naturales (por ejemplo, incendios destructivos, tala, aclareo y quema para la conversión de terrenos a usos no forestales).

Por otra parte, los bosques se transforman en sumideros de carbono atmosférico (es decir, registran una absorción neta de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera) durante el rebrote que ocurre después de tales alteraciones. El hombre puede, mediante la ordenación forestal, modificar la magnitud de las reservas de carbono e inducir cambios en la circulación (flujo) de este elemento entre las mismas, alterando así la función de tales reservas en el ciclo del carbono posiblemente afectando el clima (Brown, 1995).

Los ecosistemas forestales proporcionan bienes y servicios tanto directos como indirectos, la valoración de los beneficios indirectos ha sido motivo de muchos esfuerzos por parte de los investigadores para valorar estos bienes y servicios.

El mantenimiento del stocks de carbono, también representa un servicio ambiental muy valioso generado por los bosques. Actualmente existe controversia en como este beneficio podría ser calculado para programas designados en el combate del calentamiento global.

## II. OBJETIVOS

### II.1 Objetivo General

- Estimar el almacenamiento de Carbono en un bosque tropical muy húmedo, bajo diferentes estrategias de intervención y manejo y sus implicaciones económicas.

### II.2 Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad promedio de C fijado y almacenado por un bosque natural tropical y su variación a lo largo del tiempo, bajo diferentes estrategias de intervención y manejo.
- Realizar un análisis financiero para las diferentes estrategias de intervención y manejo desarrolladas por el CATIE.
- Realizar una evaluación financiera de diferentes estrategias de intervención y manejo desarrolladas por el CATIE, considerando el valor del C almacenado a lo largo del tiempo.

### III. HIPOTESIS

Ho: Existen diferencias importantes entre un bosque sometido a diferentes estrategias de intervención y manejo en cuanto a la cantidad de C y almacenado a lo largo del tiempo y por ende, el correspondiente valor económico de este servicio ambiental, por lo que la estrategia óptima económica de intervención y manejo a largo plazo será afectada significativamente por el precio efectivo que se le asigne al C.

Ho: Hay diferencias financieras significativas entre las diferentes estrategias de intervención y manejo.

Ho: Un bosque con diferentes estrategias de intervención y manejo fija y almacena diferentes cantidades de C.

## IV. REVISION DE LITERATURA

### IV.1 *El ciclo del carbono*

El carbono (C) es uno de los más importantes constituyentes de la materia orgánica. Los cambios y movimientos que experimenta a través del espacio y tiempo se conocen como el ciclo del carbono, uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes, porque gran parte de la energía de los ecosistemas proviene de la oxidación del carbono. La forma química más importante que posee el carbono en su movimiento cíclico, es la del anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), es decir, una de sus formas gaseosas. A medida que los restos vegetales, junto con los restos animales, se descomponen en el suelo como consecuencia de la actividad respiratoria de los desintegradores, se desprende  $\text{CO}_2$  como gas, que en última instancia, es devuelto a la atmósfera. Otra porción de  $\text{CO}_2$  se devuelve a la atmósfera directamente a través de la respiración de animales y vegetales. Finalmente, una tercera parte es devuelta al ciclo a través de la combustión producida por incendios de bosques y por actividad volcánica, y en la producción de energía por el hombre a través del uso de combustibles, como el petróleo y el carbón. Estos últimos elementos, junto con la turberas, se han producido a nivel geológico mediante la deposición de material vegetal.

La otra gran reserva de  $\text{CO}_2$  es el océano, que intercambia el gas a través de la difusión a la atmósfera.

Dentro del suelo, cierta proporción del  $\text{CO}_2$  reacciona con el agua produciendo ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), carbonatos y bicarbonatos de Ca, Mg, K y otras bases. Estos compuestos son muy solubles y pueden ser arrastrados por el agua de drenaje, hacia el interior del suelo, o bien pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas.(Donoso, 1981).

El ciclo del carbono en los ecosistemas forestales, se da entre la vegetación, hojarasca y almacén o bancos de humus y la atmósfera. Cuando la luz del sol esta disponible, los árboles y otros vegetales asimilan energía (carbohidratos) y liberan oxígeno a partir del dióxido de carbono y agua en sus cloroplastos. La energía producida es usada para fabricar nuevos tejidos (desarrollo de hojas, ramas, tallos, raíces) o almacenarlo para usarlo después; una parte es perdido en la respiración, que es una reacción opuesta a la fotosíntesis. Cuando acículas, hojas y ramas y toda la planta, cae al suelo, este material muerto en el suelo forestal forma la materia orgánica y al descomponerse forma el humus. Bacterias, hongos y animales que viven en la cubierta vegetal, en el humus y en las capas del suelo descomponen los substratos o materia orgánica y liberan dióxido de carbono, agua y nutrientes minerales. Métodos silviculturales tales como raleo, fertilización, corta final, preparación del suelo, regeneración y limpieza del rodal afectan la fuente de carbono.

#### IV.2 *Efecto invernadero*

Uno de los principales problemas del medio ambiente es el incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y el efecto potencial que este tiene sobre el clima.

Barres, (1993) considera que las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema de combustibles fósiles es considerada la causa principal del efecto invernadero que conduce al incremento de la temperatura global. La absorción del CO<sub>2</sub> de la atmósfera por parte de las plantaciones forestales tropicales, bosques secundarios y bosques primarios, por otra parte contribuye a la reducción del calentamiento global.

Además, la conservación de los bosques del mundo y, en particular, la reducción de la deforestación en los trópicos, son algunas de las medidas que más pueden contribuir a

reducir la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera (Schroeder, Dixon, Winjum, 1993).

Para crecer, los árboles asimilan CO<sub>2</sub> de la atmósfera que junto a la luz solar, nutrientes del suelo y agua, le sirven para producir biomasa. De acuerdo con el laboratorio de productos forestales de la USDA, las maderas contienen entre el 45 y 53% de carbono (Barres, 1993). Este carbono secuestrado por el árbol permanece como elemento integral de la biomasa hasta que el árbol muera y se pudra. Sin embargo, si los árboles son cosechados y convertidos en madera para utilizar en construcciones, muebles y otros productos perdurables, parte del carbono permanece almacenado por un período más prolongado (Gómez, Shultz, Ramírez, 1996).

### **IV.3 *Reservas de carbono en los bosques***

Los bosques cubren aproximadamente una superficie de 3,4 Gha (1 Gha =10<sup>9</sup> ha, es decir, mil millones de ha) (FAO, 1995).

Los bosques tropicales influyen en el equilibrio del carbono en la atmósfera porque fijan, con rapidez, grandes cantidades de carbono, liberan carbono a la atmósfera (en forma de dióxido de carbono) por medio de la respiración y exportan materia orgánica hacia las capas freáticas profundas o hacia los ecosistemas oceánicos. Los bosques reaccionan, además, ante la intervención, que consiste en la extracción de madera, la destrucción del bosque y la ordenación forestal para obtener un crecimiento neto.

Cuando los bosques sufren trastornos pueden transformarse en fuentes netas de CO<sub>2</sub> atmosférico. Tales trastornos pueden ser naturales o provocadas por el hombre (Brown, 1995). Quienes creen que los bosques tropicales son fuente de carbono para la atmósfera aducen que la rapidez de la deforestación reduce el almacenamiento del carbono y aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> que pasa a la atmósfera a causa de la quema y



descomposición de la vegetación. En cambio quienes consideran que los ecosistemas forestales del trópico son sumideros hacen énfasis en el rápido ritmo de sucesión y el elevado consumo neto de CO<sub>2</sub> (Brown y Lugo, 1992).

Se estima que los bosques del mundo contienen 340 Pg de C (1 Pg =10<sup>15</sup> g, es decir una gigatonelada, o sea mil millones de toneladas) en la vegetación viva y muerta situada por encima y por debajo del nivel del terreno, y 618 Pg de C en el suelo. Actualmente los balances del carbono de todos los bosques del mundo se hallan incompletos, y aproximadamente el 6% de la superficie forestal no dispone de ningún balance. Los bosques del planeta contienen más del 55% de la cantidad total de carbono almacenada en la vegetación y más del 45% de la almacenada en los suelos. Para llegar a estas estimaciones se calculó el contenido de carbono de algunos de ellos, como los detritos leñosos y la broza o las raíces. Esto aumenta la incertidumbre en la estimación de la reserva total del carbono. La mayor parte de la reserva de carbono de la vegetación forestal se halla en los bosques tropicales (62%), mientras que la de los suelos forestales se concentra principalmente en los bosques boreales (54%). En las zonas tropicales la cantidad de carbono presente en la vegetación forestal es prácticamente igual a la que se halla en el suelo.

Por otra parte, Dixon et. al, (1993) consideran que los sistemas forestales o los bosques cubren más de  $4.1 \times 10^9$  ha del área terrestre. Globalmente, la vegetación forestal y suelos contienen acerca de 1146 petagramos de carbono, aproximadamente el 37 % de este carbono en bosques de latitudes bajas, (0° a 25°), 14% en bosques de latitudes medias (25° a 50°), y 48% en latitudes altas (50° a 75°). En 1990, la deforestación en las latitudes bajas emitieron  $1,6 \pm 0,4$  petagramos de carbono, por año, considerando áreas de bosque de expansión y desarrollo. En latitud media y alta los bosques secuestran  $0.7 \pm 0.2$  petagramos de carbono por año. Una lenta deforestación, combinada con un incremento en forestación y la aplicación de medidas de manejo que mejoren la productividad del ecosistema forestal podrían secuestrar cantidades significativas de carbono.

Estimaciones de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> por combustión de aceites fósiles y cambios en el uso de la tierra entre 1980 a 1989 son de  $5.4 \pm 0.5$  Pg de carbono por año ( $1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g} = 1 \text{ Gt}$ ) y  $1.6 \pm 1.0$  pg de C por año, y  $\sim 3.2 \pm 0.1$  Pg de C por año en la atmósfera

Lugo y Brown (1992) estiman que los bosques tropicales representan una fuente neta de carbono relativamente importante, en 1990 fue de  $-1,60 \pm 0,4$  Pg/año. Estas emisiones equivalen a casi el 30% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> derivadas del empleo de combustible fósil. Si bien es ésta la mejor estimación disponible en las publicaciones, existen muchos motivos para creer que, con respecto a estos valores, la media real es inferior y el margen de incertidumbre más. A diferencia de los bosques templados y boreales, para los cuales las estimaciones de los flujos de carbono se basan, en su mayor parte, en datos procedentes de inventarios nacionales periódicos (es decir, mediciones sobre el terreno), el cálculo del flujo de carbono de los bosques tropicales está basado en un modelo teórico. Este modelo considera el caso de los bosques talados o explotados, para los que supone un período posterior de rebrote de hasta 50-100 años aproximadamente, durante el cual es posible la acumulación de carbono. (Brown, 1995).

Los conocimientos actuales en relación con el calentamiento de la atmósfera, llevan a pensar que probablemente los ecosistemas terrestres, y en particular los bosques, contribuyen en forma reducida al incremento neto del CO<sub>2</sub> atmosférico y, por tanto, al calentamiento de la tierra. No obstante, esta situación podría modificarse en el futuro si se permite que los bosques templados y boreales lleguen a la madurez, con lo que disminuiría su tasa de secuestro de carbono (aunque constituirían una reserva más importante de este elemento), y si la deforestación y la degradación de los bosques tropicales continúan al ritmo.

#### **IV.4 *Métodos de estimación de biomasa en bosques tropicales con base en datos de inventarios forestales.***

La emisión global resulta hoy en un incremento de dióxido de carbono en la atmósfera con un efecto potencial en el clima. La combustión de aceite fósil y la producción de cemento son las mayores fuentes de dióxido de carbono. Investigaciones usando modelos globales de carbono terrestre, argumentan que la deforestación y otros cambios en los usos de la tierra en el trópico son también fuente de dióxido de carbono atmosférico (Detwiler and Hall, 1988,; Detwiler et al. 1985,; Houghton et al., 1985). La magnitud de esta fuente adicional es corrientemente estimada entre 8% y 47% de la producción de la combustión de aceite fósil y la manufactura de cemento. Sin embargo, estas estimaciones ignoran el rol potencial de bosques tropicales maduros y secundarios como sumideros del dióxido de carbono atmosférico. (Lugo y Brown, 1986).

Brown (1997), define biomasa como la cantidad total de materia orgánica viviente sobre el suelo de los árboles expresado en peso seco en tn por unidad de área.

Brown y Lugo (1982, 1984) han realizado dos estimaciones de biomasa total por encima y por debajo del nivel del suelo, en bosques tropicales utilizando dos distintas bases de datos. Para la primera estimación (1982), ellos sintetizaron datos de literatura sobre biomasa total de la vegetación del bosque tropical, estimados por medición directa y parcelas experimentales (otros por técnicas de cosecha destructiva cortando árboles). Ellos obtuvieron pesos promedios del total de biomasa sobre la tierra para bosques cerrados de 282 Mg/ha (un rango de 144-513 Mg/ha) y para bosques abiertos de 55 Mg/ha (un rango de 28-82 Mg/ha).

En el segundo análisis, Brown y Lugo (1984) usaron datos reportados para todos los tipos de bosques por la Organización para la Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas, FAO (1981). Ellos convirtieron volumen de madera comercial a biomasa total usando densidades de madera promedio y factores de expansión (relación entre

biomasa total y biomasa comercial). Obtuvieron pesos promedios de la biomasa total de 150 Mg/ha para un bosque tropical cerrado no perturbado y 50 Mg/ha para bosques abiertos. Estos estudios mostraron marcadas diferencias de estimación de biomasa para bosques cerrados, pero similares estimaciones para bosques abiertos. La mayoría de los cambios de uso de la tierra están ocurriendo en el bosque tropical cerrado, donde el contenido de biomasa es más variable. Por esto es necesario obtener una estimación más precisa de la cantidad de biomasa contenida en estos bosques, en el orden de desarrollar la comprensión de su rol en el ciclo global del carbono.

La mayoría de las investigaciones sobre estimación de biomasa se han enfocado en el componente árbol del bosque porque este representa la fracción más grande de biomasa total. La biomasa de las raíces varía considerablemente y las raíces finas son generalmente el componente más importante. La biomasa de raíces puede variar de 10 a 50% (con un promedio de 17%) de la biomasa debajo del suelo en muchos bosque húmedos tropicales, muy probablemente la gran variación representa una función del tipo fertilidad del suelo y régimen de humedad (Brown y Lugo 1992).

Un estudio realizado por Brown y Lugo (1992), en Río Negro de Colombia y Venezuela, en el cual solamente consideró la biomasa total sobre el suelo en árboles con un diámetro de 10 cm o más, incluyendo hojas, ramitas, ramas, tronco y corteza. Estos autores no incluyeron estimaciones de biomasa de los otros componentes vivientes sobre el suelo de un bosque principalmente porque: la base de datos actual es insuficiente para realizar extrapolaciones a una escala mayor y porque representan una pequeña fracción de la biomasa total, por ejemplo, la contribución de los arbustos, enredaderas y plantas herbáceas del sotobosque a la masa sobre el suelo puede ser variable pero generalmente muy pequeña (cerca de un 3% ó menos ), aunque es probable que sea una proporción más grande en los bosques que han sido perturbados. Las palmas pueden ser comunes en los bosques húmedos tropicales y los inventarios de bosques tienden a ignorarlas. Sin embargo, con relación a la biomasa total viviente su contribución es generalmente pequeña.

#### **IV.5 *La Futura Potencialidad de los Bosques.***

Los principales objetivos de la ordenación de tierras forestales suelen ser los siguientes: producción de madera para industria, producción de leña, obtención de productos forestales no madereros, protección de recursos naturales (por ej. diversidad biológica, aguas y suelos), ordenación de la flora y la fauna silvestres, recreación, rehabilitación de tierras degradadas, etc. El secuestro del carbono constituirá un beneficio más de las actividades de ordenamiento realizadas con dichos fines, ya que al reducir las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, se mitiga el cambio climático (Brown, 1995).

El objetivo de la ordenación destinada al secuestro de CO<sub>2</sub> consiste esencialmente en evitar las emisiones de carbono mediante la conservación de las reservas de este elemento en los bosques; existen para ello diversas opciones como la lucha contra la deforestación, la protección de los bosques en reservas, la modificación de los regímenes de explotación, y el control de otros posibles trastornos como incendios o invasiones de plagas. La mejora más significativa en las prácticas de conservación del carbono podría obtenerse mediante la reducción de la deforestación y la degradación en las zonas tropicales (Brown, 1995).

#### **IV.6 *Cálculo del almacenamiento de carbono***

Los datos existentes sobre el crecimiento y la producción de los bosques proporcionan la base para calcular la capacidad para almacenar carbono. Los datos sobre el volumen de los troncos se convierten en equivalente en biomasa del árbol completo y generalmente, se adopta la hipótesis de que ésta contiene un 50% de carbono. La biomasa del árbol completo incluye las raíces, pero no el carbono del suelo, detritus o humus. La acumulación y el almacenamiento anual se deducen sumando el carbono del volumen en pie para cada año del ciclo de crecimiento o de rotación, dividiéndolo después por la duración de la rotación. Este cálculo de la cantidad media de carbono existente sobre el terreno durante una rotación se aplica a toda una serie de rotaciones, dando por un

hecho que el sistema es sostenible y que no se reduce el rendimiento en rotaciones posteriores (Schroeder,; Dixon y Winjum, 1993).

Conviene observar que para este procedimiento se considera que en el momento de la cosecha, o poco después, la mayor parte del carbono almacenado retorna a la atmósfera. Efectivamente, se calcula que por lo menos el 40% del carbono de la biomasa del árbol completo se encuentra en las hojas y en las ramas y que por lo general estos se queman, o se descomponen después de la corta. Del 60 % de carbono que queda en la parte cosechada, las operaciones de transformación dejan menos de la mitad del volumen total en el producto final; es decir, más del 75% (no menos del 90% según otras estimaciones) del carbono que se había sido almacenado regresa a la atmósfera inmediatamente después de la corta. Esto no significa que los productos acabados no tengan capacidad potencial para el almacenamiento prolongado de carbono, sino más bien que es necesario mejorar el rendimiento de las operaciones de extracción y transformación (Schroeder,; Dixon,; Winjum y 1993).

Gómez y Ramírez (1997), indican que para estimar el secuestro de CO<sub>2</sub> en plantaciones forestales de Costa Rica se han seguido los siguientes pasos:

1. Estimar el promedio del incremento el medio anual del volumen comercial para 5 de las especies (teca, eucalipto, melina, pílón y laurel) más usadas en Costa Rica.
2. Estimar el promedio del incremento medio anual de volumen para todo el árbol incluyendo el fuste, rarnas hojas y raíces. Basándose en estudios realizados por Brown et. al., 1989, Brown and Lugo, 1984; Thoranisorn, 1991; Faeth et.al., 1994; Nabuurs et.al., 1995, determinaron un factor de 2.0 para convertir biomasa comercial a biomasa total por árbol.
3. Determinación de la media del peso específico para las 5 especies principales mencionadas anteriormente. Considerando el conocimiento de los valores de 0.37gr/cm<sup>3</sup>

para (*Gmelina arborea*), 0.70gr/cm<sup>3</sup> para (*Tectona grandis*), y 0.50gr/cm<sup>3</sup> para eucalipto (*Eucalipto deglupta*) y el promedio es de 0.47gr/cm<sup>3</sup> o ton/m<sup>3</sup> el cual es utilizado en el estudio.

4. Determinación del contenido de carbono en la madera. Para esto se asume que el promedio de carbono contenido es del 50%, de acuerdo con Barres, 1993 que indica que las 5 especies principales contienen entre 47 y 53% de carbono.

5. Cálculo de la cantidad de carbono almacenado por tonelada de biomasa.

6. Cálculo de la cantidad de carbono almacenado por ha/año de la plantación forestal.

7. Estimación de la cantidad neta adicional de carbono almacenado para las plantaciones forestales de Costa Rica, durante los años en estudio.

8. Estimación de la cantidad neta acumulada de carbono almacenado.

9. Estimar la cantidad promedio neta de carbono que ha sido almacenado durante 25 años.

#### **IV.7 Análisis Financiero**

La inclusión del análisis financiero en el manejo de un bosque natural tiene como propósito ser utilizado como una herramienta de planificación usada en la realización del plan de manejo para determinar la rentabilidad desde el punto de vista del dueño del bosque, además de que permite examinar la estructura de costos y beneficios del manejo forestal. (Davis, 1994, citado por Méndez, 1995).

Por análisis financiero se entiende el análisis de ingresos, costos y rentabilidad de empresas individuales, considerando todos los factores de producción como pagados a precios de mercado (Aguirre, 1985).

El análisis financiero examina los costos y beneficios de una actividad productiva a precios de mercado y determina sus relaciones en términos de indicadores que reflejan el punto de vista o interés privado, es decir, de los individuos o empresas. Además, proporciona información sobre cuando se necesitarán los fondos y cuando se espera recibir los ingresos (en análisis ex-ante) o muestra cuando se ejecutaron las actividades productivas y el flujo real de costos e ingresos, durante el período de análisis y el balance final (en análisis ex-post). (Gómez y Ramírez, 1997).

Un análisis financiero que se lleva a cabo para estimar la rentabilidad comercial prevista de un proyecto comprende cuatro etapas principales. Primero, se identifican los insumos requeridos en el mercado en función de cuándo se necesitan. De modo análogo, los productos comercializados se identifican en función de cuándo se venden. Esta información determina un cuadro de corriente física. Segundo, se estiman los precios comerciales de los insumos y productos refiriéndolos a las fechas en que se compran los insumos y se venden los productos. Esta información se anota en los cuadros de valor unitario. La tercera etapa consiste en conjugar la información procedente de las dos etapas previas en un cuadro de corriente de liquidez que muestre el valor de los insumos y productos totales y las fechas en que esos valores (entradas y salidas de dinero) redundan en beneficio de la entidad desde cuyo punto de vista se lleva a cabo el análisis. Para completar el cuadro de corriente de liquidez, se agregan al mismo algunas transacciones financieras que comprenden transferencias de control sobre recursos. Comprenden éstos conceptos tales como impuestos y reembolsos de préstamos (salidas) y subsidios y productos de préstamos (entradas) más una serie de otros gastos e ingresos, todo ello según sea el proyecto y el objeto que persigue el análisis. Por último las entradas y las salidas de fondos se totalizan por los años en que se verifican para así llegar a una línea neta de corriente de liquidez. La cuarta etapa comprende luego el



empleo de esas cifras de valores netos por año para derivar algunas medidas de rentabilidad comercial. (Gregersen y Contreras, 1980).

Según Gómez (1996), es importante examinar algunos métodos para recopilar la información de campo que permita realizar los análisis financieros:

- **Tiempos y movimientos:**

Es un método práctico, detallado y confiable, utilizado en programas formales de investigación económica forestal. Consiste en anotar en un formulario específico, bajo tiempo controlado, el rendimiento de la mano de obra en cada actividad que se efectúa, así como los tiempos muertos y los materiales y servicios que se emplean, describiendo además los movimientos y la forma en que se realizan las actividades.

- **Rendimiento por faena:**

Es también un método práctico, con menor detalle y precisión, pero suficientemente confiable y útil. Se utiliza frecuentemente en programas de investigación económica forestal, porque requiere menos tiempo y recursos que el método anterior. Consiste en anotar en un formulario específico el rendimiento de la mano de obra al final de la jornada o al finalizar cada actividad.

- **Recuperación de datos:**

Es un método que permite recobrar información de una actividad de producción, algún tiempo después de que fue realizada. Consiste en entrevistas con informantes claves para reconstruir y recuperar los datos de costos e ingresos del proceso de producción completo. Se recurre a la memoria de los informantes, claves, datos de archivo, bitácoras, informes de trabajo, documentos de contabilidad y otros respaldos escritos. La confiabilidad de la información obtenida es menor que en los métodos anteriores, pero

tiene la ventaja de que requiere mucho menos tiempo y recursos, por lo que es muy utilizado para análisis rápidos que no requieren de mucha precisión.

#### IV.7.1 Indicadores Financieros

Para comparar diferentes alternativas u opciones de producción forestal y decidir sobre una o varias de ellas usualmente se utiliza el valor actualizado neto (VAN); la tasa interna de retorno (TIR) y la relación Beneficio-Costo (B/C). En general para estimar estos indicadores se utilizan los principios de actualización. Las fórmulas para calcular estos indicadores son las siguientes:

##### IV.7.1.1 Valor actualizado neto (VAN)

La evaluación de una inversión requiere la comparación de costos e ingresos que ocurrirán en años diferentes durante el ciclo del plan de manejo forestal. El VAN permite la aplicación del concepto del valor del dinero en el tiempo al evaluar una inversión. Con este método se puede obtener una medida de productividad de la inversión calculando la diferencia entre la suma de todos los ingresos descontados al momento del inicio de la inversión y la suma de todos los costos, también descontados al momento de inicio de la inversión. En el proceso de descuento se utiliza una tasa que refleje el costo del capital invertido por parte del productor del cual dependerá el valor. (Aguirre, 1985, Sage, 1986).

##### IV.7.1.2 Relación beneficio/costo (B/C)

La relación beneficio/costo es la relación que existe entre la suma del flujo de beneficios totales de cada año actualizados, divididos por la suma del flujo de costos actualizados. Si la relación beneficio/costo es igual a 1 indica que los beneficios son iguales a los costos. La relación beneficio/costo varía dependiendo de la tasa de interés que se utiliza en el proceso de descuento (Aguirre, 1985, Sage, 1986).

#### IV.7.1.3 Tasa interna de retorno (TIR)

Es aquella tasa de interés que hace que el valor presente de los ingresos sea igual al valor presente de los desembolsos, es decir que hace que el valor presente neto sea igual a cero (Gittinger, 1981).

La tasa interna de retorno = aquella tasa de descuento según la cual:

**{El valor actualizado de los beneficios}= {El valor actualizado de los costos}**

$$\sum_{t=0}^T B_t \cdot (1 + TIR)^{-t} = \sum_{t=0}^T C_t \cdot (1 + TIR)^{-t}$$

Donde;

**B<sub>t</sub>** : Beneficio bruto en el período t

**C<sub>t</sub>** : Costo en el período t

**t** : 1,2...T

#### IV.7.2 Análisis económico

Por análisis económico se entiende el análisis que se hace desde el punto de vista global, ya sea el de la sociedad o el de la economía nacional (Aguirre, 1985).

Aguirre, (1985) señala los siguientes pasos para realizar un análisis económico de las inversiones agropecuarias:

El análisis económico representa un enfoque con énfasis en el desarrollo económico de la sociedad y se fundamenta en el concepto de valor agregado, usado en las cuentas nacionales.

El primer paso en el análisis económico es la reestructuración de los componentes de costos, eliminando del cálculo de costos los siguientes componentes:

**Impuestos:** éstos se eliminan porque constituyen un pago de transferencia entre un sector de la economía y otro. Son fondos que se pagan al gobierno para obras de beneficio público.

**Intereses:** Se eliminan si se pagan sobre el capital que se ha pedido prestado a otra persona o institución y representa una transferencia que puede estar disponible para otros usos.

**Mano de obra contratada:** se elimina asumiendo que en los países en proceso de desarrollo con altas tasas de desempleo y subempleo, el hecho de que ésta se haga productiva es un beneficio a la economía y su costo está por encima de su costo de oportunidad.

El análisis económico sigue los mismos procedimientos para el cálculo de la tasa interna de retorno, relación beneficio/costo y valor presente, la única diferencia está en la reestructuración de los costos.

#### **IV.8 Diferencias entre análisis financiero y análisis económico.**

Para pasar de un análisis financiero a uno de tipo económico es necesario tener presente que el análisis financiero busca determinar, desde el punto de vista de la empresa privada comercial, si paga o no paga la inversión que se hace en una actividad

de producción forestal o agroforestal; sin embargo, y como contraste, el análisis económico analiza el uso o producción forestal y agroforestal, pero no desde el punto de la empresa privada, sino desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto; es decir, busca estimar la rentabilidad o bondad social de la actividad bajo estudio. (Reiche, 1993).

Gregersen y Contreras (1980), señalan que un análisis de eficiencia económica es en cierto sentido una simple extensión del concepto de análisis financiero, en que la entidad desde cuyo punto de vista se lleva a cabo el análisis pasa a convertirse en sociedad como un todo indiferenciado, más que como una entidad concreta dentro de la sociedad. El análisis de eficiencia económica como tal, también se ocupa de la rentabilidad, pero en este caso se trata de la rentabilidad desde el punto de vista de la sociedad, que se refiere al resultado para la sociedad en su conjunto que puede obtenerse con un determinado empleo de sus limitados recursos.

En el análisis económico los precios de mercado se reajustan a menudo para reflejar con mayor precisión los valores sociales o económicos. Dichos precios se conocen como precios de cuenta. La medida básica del valor económico es la disposición del consumidor a pagar por bienes y servicios, dadas las políticas del momento que influyen en esa disposición (Gregersen y Contreras, 1995).

En el análisis financiero, los beneficios se definen en función de los rendimientos monetarios reales para una entidad concreta (o grupo de entidades) en la sociedad desde cuyo punto de vista se lleva a cabo el análisis. Esos rendimientos derivan de la venta o alquiler de bienes del mercado, y por consiguiente se miden en precios de mercado. Se entiende por precio de mercado la cantidad de dinero que un comprador (consumidor) tiene que pagar en un determinado momento en un mercado dado, o bien el servicio o la cantidad de dinero que el vendedor de un bien o servicio recibe en el mercado. El precio de mercado se determina por la interacción de (1) la disposición del consumidor a pagar por un bien o servicio -demanda- (2) los costos del proveedor y su

disposición a venderlos -oferta-, y (3) las políticas oficiales restringen el libre juego de la oferta y la demanda (Gregersen y Contreras 1995).

En el análisis económico, por otra parte, lo que preocupa es lo que la sociedad cede y lo que la sociedad adquiere con un proyecto. Los costos se definen por lo tanto en función del valor de las oportunidades a que ha renunciado la sociedad debido a que se utilizan recursos en el proyecto más bien que en su otro empleo alternativo. Así pues, los costos en un análisis económico se denominan costos de oportunidad o sustitución. Los beneficios del proyecto se definen en cuanto a aumentos de bienes y servicios disponibles para la sociedad en su conjunto (Gregersen y Contreras, 1980).

Para hacer un análisis económico se usa una tasa social de actualización (TSA), la cual se utiliza para dar el peso relativo al consumo social o al ingreso que corresponde a diferentes puntos del tiempo. Además es necesario ajustar los precios de mercado a los precios denominados reales. Estos ajustes obedecen a las imperfecciones de mercado de los bienes y servicios que se producen. Si las fuerzas de la oferta y de la demanda de los recursos invertidos en la producción, mantenimiento o recuperación de la producción forestal o agroforestal se caracterizaran por un mercado perfecto en donde productores y compradores establecen un precio de equilibrio, entonces los mismos indicadores financieros servirían como indicadores del análisis económico; sin embargo la realidad es la imperfección del mercado (Reiche, 1993).

#### **IV.9 *Análisis de sensibilidad***

Aguirre 1985, menciona, que el análisis de sensibilidad de una inversión consiste en la modificación de alguno de los elementos del proyecto, y en calcular de nuevo el valor presente, la relación beneficio/costo y la tasa interna de retorno observando los cambios que se producen y la dirección de éstos en los tres indicadores básicos de evaluación de inversiones. La sensibilidad puede definirse como la magnitud de cambio en los

indicadores de evaluación en relación con un cambio introducido a las condiciones de un proyecto original. La sensibilidad por lo tanto está relacionada con los precios sombra ya que éstos son los posibles cambios a introducir en un proyecto de inversión.

Los elementos en los que más comúnmente se realiza una análisis de sensibilidad son:

- a. el valor de la mano de obra;
- b. el valor de la divisa;
- c. los coeficientes técnicos;
- d. los precios de productos finales;
- e. los precios de bienes y servicios

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **V.1 Descripción del sitio**

El estudio se realizó en el área que corresponde al bosque primario aprovechado de la finca La Tirimbina, ubicada en la Virgen de Sarapiquí, en la vertiente Atlántica de Costa Rica.

La finca La Tirimbina se encuentra localizada en el Distrito Segundo, Cantón Décimo, de la provincia de Heredia. Según la clasificación de Holdridge, la región corresponde a la de un bosque muy húmedo tropical (bmh-T) y bosque húmedo premontano, transición a basal (bmh-P) (Manta, 1988, citado por Siteo (1992). La situación geográfica de la región es de 84° 07' de longitud y 10° 25' de latitud Norte a una altitud entre los 160 y 220 msnm (Delgado, 1995). El clima es tropical muy húmedo con una temperatura promedio anual de 24,5 °C.

La topografía es de colinas bajas, sin cambios abruptos a gran escala y con pendientes que oscilan de 10 a 40% (a veces hasta 70%). Los suelos se clasifican en el orden de

inceptisoles, de color pardo oscuro, profundos, con erosión laminar leve, textura pesada, bien drenados; el componente principal es la arcilla.

Según Quirós y Finegan, (1994), el bosque de esta finca es clasificado como primario intervenido y consta de 80 ha, las cuales fueron selectivamente aprovechadas en 1962, y en 1980. En todo el área se realizó un aprovechamiento planificado: en 1989 en las parcelas 4 y 7, en 1990 en el resto del área, con una intensidad moderada para mantener la estructura disetánea del rodal Camacho y Finegan, (1997).

De las 80 ha de bosque primario, 29.16 ha se encuentran bajo experimentación silvícola, en un diseño de bloques al azar con tres tratamientos. El área experimental consiste en 9 bloques completos de tamaño de una ha con una faja de amortiguamiento de 40 m de ancho. El área total por parcela es de 180 X 180 m (3,24 ha). Quirós y Finegan, (1994).

Los tratamientos fueron ajustados de acuerdo a tres modelos silviculturales.

El primero de ellos, consiste en el aprovechamiento de parcelas sin la aplicación posterior de intervenciones silvícolas (modelo tradicional) Finegan et al. 1993. Las parcelas 2, 4 y 8 conforman este grupo y aunque sufrieron un aprovechamiento no recibieron ningún aprovechamiento silvicultural Camacho y Finegan (1997).

El segundo modelo, denominado discetáneo, pretende mantener la estructura discetánea de la vegetación, y con ella conservar los distintos elementos de su flora y fauna necesarios para la sostenibilidad biológica del bosque (polinizadores, agentes de diseminación, especies vegetales no comerciales de importancia en la alimentación de la fauna silvestre, etc.). Para cumplir con tales propósitos, se realizaron en el bosque cortas selectivas de intensidad baja (10-15 árboles por ha), y se aplicó un tratamiento de apertura del dosel intermedio (eliminación de árboles indeseables entre 10-40 cm de dap), pero manteniendo siempre un dosel superior, dominado por especies comerciales



Finegan et al. 1993. Las parcelas 3, 5 y 9 fueron asignadas al tratamiento liberación con refinamiento parcial y tratadas en 1991. Camacho y Finegan (1997).

El tercer modelo, denominado coetáneo, considera una intervención más fuerte del bosque después del aprovechamiento. Su objetivo principal es inducir la regeneración de especies heliófitas deseables, de rápido crecimiento. El ajuste de este modelo a las condiciones del bosque en la Tirimbina llevó a la aplicación de un tratamiento de refinamiento y liberación (por anillamiento), en individuos no deseables  $\geq 10$  cm de dap. Se mantuvo siempre una sombra ligera de especies comerciales con el propósito de que sirvieran de fuentes de semilla (Finegan et al. 1993). Las parcelas 1, 6 y 7 se asignaron al tratamiento dosel protector y fueron tratadas en 1992 Camacho y Finegan (1997).

En resumen, los tratamientos son:

- Bosque con aprovechamiento
- Bosque con aprovechamiento y un tratamiento de dosel protector.
- Bosque con aprovechamiento y mezcla de liberación y refinamiento parcial.

En el período 1989/1990 se realizó el aprovechamiento comercial en el área de manejo experimental, obteniendo la máxima cantidad de productos del bosque con el menor daño posible al suelo y a la masa remanente. En 1991 y 1992 se aplicaron tratamientos silvícolas en el área, buscando obtener las condiciones ideales en la masa remanente deseable, para lograr el mayor establecimiento e incrementos futuros (Finegan y Quirós, 1994).

Las mediciones anuales de las parcelas permanentes se iniciaron en 1988 en las parcelas 3, 4 y 8 y en 1990 en otras seis parcelas. Las parcelas del tratamiento dosel protector no se midieron en 1992. En cada medición se identificaron, se marcaron y

midieron los ingresos, así como los árboles muertos y la causa de su muerte, aprovechamiento, muerte natural o por causa de tratamiento silvicultural. Camacho y Finegan (1997).

En cuanto a la estructura y composición del bosque, Finegan y Quirós (1996), afirman que el área basal total antes del aprovechamiento fue estimada por Manta (1988) en unos 24m<sup>2</sup>/ha, (árboles con dap  $\geq$  10 cm). La especie dominante es el gavilán (*Pentaclethra macroloba*) que representa un 15% del total de árboles y un 35% del área basal total (con un dap  $\geq$  10 cm). Tres especies de palma (*Socratea durissima*, *Iriartea gigantea* y *Welfia georgii*) eran también importantes. Entre las demás especies principales cabe destacar la abundancia de botarrama (*Vochysia ferruginea*), manga larga (*Laetia procera*) y manú (*Minuartia guianensis*). Un 38% de los individuos con dap  $\geq$  10 cm eran de especies comerciales en Costa Rica y no menos del 68% del área basal total está formada por las mismas especies.

El propósito de los tratamientos fue de manipular la dinámica natural del ecosistema, de tal manera que se aumentara la productividad de biomasa utilizable en el futuro.

## V.2 Estimación de la cantidad de C almacenado

### V.2.1 Cálculo de biomasa total (sobre la superficie)

La estimación de la cantidad de C almacenado se realizó utilizando solamente datos de árboles con un diámetro mayor o igual a 10 cm. Se trabajó en base a las mediciones de diámetro que se encuentran en la base de datos de la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE.

Para el cálculo de la biomasa total sobre el suelo, se procedió a realizar predicciones por un período de 60 años, utilizando dos ecuaciones de regresión que han sido estimadas

por otros autores (Brown et al. 1989) y Brown (1997) com. pers. para bosques húmedos tropicales.

El modelo matemático a utilizar es el de la forma cuadrática:

$$Y = B_0 + B_1X + B_2X^2 + e$$

Donde:

Y = variable dependiente biomasa total en kilogramos

X = variable independiente diámetro a la altura del pecho (1,3 m)

Específicamente, Brown et al. (1989), estimaron la siguiente ecuación para predecir la biomasa sobre el suelo para árboles individuales, en bosques tropicales sin intervención y con intervención, en función de diámetro a la altura del pecho de acuerdo a la zona de vida, de un bosque muy húmedo tropical (bmh-T), según el sistema de Holdridge:

$$\hat{Y} = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D^2)$$

Donde:

^

Y = es el valor esperado E(Yi) de biomasa sobre el suelo en Kg para un árbol individual con un diámetro a la altura del pecho D.

D = es el diámetro a la altura del pecho (cm)

También Brown (1990) estimó una nueva ecuación para bosques muy húmedos tropicales;

$$\hat{Y} = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.740300(D^2).$$

Donde:

$\hat{Y}$  = es el valor esperado  $E(Y_i)$  de biomasa sobre el suelo en Kg para un árbol individual con un diámetro a la altura del pecho  $D$ .

$D$  = es el diámetro a la altura del pecho (cm)

Como herramienta para realizar el análisis se utilizó el paquete estadístico SAS y la hoja de cálculo de EXCEL.

Para realizar la estimación de biomasa se utilizaron dos procedimientos;

- Estimación a partir de los datos obtenidos de las parcelas permanentes utilizando las dos ecuaciones antes señaladas, para el período comprendido de 0 a 6 años

- Estimación de biomasa desde el año 7, hasta el 60, esta se hizo en base a la simulación de 3 aprovechamientos, con un ciclo de rotación de 20 años, para cada uno de los diferentes tratamientos. Para esto se utilizó el programa de Simulación de Rendimiento del Bosque Natural (SIRENA 2). Una vez realizada la simulación se aplicaron las mismas ecuaciones mencionadas anteriormente.

SIRENA 2, es un modelo de simulación para el manejo del bosque natural en zonas bajas de la Zona Norte De Costa Rica, el cual está basado en un modelo precedente SIRENA 1, que fue desarrollado en 1996 por el Dr. Denis Alder para la Comisión de

Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA). SIRENA 2 se fundamenta en el modelo de cohorte como estrategia de modelaje orientado al manejo de los bosques naturales. Las características principales de los modelos de cohorte son (Alder 1995)

- El bosque es clasificado en cohortes. Un cohorte es un grupo de árboles del mismo grupo de especies y clases diamétricas. Los cohortes pueden ser también clasificados por la condición del árbol estado de competencia y otros factores.
- El crecimiento está simulado por la actualización de los parámetros que definen un cohorte sobre los incrementos en el tiempo simulado, el cual puede variar típicamente de 1 a 5 años dependiendo del diseño del modelo y de los datos disponibles, el crecimiento puede incluir el incremento en el diámetro del árbol, mortalidad y reclutamiento.
- El aprovechamiento es simulado por la reducción en el número de los cohortes afectados y por el aumento de la mortalidad proporcional a la intensidad de cosecha.

La base de datos utilizada para construir SIRENA 2, necesaria para el análisis del modelo se basaron en datos provenientes de 26 parcelas de 1 ha y 27 parcelas de  $\frac{1}{4}$  de ha establecidas por CODERFORSA desde 1991 con un período de medición de 4 años, y de 17 parcelas de 1 ha establecidas por Pórtico desde 1989, con mediciones de 7 años.

Para la simulación fue necesario introducir la información de un año de datos base, es decir 1996. Con esto fue posible realizar la predicción de diámetros a la altura del pecho por clases diamétricas desde el año 7 hasta el año 60. Como resultado se obtuvo el número de árboles por cada clase diamétrica, cuyo intervalo es de 0.5 a partir de 10 cm de diámetro, por lo cual se hizo necesario utilizar el promedio de la clase diamétrica de cada intervalo, para aplicar cada una de las dos ecuaciones de regresión para predecir la correspondiente biomasa para cada árbol individual, a lo largo del tiempo. Para obtener la biomasa total sobre el suelo de todos los árboles por clase diamétrica, se multiplicó la

biomasa por árbol individual por el número de árboles por ha comprendida en cada clase diamétrica. Para fines del estudio solamente se utilizaron los datos obtenidos de la ecuación (2) considerando que los resultados obtenidos de ambas ecuaciones son similares.

## V.2.2 Cálculo de la cantidad de carbono fijado en la madera

Una vez estimada la biomasa por árbol individual se procedió a realizar la sumatoria del total de árboles para cada tratamiento (incluyendo el bosque primario no aprovechado) y luego convertirla en biomasa total por ha con base en los datos sobre las áreas de medición. El valor obtenido se multiplica por el porcentaje de carbono el cual se asume de un 50%, o sea que la cantidad de biomasa en un bosque determina directamente la cantidad de carbono secuestrado. (Schoroeder,; Dixon,; Winjum 1993, Brown y Lugo 1992). El cálculo de la cantidad de carbono fijado se hizo por hectárea, por año.

El cálculo se hizo considerando que la aplicación de los tratamientos silviculturales solo se realizan en el primer ciclo de corta, esto es debido a que SIRENA no estima el efecto de tratamiento.

## V.3 Análisis Financiero

### V.3.1 Recuperación de información

Para realizar el análisis financiero, es necesario disponer de la información de costos y beneficios directos resultante de la actividad de producción forestal.

La información necesaria para desarrollar el análisis financiero fue suministrada por la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE.

Dicha información incluye el número de jornales de personal calificado y de personal no calificado, el número de horas de operación de maquinaria y los insumos utilizados en cada una de las actividades o faenas que se realizaron: plan de manejo, inventario de planificación, plan de aprovechamiento, habilitamiento de caminos, corta, arrastre, troceo, carga y transporte, aserrío de residuos, impuesto forestal, control técnico, muestreo diagnóstico, tratamiento silvicultural; todo lo anterior por unidad de área (ha). Además se incluyen los ingresos resultantes por concepto de la venta de productos forestales, también por unidad de área (ha).

### V.3.2 Análisis Beneficio Costo (ABC)

Para determinar la rentabilidad financiera de los tratamientos silviculturales se utilizó la metodología de análisis de beneficio costo (ABC).

1.- El análisis se fraccionó en períodos de un año. El período total de análisis fue de 60 años. Se cuenta con 6-8 años de datos, incluyendo un primer aprovechamiento inicial. Además se estimó la producción forestal a obtenerse durante los próximos 60 años. La estimación de la producción se hizo con el programa SIRENA 2, para ciclos de corta de 20 años.

#### 2.- Identificación de costos y beneficios:

Una vez recopilada la información correspondiente se identificaron los costos, tanto de operaciones como de inversión, relacionados con las diferentes actividades que se realizaron para cada una de las diferentes estrategias de intervención y manejo a lo largo del tiempo. También se contabilizaron los costos de los aprovechamientos llevados a cabo en el año base.

Además fue necesaria la identificación de los ingresos resultantes del primer aprovechamiento (1989/90), así como de aquellos estimados para el final de cada período o sea a la segunda la tercera y la cuarta cosecha con ciclos de 20 años cada una. Para estimar los ingresos que se obtendrán al final de cada ciclo se estimaron los volúmenes aprovechados por grupos comerciales. Con este fin se establecieron 4 grupos principales de especies según su valor comercial. El grupo 1 esta comprendido por las especies de valor comercial mediano, el grupo 2 por las de valor comercial alto, el grupo 3 por *Pentaclethra maculosa* y el grupo 4 por especies de menor valor comercial que en su mayoría son utilizadas para formaleta. Esta estimación también se realizó con el programa SIRENA 2 que predice volúmenes aprovechados utilizando ecuaciones ya establecidas para cada grupo de especies.

Para la simulación de volúmenes extraídos se especificó en el programa de simulación el ciclo de corta, el área basal requerida para realizarse la corta. El límite de diámetro y la retención de volumen se fijo según las normas legales establecidas, que indican que el diámetro mínimo de corta es mayor o igual a 60 cm y la retención del 40% del volumen existente.

Una vez estimados estos volúmenes se procedió a valorar la cantidad de madera extraída con base en los precios promedios de Noviembre de 1997 en colones, autorizados por la Cámara Costarricense Forestal.

Después de la identificación de los costos e ingresos se elaboró un cuadro resumen de estos, como base para el cálculo de los indicadores financieros.

### 3.- Actualización de costos y beneficios

La tasa de actualización o descuento es la que se utiliza para establecer el valor actualizado o presente que corresponde a un flujo de ingresos o beneficios netos que se ha estimado obtener en el futuro. Los costos e ingresos se actualizaron utilizando una



tasa de descuento real del 5%. Para determinar esta tasa, se usó como referencia la tasa bancaria pasiva promedio del Sistema Bancario Nacional, estimada en 18.3%, como tasa nominal, y la inflación para el último período estimada en 12.7% anual. Con estas dos variables se calculó la tasa real por la fórmula:

$$TR=(1+TN/1+I)*100$$

Donde;

**TR:** es la tasa real

**TN:** es la tasa nominal

**I:** Inflación para el período

La razón para utilizar una tasa real es que el flujo de costos e ingresos se calculó a precios constantes de 1997.

Además de esta, se utilizaron otras tasas reales de descuento 8%, 10% y 12%.

#### 4.- Cálculo de Indicadores Financieros

Se usaron las medidas o indicadores financieros más comunes que toman en consideración el efecto del tiempo sobre el valor del dinero: Valor Actual Neto (VAN), relación Beneficio/Costo Actualizada (B/C-A) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

### - Cálculo del VAN

El VAN es igual al valor actualizado de los beneficios menos el valor actualizado de los costos, dada una tasa de descuento  $i$ .

La ecuación para calcular el VAN es:

$$VAN = \sum_{t=0}^T (B_t - C_t) (1 + i)^{-t}$$

$B_t$  = Beneficios brutos durante el período  $t$ .

$C_t$  = Costos durante el período  $t$ .

$t$  = Período en cuestión.

$T$  = 60 años.

$i$  = Tasa de descuento.

Un VAN positivo indica la inversión es favorable a la tasa de descuento preestablecida y debe llevarse a cabo. VAN más elevados indican que la inversión tiene rendimientos superiores. En el caso de los diferentes tratamientos, el que presente el VAN mayor será el más rentable. Si alguno presenta un VAN negativo, se le considera no rentable.

### - Cálculo de la relación Beneficio/Costo actualizada

La relación Beneficio/Costo actualizada (B/C-A), es igual al valor actualizado de los beneficios brutos entre el valor actualizado de los costos (B/C-A).

La fórmula para calcular la relación B/C-A es:

$$B/C-A = \frac{\sum_{t=1}^T B_t / (1 + i)^t}{\sum_{t=1}^T C_t / (1 + i)^t}$$

$B_t$  = Beneficios brutos durante el período  $t$ .  
 $C_t$  = Costos durante el período  $t$ .  
 $t$  = Período en cuestión.  
 $T$  = 60 años en este caso  
 $i$  = Tasa de descuento.

La relación  $B/C-A$  debe de ser como mínimo igual a 1, si se obtuviese un valor inferior en alguno de los tratamientos, indica que los beneficios actualizados que se obtienen mediante ese tratamiento son menores que los costos.

### - Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es aquella tasa para la cual el valor actualizado de los beneficios es igual al valor actualizado de los costos. (Aguirre, 1981).

Entonces, la TIR se calculó encontrando la tasa de descuento que logra que la ecuación del VAN presentada anteriormente sea igual a cero.

La TIR representa la máxima tasa a la costo en el cual se puede tomar dinero prestado para financiar un determinado tratamiento, repagando con su producción sin tener pérdidas.

Como herramienta para calcular los indicadores financieros antes mencionados, se utilizó el programa diseñados específicamente para el análisis de inversiones forestales Cash Flow.

#### V.4 Análisis financiero más valoración de C

Para efectuar este análisis se utilizó, al igual que en el caso del financiero, la metodología de beneficio costo (ABC).

En este trabajo, solo se considero el valor económico del CO<sub>2</sub> almacenado por el bosque en forma de carbono. En el caso de todos los otros insumos y productos del manejo forestal se utilizaron precios y costos unitarios financieros o de mercado.

En cuanto al valor del almacenamiento de carbono

Como un beneficio ambiental global se utilizará un precio base de US \$10.0 por tonelada almacenada (en promedio) durante períodos de 20 años, dadas las negociaciones de implementación conjunta hasta ahora llevadas a cabo por el gobierno de Costa Rica (Ramírez y Gómez, 1997).

También cabe destacar que en el análisis se sub-valora significativamente el servicio de secuestro de CO<sub>2</sub> por parte de los bosques bajo manejo sustentable, ya que se presupone que este se libera de inmediato a la atmósfera una vez que la madera es cosechada. Puede teorizarse que, si se consideran tanto la curva de fijación como la de liberación a lo largo del tiempo luego del aprovechamiento, se encontraría una dinámica positiva e importante de fijación neta de CO<sub>2</sub> en los bosques naturales bajo manejo sustentable, a largo plazo.

Para proceder con el análisis planteado en esta sección, se desarrollo el cuadro de flujo de valores en cual se indican los totales de los costos y beneficios a lo largo del tiempo. Luego se procedió a realizar un análisis de sensibilidad utilizando diferentes posibles precios para el carbono.

En 1993, Kishor y Constantino en un análisis económico realizado en Costa Rica utilizaron el precio de US\$10/tn de carbono como un valor bajo y el precio de US\$20/tn de carbono como un valor alto.

Por otra parte, Costa Rica cuenta con tres proyectos aprobados por el United States Initiative on Joint Implementation (USJI) y varios más presentados; estos proyectos manejan un rango de precios por tonelada métrica de CO<sub>2</sub> fijado entre US\$ 10.00 y US\$ 16.00. El MINAE (1996) en Costa Rica, reporta precios entre US\$ 5.0 a US\$20/TM de carbono.

Ramírez y Gómez, (1997) utilizan un precio de US\$12.50/tn de carbono como resultado del promedio del rango de US\$5.00 a US\$20.0/tn de carbono equivalente a US\$3.41/tn de CO<sub>2</sub>.

Cabe señalar que tanto para el análisis financiero, como para el análisis financiero más valoración de almacenamiento de carbono, se estimó la TIR, el VAN y la relación B/C-A, bajo las siguientes circunstancias:

A) Se hacen los tratamientos silviculturales (en los casos pertinentes) y un aprovechamiento 20 años después (análisis monoperiódico). Esta es una evaluación a corto plazo de la actividad de manejo forestal.

B) Se hace el primer aprovechamiento, luego los tratamientos silviculturales (en los casos pertinentes) y un segundo aprovechamiento 20 años después (análisis del primer ciclo de manejo) y luego aprovechamientos periódicos cada 20 años, al infinito. Esto es una evaluación a largo plazo de la actividad de manejo forestal.

Para lo anterior (B) se calcularon los VAN para los primeros tres ciclos de producción (VAN<sub>1</sub>=2-20 años, VAN<sub>2</sub>=21-40 años y VAN<sub>3</sub>=41-60 años). Se asumió que los VAN de los ciclos posteriores serán iguales al VAN<sub>3</sub>.

Entonces, utilizando la fórmula de Fausstmann;

$$VANL = VAI + VAN_1 + VAN_2/(1+i)^T + VAN_3/(1+i)^{2T} * (1-e^{-iT})$$

Donde;

**VANL** = Valor actual neto del aprovechamiento forestal a largo plazo.

**VAI** = Valor del aprovechamiento inicial

**VAN<sub>1</sub>** = VAN del período de 2-20 años

**VAN<sub>2</sub>** = VAN del período de 21-40 años

**VAN<sub>3</sub>** = VAN del período de 41-60 años

**i** = Tasa de Descuento

**T** = Longitud de la rotación (20 años).

#### V.4.1 Análisis del costo de oportunidad de la tierra.

Hasta el momento un supuesto oculto pero de vital importancia es que el costo de oportunidad de la tierra es cero. Esto asume que el único uso de la tierra permitido es el bosque y que esta no puede venderse a un precio de mercado mayor que cero. Alternativamente, para todos los diversos escenarios antes descritos, se calculó el costo de oportunidad de la tierra por ha/año que resultaría en  $VAN = 0$ . Entonces si el verdadero costo de oportunidad de la tierra en la zona es  $\geq$  que el calculado, el manejo del bosque no es la actividad más rentable financiera o económicamente según sea el caso.

#### V.4.2 Análisis financiero incluyendo el valor de la renta de la tierra.

Para realizar este análisis se utilizó la misma metodología de análisis beneficio costo (ABC). Sin embargo, se incluyó el valor del costo de renta por ha/año, este valor se tomo del Boletín de precios y otras estadísticas del sector agroforestal de 1993. El valor obtenido se actualizó al año 1997.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

### VI.1 Estimación de biomasa

En el cuadro 1 se muestran los resultados para el testigo obtenidos a través de la aplicación de las dos ecuaciones de regresión para un período de 7 años, el año 0 fue el año en el cual se realizó el primer aprovechamiento.

**Cuadro 1 Biomasa de las parcelas Testigo, calculadas con las dos diferentes ecuaciones a partir de datos reales. Finca La Tirimbina**

Año	Biomasa tn/ha $Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.74030(D)^2$	Biomasa tn/ha $Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
*0	158.35	155.55
1	142.56	140.49
2	146.24	143.90
3	147.47	145.11
4	151.73	149.26
5	156.57	154.08
6	173.15	168.54

\* Antes del aprovechamiento

Puede observarse que con las dos ecuaciones se obtienen resultados muy similares. Debido a esto para fines de cálculo de la cantidad de carbono almacenado se trabajó con la ecuación (1).

En la Fig.1 se puede observar que la biomasa sobre el suelo se incrementa en forma casi lineal después de realizado el primer aprovechamiento en el testigo de La Tirimbina.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos al realizar la simulación con SIRENA y aplicar las ecuaciones de predicción de biomasa, a partir del año 7 y hasta el año 60 (ver Fig.2 y 3), asumiendo un ciclo de corta de 20 años. Dicho ciclo fue establecido por Quirós y Finegan (1994), basado en el hecho de que el número de

árboles remanentes de las especies comerciales de la clase diamétrica 50-59.9 es superior al número de individuos mínimo para asegurar la futura cosecha.

Por otra parte, si se acepta que el crecimiento diamétrico mediano anual de 0.5 cm/año<sup>-1</sup> determinado por Siteo (1992) para especies de rápido y lento crecimiento en este mismo bosque, podría esperarse que los árboles de la clase diamétrica 50-59.9 cm hayan superado el diámetro de corta al cabo de los 20 años.

**Cuadro 2. Biomasa de las parcelas Testigo, calculadas con dos ecuaciones a partir de datos simulados. Finca La Tirimbina**

Año	Biomasa tn/ha $Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.74030(D)^2$	Biomasa tn/ha $Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
7	164.15	167.04
8	166.68	169.60
9	166.92	169.94
10	169.53	172.58
11	173.20	176.17
12	174.88	177.93
13	177.89	180.93
14	178.24	181.39
15	179.68	182.92
16	177.95	181.31
17	183.15	186.43
18	185.10	188.34
19	189.67	192.71
*20	166.88	169.58
21	167.78	170.82
25	176.12	179.03
30	183.29	186.49
35	195.40	198.24
*40	176.06	179.06
45	184.40	187.07
50	189.23	191.99
55	187.81	191.61
*60	182.20	184.76

\* Aprovechamiento



Fig 1 Biomasa promedio de las parcelas testigo de La Tirimbina: estimación basada en mediciones directas

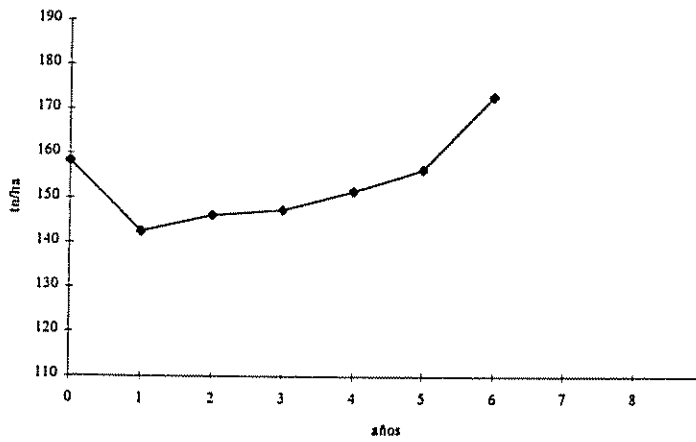


Fig 2 Biomasa promedio de las parcelas testigo de La Tirimbina: simulación con base en el modelo SIRENA 2, de 7 a 22 años (Alder, 1996).

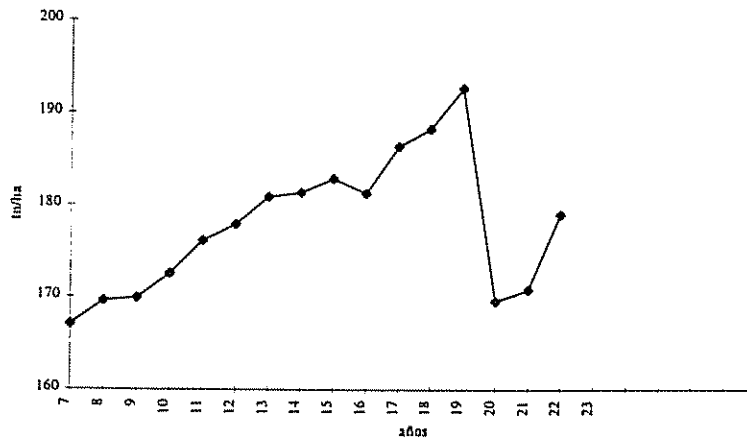
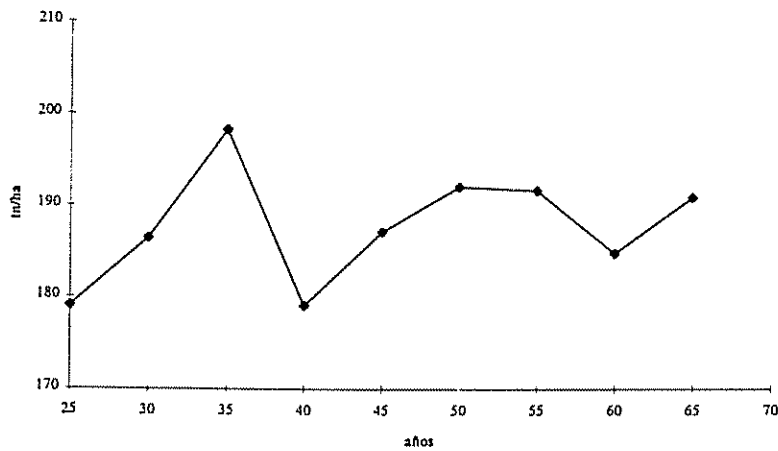


Fig 3 Biomasa promedio de las parcelas testigo de La Tirimbina: simulación con base en el modelo SIRENA 2, de 25 a 60 años (Alder, 1996)



En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos a través de la aplicación de las 2 ecuaciones de regresión en el caso del tratamiento de liberación también en La Tirimbina (ver además Fig.4). Al igual que en el testigo ambos arrojan predicciones de biomasa muy similares. La biomasa antes del aprovechamiento fue de 174.79 tn/ha, sin embargo al realizar el aprovechamiento disminuye hasta 160.98 tn/ha (ecuación 1), luego debido al efecto del tratamiento aplicado en el año 2 sigue decreciendo hasta el año 6 en que comienza a haber un incremento en la biomasa. Cabe señalar que el tratamiento de liberación presenta los promedios más bajos con respecto a los otros tratamientos para este período de tiempo.

**Cuadro 3. Biomasa de las parcelas de Liberación, calculadas con dos diferentes ecuaciones a partir de datos reales. Finca La Tirimbina.**

Año	Biomasa tn/ha $Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.74030(D)^2$	Biomasa tn/ha $Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
*0	174.79	170.20
1	160.98	156.90
2	130.95	127.86
3	127.76	124.81
4	121.44	118.84
5	---	---
6	128.12	125.36

\* Antes del aprovechamiento

Con respecto a los resultados obtenidos a través de la simulación con SIRENA, a partir del año 7 hasta el año 60, la biomasa comienza a incrementarse linealmente, hasta el segundo ciclo de corta (ver Fig. 5 y 6). Sin embargo siempre está debajo de los valores del bosque testigo.

Fig 4 Biomasa promedio de las parcelas liberación de La Tirimbina: estimación basada en mediciones directas

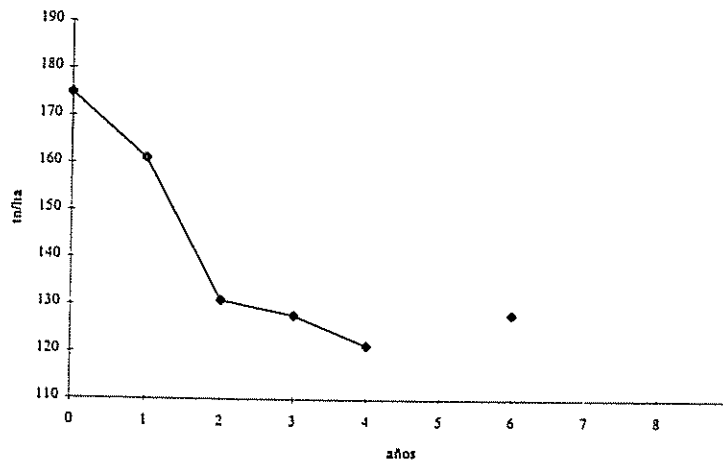


Fig 5 Biomasa promedio de las parcelas liberación de La Tirimbina: simulación con base en el modelo SIRENA 2, de 7 a 22 años (Alder, 1996)

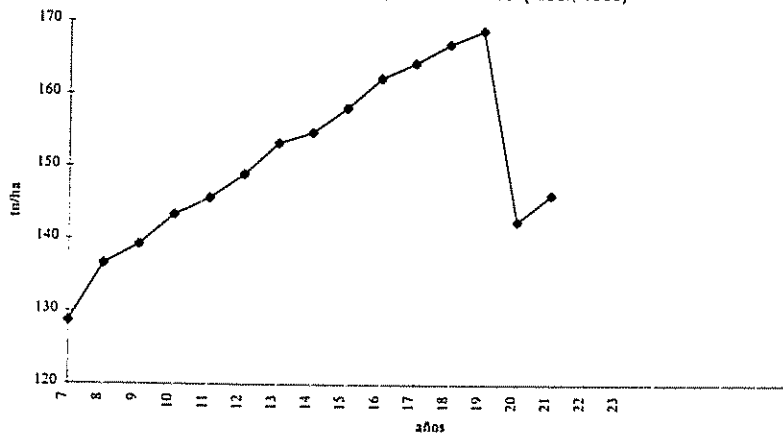
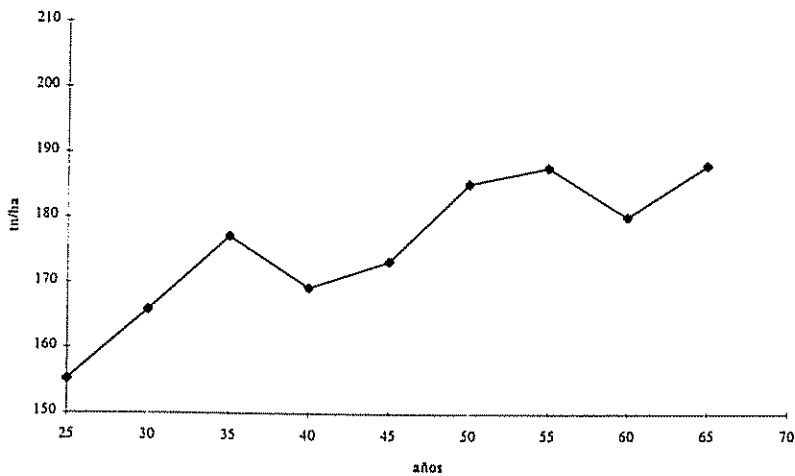


Fig 6 Biomasa promedio de las parcelas liberación de La Tirimbina: simulación con base en el modelo SIRENA 2, de 25 a 60 años (Alder, 1996).



**Cuadro 4. Biomasa de las parcelas de Liberación, calculadas con dos ecuaciones a partir de datos simulados. Finca La Tirimbina.**

Año	Biomasa tn/ha	Biomasa tn/ha
	$Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.74030(D)^2$	$Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
7	128.65	130.27
8	136.60	138.51
9	139.23	141.83
10	143.40	145.69
11	145.69	148.27
12	148.98	151.87
13	153.33	156.35
14	154.78	158.03
15	158.20	161.62
16	162.30	164.91
17	164.42	168.16
18	167.05	170.77
19	168.88	172.67
*20	142.55	146.35
21	146.20	150.05
25	155.10	159.23
30	165.82	170.47
35	177.26	182.03
*40	169.30	173.73
45	173.35	177.65
50	185.30	189.30
55	187.81	191.61
*60	180.26	183.60

\* Aprovechamiento

Para el tratamiento de dosel superior los rangos de biomasa se encuentran para la ecuación (1) entre 155.58 - 137.85 tn/ha y para la ecuación (2) entre 151.99 - 134.50 tn/ha, siendo las proyecciones para los distintos años bastante similares Cuadro 5.

**Cuadro 5. Biomasa de las parcelas Dosel Protector, calculadas con dos ecuaciones a partir de datos reales. Finca La Tirimbina.**

Año	Biomasa tn/ha $Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.74030(D)^2$	Biomasa tn/ha $Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
*0	152.08	149.19
1	140.04	137.64
2	---	---
3	138.22	135.36
4	137.85	134.50
5	143.77	140.45
6	155.58	151.99

\* Antes del aprovechamiento

Los resultados simulados a partir del año 7 (Cuadro 6), al igual que los tratamientos testigo y liberación muestran un incremento casi lineal a través del tiempo, sin embargo la biomasa después de cada ciclo de corta tiende a aumentar con respecto al anterior. (ver Fig. 8 y 9). Posteriormente se presentan resultados de promedios para cada ciclo de corta.

**Cuadro 6. Biomasa de las parcelas Dosel Protector, calculadas con dos ecuaciones a partir de datos simulados. Finca La Tirimbina.**

Año	Biomasa tn/ha $Y = 21.297022 - 6.952649(D) + 0.74030(D)^2$	Biomasa tn/ha $Y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
7	153.39	154.65
8	155.88	157.38
9	157.14	158.91
10	160.20	162.13
11	163.21	165.36
12	165.63	167.99
13	167.03	169.63
14	169.54	172.27
15	171.49	174.42
16	174.91	177.82
17	177.22	180.36
18	180.85	183.98
19	181.76	184.92
*20	163.68	166.70
21	168.28	171.37
25	173.45	176.86
30	182.81	186.49
35	187.05	190.80
*40	178.81	182.29
45	182.31	185.73
50	192.44	195.70
55	196.68	199.78
*60	187.53	190.29

\* Aprovechamiento

Fig 7 Biomasa promedio de las parcelas dosel protector de La Tirimbina: estimación basada en mediciones directas

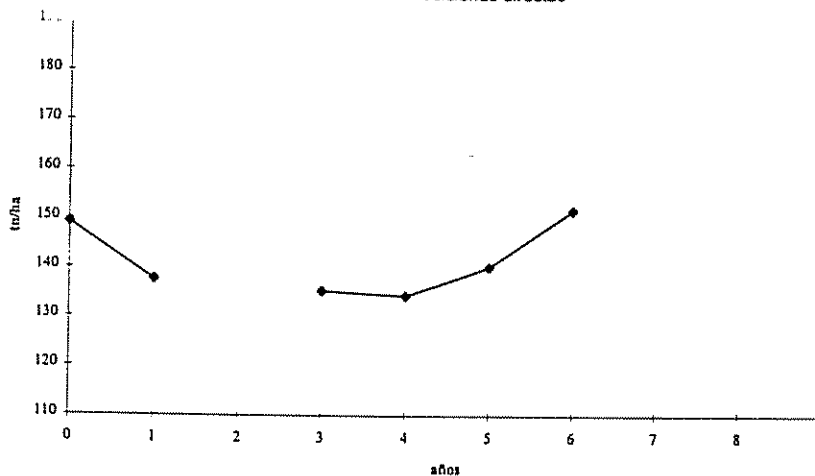


Fig 8 Biomasa promedio de las parcelas dosel protector de La Tirimbina: simulación con base en el modelo SIRENA 2, de 7 a 22 años (Alder, 1996).

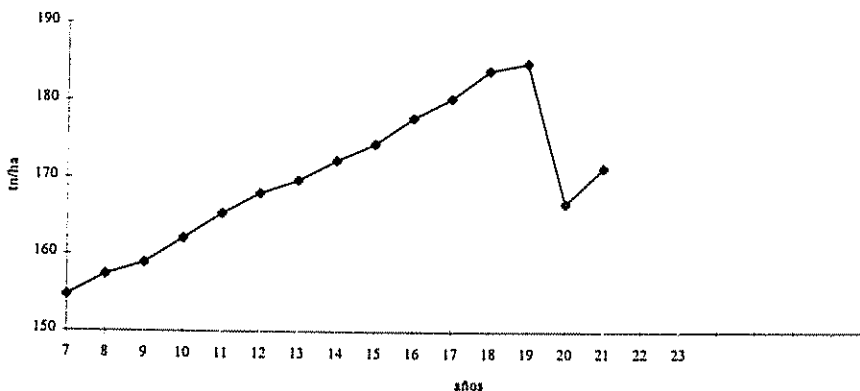
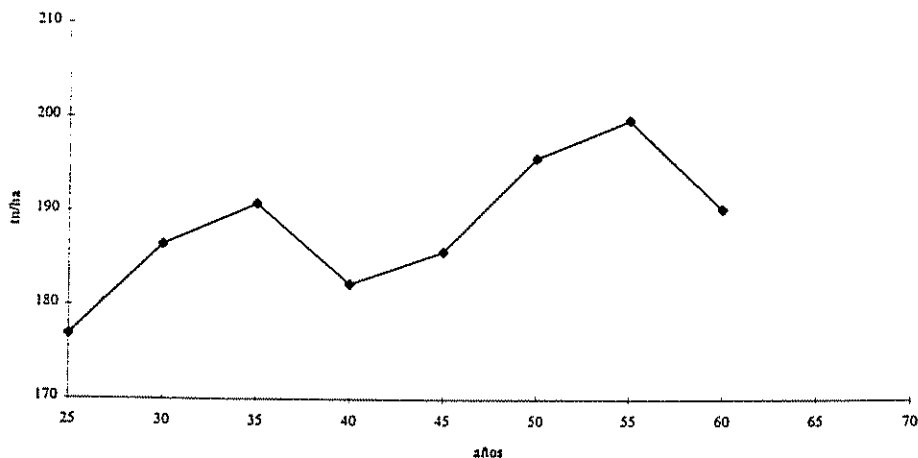


Fig 9 Biomasa promedio de las parcelas dosel protector de La Tirimbina: simulación con base en el modelo SIRENA 2, de 25 a 60 años (Alder, 1996).



## VI.2 Estimación de carbono fijado en la madera

Una vez calculada la biomasa total sobre el suelo por ha, se procedió a estimar la cantidad de carbono fijado en la madera, multiplicando esta por 0.50 que corresponde al porcentaje promedio de carbono que se encuentra en una tonelada de biomasa (Ver anexo 1). Luego se calculó la cantidad de carbono por ha/año para cada tratamiento y se procedió a obtener el promedio de carbono almacenado durante ciclos de 20 años.

En el Cuadro 7 se pueden observar los promedios de carbono almacenados durante ciclos de 20 años. Cabe señalar que el testigo presenta rangos entre 84.29-92.96 tn/ha, el tratamiento de liberación rangos entre 73.25-90.69 tn/ha y el tratamiento de dosel rangos entre 80.46-94.87 tn/ha. El almacenamiento de carbono aumenta a lo largo del tiempo, comportamiento que es similar para los tres diferentes tratamientos, sin embargo estos difieren en cuanto a la cantidad de carbono promedio almacenado durante cada uno de los ciclos.

**Cuadro 7. Promedios de carbono almacenado por ciclos de 20 años para cada uno de los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	1-20 años (tn/ha)	21-40 años (tn/ha)	41-60 años (tn/ha)
Testigo	84.29	89.87	92.96
Liberación	73.25	81.37	90.69
Dosel	80.46	89.04	94.87

### VI.2.1 Valoración del carbono almacenado

Con base en la cuantificación del promedio de carbono almacenado durante ciclos de 20 años para cada uno de los tratamientos, se procedió a valorar dicho servicio, según el monto de U.S.\$10/tn antes citado. En el Cuadro 8 se resumen estos resultados.



**Cuadro 8. Promedios de carbono almacenado por tratamiento y su valoración.**

Tratamiento	Promedio tn/ha	Ciclo	Valor (\$)/ha	Valor total (\$)/ha	Valor total c/ha
Testigo	84.29	1	10	842.90	200296.0
	89.87	2	10	898.70	215688.0
	92.96	3	10	929.60	233104.0
Liberación	73.25	1	10	732.50	175800.0
	81.37	2	10	813.70	195288.0
	90.69	3	10	906.90	217656.0
Dosel	80.46	1	10	804.60	193104.0
	89.04	2	10	890.40	213696.0
	94.87	3	10	948.70	227688.0

Los resultados anteriores indican que, inicialmente, el testigo presenta un mayor valor por concepto de almacenamiento de carbono. Sin embargo, al surtir efecto los tratamientos de liberación y dosel, la situación cambia en forma significativa (ciclo 3). De hecho, la ventaja observada en el testigo se debe a que la cantidad de carbono durante el ciclo inicial (84.29 vs 73.25 en liberación y 80.46 en dosel) era mayor para este.

Es riesgoso y complicado estadísticamente el intentar hacer correcciones por factores de base como el antes discutido. Por lo tanto, solo se enfatiza que los tratamientos liberación y dosel aumentaron de 73.25 y de 80.46 tn/ha de carbono promedio almacenado durante el primer ciclo de corta, a 90.69 y 94.87 tn/ha durante el tercero; es decir 17.44 y 14.4 tn/ha respectivamente. El testigo, en contraste, pasó de 84.29 a 92.96, o sea 8.67 tn/ha.

Es decir que los tratamientos parecen haber agregado entre 5.73 y 8.77 tn/ha de capacidad de almacenamiento de carbono al bosque en un período de 40 años, valorada en alrededor de 57.3-87.7 \$/ha por cada ciclo de 20 años.

En base en los valores totales dados en el Cuadro anterior para cada uno de los tratamientos y ciclos se procedió elaborar un esquema hipotético de pago al propietario del bosque, según la fórmula estipulada por el gobierno de Costa Rica, en el decreto 26141 por referente a servicios ambientales, este decreto establece que el valor a pagar al propietario del bosque por un período de 20 años para un bosque manejado es de c 86,000/ha .

Dicha fórmula de pago para la actividad de manejo de bosques establece un período de 5 años, de acuerdo a los siguientes porcentajes; el primer año el 50% el segundo el 20%, el tercer, cuarto y quinto el 10% del monto total a pagar por ha. (Cuadro 9).

Utilizando esta fórmula la distribución para cada tratamiento es:

**Cuadro 9 Distribución del monto total a pagarse en 5 años para cada tratamiento.**

Tratamiento	Ciclo años	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Testigo	1-20	100128.0	40051.2	20025.6	20025.6	20025.6
	21-40	107844.0	43137.6	21568.8	21568.8	21568.8
	41-60	111552.0	44620.8	22310.4	22310.4	22310.4
Liberación	1-20	87900.0	35160.0	17580.0	17580.0	17580.0
	21-40	97644.0	39057.6	19528.8	19528.8	19528.8
	41-60	108828.0	43531.2	21765.6	21765.6	21765.6
Dosel	1-20	96552.0	38620.8	19310.4	19310.4	19310.4
	21-40	106848.0	42739.2	21369.6	21369.6	21369.6
	41-60	113844.0	45537.6	22768.8	22768.8	22768.8

Se asume que los pagos se hacen en colones reales de 1997, o sea ajustados por la inflación.

Con base en los datos anteriores se procedió a calcular el VAN por ciclo, a diferentes tasas reales de descuento (5%, 8%, 10% y 12%).

**Cuadro 10. Análisis financiero más la valoración de carbono.**

Tratamientos	Ciclos	VAN			
		5%	8%	10%	12%
Testigo	1	246662.09	207014.03	189673.23	176092.09
	2	268112.72	225364.18	205600.18	190366.64
	3	259467.93	222717.64	205381.04	191779.71
Liberación	1	258075.49	205214.97	183188.23	163042.35
	2	217818.02	191024.52	176842.84	165640.91
	3	229204.73	203217.56	190414.48	180005.81
Dosele	1	211205.84	184576.38	171580.25	161129.52
	2	246723.82	212190.27	195866.06	183038.34
	3	243787.94	215028.68	200964.49	189614.72

Para los cálculos posteriores de VAN'S mono y multiperiodicos (ad infinitum), sin embargo se utilizan los valores en el Cuadro 10, que están condicionados por la heterogeneidad de la biomasa inicial en las distintas parcelas y tratamientos.

### VI.3 Análisis Financiero del aprovechamiento y manejo del bosque

#### VI.3.1 Costos de las actividades forestales

Los costos se calcularon en base a la información y experiencia actualmente disponible para la zona y de acuerdo a los lineamientos establecidos para el aprovechamiento y manejo de los bosque naturales.

Los valores básicos aplicados para determinar cada uno de los costos son los siguientes:



## Mano de obra

El salario para trabajadores agrícolas, vigente para Noviembre de 1997, es de c 1,825/jornal<sup>1</sup> sin incluir en este caso las cargas sociales, incluyendo estas cargas sociales es de c 2,592/jornal<sup>1</sup>. El salario para un obrero común según información de la oficina de inspección del trabajo es de c 1,740/jornal<sup>2</sup> sin incluir las cargas , de 2,122.8/jornal<sup>2</sup>, con las cargas sociales. Sin embargo para fines de este estudio se considero el salario del proyecto con cargas sociales debido a que son trabajadores permanentes y además tienen cierto nivel de especialización.

El salario promedio para el ayudante del operador de maquinaria, vigente para Noviembre de 1997, es de c 1,996/jornal<sup>2</sup> sin incluir la carga social y c 2,435.12/jornal<sup>2</sup> incluyendo la carga social. Para fines de este estudio se considero el primer salario considerando que el ayudante del operador de maquinaria es contratado solo temporalmente.

El salario promedio para el ayudante del operador de motosierra, vigente para Noviembre de 1997 es de c 1,740/jornal<sup>2</sup> sin incluir la carga social y c 2332.64/jornal incluyendo la carga social. Para fines del estudio se considero el primer salario considerando que el ayudante del motosierrista es contratado temporalmente.

El salario promedio para el personal técnico, vigente para Noviembre de 1997 es de c 10,111<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Fuente: Unidad de Manejo de Bosques Naturales. CATIE

<sup>2</sup> Fuente: Oficina de Inspección del Trabajo del Cantón de Turrialba.

Con base en los anteriores, los estimados de los costos de las faenas y actividades se pueden observar en los Cuadros 11, 12 y 13.

**Cuadro 11. Costos por faenas para las parcelas testigo. Finca La Tirimbina.**

Actividades	Unidad	Años de ejecución	Costos (colones)
Planificación			
• Planificación de campo	ha	1,20,40,60	2502.75
• Planificación de oficina			1275.27
Inventario de planificación			
• Apertura y montaje	ha	1,19,39,59	3582.90
• Muestreo			4650.54
Plan de manejo		2,10,21,31	3569.97
• Elaboración del plan	ha	41,51	
Muestreo diagnóstico			3416.06
• Montaje y muestreo	ha	1,20,40,60	
Operación tocón			4896.15
• Derribo, desrame, repica, tronce y limpieza	ha	1,20,40,60	
Extracción			4399.22
• Amarre			21903.70
• Arrastre	ha	1,20,40,60	2179.44
• Desamarre			19656.64
• Recorrido			
Habilitación y construcción de caminos			
• Apertura de caminos (motosierra)			1214.39
• Apertura de caminos (tractor)			3517.92
• Descuaje (motosierra)	ha	1,20,40,60	375.76
• Limpieza (motosierra)			1513.19
• Limpieza (tractor)			3836.98
Preparación en patio			
• Preparación (motosierra)	ha	1,20,40,60	461.33
Aserrío de residuos			
• Aserrío (motosierra still-90)	ha	1	16851.75
Regencia			
• Visita del regente	ha	1,20,40,60	1950.00
Transporte			
• Carga y descarga	ha	1,20,40,60	6755.56
Inventario control			
• Inventario	ha	18,38,58	3400.00
Depreciación			
• Motosierra 0-90	ha	1,20,40,60	712.96
• Motosierra 0-42			203.70
Impuesto			
• Impuesto primera cosecha &		1	2120.00
• Impuesto segunda cosecha *	ha	20	8162.70
• Impuesto tercera cosecha *		40	9252.84
• Impuesto cuarta cosecha *		60	8007.42

& Impuesto actualizado del año 1993 de la primera cosecha

\*Impuesto correspondiente al 3% del valor de ingresos de acuerdo con la Ley Forestal.

Cuadro 12. Costos por faenas de las parcelas de liberación. Finca La Tirimbina.

Actividades	Unidad	Años de ejecución	Costos (colones)
Planificación			
• Planificación de campo	ha	1,20,40,60	2502.75
• Planificación de oficina			1275.27
Inventario de planificación	ha		
• Apertura y montaje		1,19,39,59	3582.90
• Muestreo			4650.54
Plan de manejo	ha	2,10,21,31	
• Elaboración del plan		41,51	3569.97
Muestreo diagnóstico	ha		
• Montaje y muestreo		1,20,40,60	3416.06
Operación tocón	ha		
• Derribo, desrame, repica, tronco y limpieza		1,20,40,60	4896.15
Extracción			
• Amarre	ha		4399.22
• Arrastre		1,20,40,60	21903.70
• Desamarre			2179.44
• Recorrido			19656.64
Habilitación y construcción de caminos			
• Apertura de caminos (motosierra)	ha		1214.39
• Apertura de caminos (tractor)			3517.92
• Descuaje (motosierra)		1,20,40,60	1375.76
• Limpieza (motosierra)			1513.19
• Limpieza (tractor)			3836.98
Preparación en patio	ha		
• Preparación (motosierra)		1,20,40,60	461.33
Aserrió de residuos	ha		
• Aserrió (motosierra still-90)		1	16851.75
Regencia	ha		
• Visita del regente		1,20,40,60	1950.00
Transporte	ha		
• Carga y descarga		1,20,40,60	6755.56
Inventario control	ha		
• Inventario		18,38,58	3400.00
Depreciación	ha		
• Motosierra 0-90		1,20,40,60	712.96
• Motosierra 0-42			203.70
Tratamiento silvicultural	ha		
• Marcar, anillar y envenenar		2	7247.79
Impuesto	ha		
• Impuesto primera cosecha		1	2120.00
• Impuesto segunda cosecha		20	11500.23
• Impuesto tercera cosecha		40	6895.41
• Impuesto cuarta cosecha		60	5932.26

**Cuadro 13. Costos por actividades de las parcelas de dosel. Finca La Tirimbina.**

Actividades	Unidad	Años de ejecución	Costos (colones)
Planificación			
• Planificación de campo	ha	1,20,40,60	2502.75
• Planificación de oficina			1275.27
Inventario de planificación			
• Apertura y montaje	ha	1,19,39,59	3582.90
• Muestreo			4650.54
Plan de manejo			
• Elaboración del plan	ha	2,10,21,31 41,51	3569.97
Muestreo diagnóstico			
• Montaje y muestreo	ha	1,20,40,60	3416.06
Operación tocón			
• Derribo, desrame, repica, tronco y limpieza	ha	1,20,40,60	4896.15
Extracción			
• Amarre			4399.22
• Arrastre	ha	1,20,40,60	21903.70
• Desamarre			2179.44
• Recorrido			19656.64
Habilitación y construcción de caminos			
• Apertura de caminos (motosierra)			1214.39
• Apertura de caminos (tractor)			3517.92
• Descuaje (motosierra)	ha	1,20,40,60	1375.76
• Limpieza (motosierra)			1513.19
• Limpieza (tractor)			3836.98
Preparación en patio			
• Preparación (motosierra)	ha	1,20,40,60	461.33
Aserrío de residuos			
• Aserrío (motosierra still-90)	ha	1	16851.75
Regencia			
• Visita del regente	ha	1,20,40,60	1950.00
Transporte			
• Carga y descarga	ha	1,20,40,60	6755.56
Inventario control			
• Inventario	ha	18,38,58	3400.00
Depreciación			
• Motosierra 0-90	ha	1,20,40,60	712.96
• Motosierra 0-42			203.70
Tratamiento silvicultural			
Corta	ha	3	1888.29
Impuesto			
• Impuesto primera cosecha		1	2120.00
• Impuesto segunda cosecha	ha	20	6269.25
• Impuesto tercera cosecha		40	7637.25
• Impuesto cuarta cosecha		60	6385.50

### VI.3.2 Ingresos

Como ingresos se tomaron en cuenta el valor de los productos maderables obtenidos del primer aprovechamiento (año 1) y de los aprovechamientos posteriores que se simularon con SIRENA para los 20, 40 y 60 años.

Los ingresos del primer aprovechamiento provienen de:

- madera en troza puesta en el patio de la industria ( $m^3$ ).
- madera obtenida del aserrío de residuos en el patio de la industria ( $m^3$ ).

Los precios unitarios para la madera del primer aprovechamiento se calcularon con base en el valor promedio establecido para la categoría de semi-duros comunes, debido a que en Costa Rica tradicionalmente la madera ha sido clasificada por su dureza para sus propósitos de comercialización. Zuñiga (1996) clasifica las maderas para su comercialización en duras, semi-duras, suaves y finas.

En el presente estudio se consideraron las maderas semi-duras que según Quirós (1997, com. pers.) representan la mayor parte del volumen total aprovechable del bosque de la Finca La Tirimbina. El precio promedio se calculó para madera en troza en el patio de la industria, de acuerdo con el listado de precios suministrados por la Cámara Costarricense Forestal de las especies semi-duras más comercializadas en la zona norte de Costa Rica.

Para la comercialización de la madera rolliza se empleó el método tradicional conocido como "mecate" cuya unidad es la pulgada maderera tica (pmt). A través de un estudio realizado en el área de trabajo se obtuvo una relación de  $1m^3 = 448pmt/m^3$  considerando todas las especies aprovechadas. Quirós y Finegan (1994).

Entonces, para la valoración de la madera en troza en el patio de la industria se consideró un precio de 22,400.00 colones/ $m^3$ , aprovechándose la cantidad de 10,1



m<sup>3</sup>/ha, para los tres tratamientos. Respecto a la madera obtenida del aserrío de residuos se procedió de la manera explicada anteriormente. La cantidad obtenida como resultado del aserrío de residuos fue de 1.2 m<sup>3</sup>/ha para los tres tratamientos debido a que solamente se contaba con el dato global de madera aprovechada por ha. Para la madera aserrada se consideró un precio de 46,144.00 colones/m<sup>3</sup>.

Para valorar la madera aprovechada en el segundo tercero y cuarto ciclo de corta se agruparon las especies en 4 grupos diferentes. El criterio de selección esta de acuerdo con el correspondiente a la base de datos de COSUDE. Los grupos son los siguientes:

### **Grupo 1**

*Andira inermis*

*Brosimum guianense*

*Brosimum lactescens*

*Brosimum sp.*

*Cespedesia macropyla*

*Pterocarpus hayesii*

*Qualea paraense*

*Tetragostris panamensis*

*Vochysia ferruginea*

### **Grupo 2**

*Calophyllum brasiliense*

*Carapa guianensis*

*Minuartia guianensis*

*Terminalia amazonia*

*Vantonea barbourii*

*Humiriastrum diguense*

*Tabebuia rosea*

**Grupo 3**

*Pentaclethra macroloba*

**Grupo 4**

*Ceiba petandra*

*Cordia bicolor*

*Dendropanax arboreus*

*Dussia sp.*

*Goethalsia meyantha*

*Guatteria sp.*

*Hernandia didymantha*

*Ilex skutchii*

*Jacaranda copaia*

En el Cuadro 14 se muestran los volúmenes extraídos por grupo para cada uno de los diferentes tratamientos.

**Cuadro 14. Volúmenes extraídos por grupos de especies y su valor respectivo.**

Año	Tratamiento	Grupo	Volumen extraído m <sup>3</sup> /ha	Precio por m <sup>3</sup>	Ingreso total
20	Testigo	1	1.6	16250.00	26000.00
		2	-	-	-
		3	13.8	16250.00	224250.00
		4	2.4	9100.00	21840.00
20	Liberación	1	4.0	16250.00	65000.00
		2	7.4	21490.00	159026.00
		3	9.3	16250.00	151125.00
		4	0.9	9100.00	8190.00
20	Dosel	1	3.3	16250.00	53625.00
		2	-	-	-
		3	9.0	16250.00	146250.00
		4	1.0	9100.00	9100.00
40	Testigo	1	3.3	16250.00	53625.00
		2	1.7	21490.00	36533.00
		3	12.2	16250.00	198250.00
		4	2.2	9100.00	20020.00
40	Liberación	1	3.3	16250.00	53625.00
		2	1.8	21490.00	38682.00
		3	7.4	16250.00	120250.00
		4	1.9	9100.00	17290.00
40	Dosel	1	4.2	16250.00	68250.00
		2	2.5	21490.00	57725.00
		3	9.0	16250.00	146250.00
		4	1.0	9100.00	9100.00
60	Testigo	1	2.4	16250.00	39000.00
		2	0.6	21490.00	12894.00
		3	12.0	16250.00	195000.00
		4	2.2	9100.00	20020.00
60	Liberación	1	2.6	16250.00	422500.00
		2	0.3	21490.00	6447.00
		3	8.5	16250.00	138125.00
		4	1.2	9100.00	10920.00
60	Dosel	1	3.6	16250.00	58500.00
		2	1.0	21490.00	21490.00
		3	7.0	16250.00	113750.00
		4	2.1	9100.00	19110.00

Como muestra el Cuadro anterior el grupo que en general produjo el mayor volumen extraído y, por lo tanto los más altos ingresos, es el grupo 3, que corresponde a la especie dominante gavilán (*Pentaclethra maculosa*). Esta dominancia se debe principalmente a que dicha especie hasta hace 5 años no tenía aceptación comercial (Quirós y Finegan 1994). Si valor promedio para esta especie es de 16,250 colones/m<sup>3</sup> de madera en troza en patio de la industria y se encuentra dentro del grupo de semi-duros comunes.

El grupo 2 es de alto valor comercial, sin embargo es escaso en la Tirimbina debido a las explotaciones selectivas realizadas en el pasado. Debido a lo anterior, la cantidad de m<sup>3</sup> que se estima puede ser aprovechada en el futuro es realmente poca. El valor promedio para estas especies es de 21,490 colones/m<sup>3</sup>.

Las especies del grupo 1 corresponden a los semi-duros clasificados y los semi-duros comunes, con un valor promedio de 16,250 colones/m<sup>3</sup> de madera en troza en patio de la industria.

El grupo 4 esta comprendido por especies utilizadas para formaleta que tienen un bajo valor comercial, en promedio de 9,100 colones/m<sup>3</sup> de madera en troza en patio de industria.

### VI.3.3 Indicadores Financieros

En el Cuadro 15, se presentan los indicadores financieros para los tratamientos testigo, liberación y dosel superior con diferentes tasas de descuento (5%, 8% ,10%) para 60 años.

**Cuadro 15 Indicadores financieros de los tres tratamientos de la finca La Tirimbina.**

Tratamiento	tasa real	VAN	IEA	Relación B/C-A
Testigo	5%	267482.20	14170.68	2.46
Liberación	5%	287810.30	15247.62	2.51
Dosel	5%	232534.70	12319.23	2.27
Testigo	8%	215554.90	17430.30	2.46
Liberación	8%	228954.20	18513.80	2.48
Dosel	8%	197452.90	15966.53	2.33
Testigo	10%	198986.20	19970.77	2.46
Liberación	10%	207624.10	20837.69	2.45
Dosel	10%	186523.80	18720.01	2.37

Como se puede observar en el Cuadro anterior el VAN de las parcelas testigo para las diferentes tasas de actualización se encuentra entre 267,482.20 y 198,986.20 colones/ha, para las parcelas de liberación entre 287,810.30 y 207,624.10 colones/ha y para las parcelas de dosel entre 232,534.70 y 186,523.80 colones/ha.

Los mayores VAN y la relación B/C-A siempre corresponden al tratamiento de liberación, independientemente de la tasa real asumida seguidos por los del testigo. Los más bajos corresponden al tratamiento de dosel superior.

Los datos anteriores indican claramente que los tres tratamientos tienen un VAN positivo incluso a elevadas tasas reales de descuento, pero sin embargo el que ofrece más rentabilidad financiera es el tratamiento de liberación ligeramente superior a la del testigo. Sin embargo es importante señalar que hasta ahora no se está considerando el costo de oportunidad de la tierra.

Una vez realizado el análisis financiero de los tres primeros ciclos en su conjunto, se procedió a calcular los VAN correspondientes a cada uno de los diferentes períodos ( $VAN_1$ ,  $VAN_2$  y  $VAN_3$ ), luego calcular VAN multiperíodos (al infinito) de los tratamientos sin y con la valoración del carbono almacenado en la madera.

En el Cuadro 16 se presentan los resultados de acuerdo a la fórmula de Fausstmann;

$$VANL = VAI + VAN_1 + \frac{VAN_2}{(1+i)^T} + \frac{VAN_3}{(1+i)^{2T}} * (1 - e^{-iT})$$

donde el  $VAN_1$  corresponde al ciclo de 2-20 años en  $VAN_2$  corresponde al ciclo de 21-40 años y el  $VAN_3$  corresponde al ciclo de 41-60 años.

**Cuadro 16. Análisis financiero sin valoración de carbono.**

Tratamiento	años	VAN DIFERENTES TASAS			
		5%	8%	10%	12%
Testigo	$VAN_1$ 2-20	65509.91	35720.0	24390.0	16420.0
	$VAN_2$ 21-40	73000.71	40870.0	27580.0	18390.0
	$VAN_3$ 41-60	57647.38	31880.0	21240.0	13890.0
Liberación	$VAN_1$ 2-20	99046.28	54840.0	36090.0	22870.0
	$VAN_2$ 21-40	41159.91	23980.0	15660.0	9930.0
	$VAN_3$ 41-60	32312.46	17040.0	10770.0	6460.0
Dosel	$VAN_1$ 2-20	36523.38	19400.0	12200.0	7160.0
	$VAN_2$ 21-40	53413.78	29400.0	19490.0	12650.0
	$VAN_3$ 41-60	37820.69	20270.0	13040.0	8070.0

En el Cuadro 17 se pueden observar los resultados del VAN multiperíodos (al infinito) con y sin incluir la valoración del carbono, para los distintos tratamientos. Al incluir el valor del carbono en el testigo el VAN multiperíodos a una tasa de descuento real del 5% se incrementaría en un 203%, para el tratamiento de liberación en 183% y para el tratamiento de dosel en un 214%.

Si comparamos el VAN al 5% sin valoración del carbono, el tratamiento con el cual se obtiene el más alto es el de liberación, seguido del testigo y finalmente el tratamiento de dosel. Sin embargo es interesante lo que ocurre al incluir la valoración del carbono almacenado, ya que el mayor VAN en este caso corresponde al testigo (543,255.80),

seguido del tratamiento liberación (532,996.30), siendo el más bajo el del tratamiento de dosel (498,330.40).

**Cuadro 17. VAN'S para multiperíodos al infinito por tratamiento sin y con valoración de carbono almacenado.**

Tratamiento	VAN			
	5%	8%	10%	12%
Testigo sin carbono	267446.50	217662.50	201033.50	190668.00
Testigo con carbono	543255.80	434093.20	395350.10	369376.80
Liberación sin carbono	289707.60	232727.90	210815.40	196190.50
Liberación con carbono	532996.30	424359.20	384381.50	353683.90
Dosel sin carbono	232297.60	198544.70	187526.40	180773.40
Dosel con carbono	498330.40	408605.40	375748.50	353639.80

#### VI.3.4 Costo de oportunidad de la tierra

El costo de oportunidad de la tierra en el área en estudio es de cero en vista que corresponde a tierras de uso forestal y no es posible obtener un uso alternativo (principalmente por restricciones legales que impiden el cambio de uso de la tierra), pero también desde el punto de vista financiero no resulta rentable cualquier otro uso alternativo debido a las características edáficas y topográficas del sitio.

Sin embargo si se puede obtener otro tipo de ingresos complementarios utilizando el área forestal con fines de ecoturismo.

### VI.3.5 Análisis financiero considerando la renta de la tierra.

El análisis financiero muestra que si se considera el valor de la renta de la tierra, la rentabilidad de los tratamientos varía, los VAN resultantes para el tratamiento liberación, el que a tasas del 5% y 8% resulta negativo, no siendo así para un 10% y 12%, sin embargo la rentabilidad disminuye significativamente con respecto al análisis realizado sin considerar la renta de la tierra. El testigo también tiene VAN negativos a una tasa de 5% y 8%, y el tratamiento dosel protector tiene VAN negativos al 5%, 8% y 10%. Con respecto a la tasa interna de retorno (TIR), el tratamiento que tiene la más baja es el de liberación, seguido del testigo y después el tratamiento dosel protector. En este caso la TIR es un buen indicador de la rentabilidad de los tratamientos.

**Cuadro 18. VAN de los diferentes tratamientos, considerando la renta de la tierra.**

Tratamiento	Tasa	VAN	B/C-A	TIR
Testigo	5%	-86180.84	0.84	9.66
	8%	-22287.33	0.94	9.66
	10%	3898.81	1.01	9.66
	12%	23072.46	1.08	9.66
Liberación	5%	-65852.81	0.88	8.74
	8%	-8888.06	0.98	8.74
	10%	12536.46	1.04	8.74
	12%	27878.50	1.09	8.74
Dosel	5%	-121128.30	0.77	10.69
	8%	-40389.29	0.90	10.69
	10%	-8563.78	0.97	10.69
	12%	14150.09	1.05	10.69

Para fines de este análisis se considera el costo de renta de la tierra de c 17,793.68 ha/año equivalente a \$ 74.14 ha/año. Cabe señalar que dicho costo es alto debido a que se consideró el costo de la renta de la tierra de suelos utilizados para fines agrícolas.



## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las parcelas testigo y las de dosel protector la biomasa aumenta significativamente durante el primer ciclo, contrario a lo que ocurre en las parcelas del tratamiento liberación en el cual el incremento de biomasa es menor como resultado del efecto del tratamiento. En los ciclos siguientes, en el caso de las parcelas tratadas no se puede emitir una conclusión debido a que no fue reflejado el efecto de tratamiento en el proceso de simulación realizado con SIRENA.

Los incrementos de biomasa observados en el primer ciclo muestran que los tratamientos testigo y dosel tienen incrementos similares, estimados en 19.78% y 19.52% respectivamente con base en la biomasa existente al inicio del período. El tratamiento liberación mostró una disminución de biomasa total equivalente al 3.38% de la biomasa inicial.

Asimismo, la cantidad de Carbono almacenado a lo largo del tiempo, en el testigo y en el tratamiento dosel no presenta diferencias considerables, sin embargo el tratamiento de liberación si presenta menor cantidad de Carbono almacenado como respuesta al efecto del tratamiento aplicado.

En el análisis financiero sin la valoración del Carbono, el tratamiento liberación es el que presenta el VAN más alto y por ende el tratamiento más rentable desde el punto de vista financiero. Esto se debe al efecto de aplicación del tratamiento que aumenta la cantidad de madera de valor comercial. Esto se aplica a las diferentes tasas de descuento (8%, 10%, 12%).

Los tres tratamientos difieren en su estructura de costos e ingresos. El tratamiento liberación es el que presenta los costos e ingresos más altos y la mayor rentabilidad sin la valoración del Carbono.

El análisis financiero con valoración del Carbono como un servicio ambiental, muestra incrementos importantes en los indicadores financieros. El testigo es el que tiene los indicadores financieros (VAN , B/C) mayores, esto puede ser debido a que al no aplicarsele ningún tratamiento la liberación de CO<sub>2</sub> es menor que en el caso de los tratamientos liberación y dosel protector. Estos resultados se obtienen para las diferentes tasas de descuento.

Al realizar el análisis financiero incluyendo el costo de la renta de la tierra los indicadores financieros (VAN, B/C) disminuye considerablemente a todas las tasas de descuento utilizadas en el estudio. ( 5%, 8%, 10% y 12% ). De acuerdo a estos indicadores obtenidos el manejo del bosque no genera los ingresos necesarios para cubrir el pago de la renta de la tierra, estimados en este análisis en 17,000/ha.

El análisis financiero para multiperíodos muestra que el VAN obtenido es similar al VAN obtenido a los 60 años , lo que indica que las rotaciones infinitas posteriores a los 60 años

Se recomienda realizar estudios posteriores en los cuales se incluya la cantidad de Carbono que se encuentra almacenada en las raíces para que no se subvalore el contenido de Carbono. También es importante considerar la cantidad de Carbono que permanece almacenada en los productos durables obtenidos del bosque.

Promover la valoración de los servicios ambientales como el de almacenamiento de Carbono y su inclusión en las cuentas nacionales debido a este servicio mejora la rentabilidad de los bosques.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE, J. A. 1985. Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias. Manual de instrucción programada. San José, Costa Rica, IICA. Serie LME No. 46 191 p.
- ALDER, D. 1995. Growth modelling for mixed tropical forests. Tropical Forestry Papers No 30.
- ANDRASKO, K. 1990. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasyuva* 41(163):3-11.
- BROWN, S.; GILLESPIE J.R.; LUGO, A. 1989. Biomass Estimation methods for Tropical Forests whit Applications to forest Inventory Data. *Forest Science*, Vol 35, No 4, pp. 881-902.
- BROWN, S. LUGO A.E. (1992). Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* Jan-Feb, Vol 17. No 1. pp 8-26.
- BROWN, S. 1996. Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre el cambio climático. *Unasyuva* 185. Volumen 17. pp 2-10
- BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. *FAO forestry paper*. No 134. Roma 55 p.
- BARRES (1993). Carbon-fixing and timber production in tropical klinkí pine forest plantations. Costa Rica.

- CARRERA, F.; OROZCO L.; SABOGAL, C. 1996. Manejo de un bosque muy húmedo de bajura. Area de demostración e investigación Los Laureles Corinto la Tirimbina in Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. Curso Intensivo Internacional. CATIE. Vol 2, pp 1-11.
- DELGADO, D. 1995. Efectos en la riqueza, composición y diversidad florística producidos por el manejo silvícola de un bosque húmedo tropical de tierras bajas en Costa Rica. Tesis.Mag. Sc., Turrialba Costa Rica CATIE. 97 p.
- DIXON, ET. AL 1994. Carbón pools and flux of global forest ecosystems. SCIENCE Vol 263. pp 185-190.
- DONOSO, C. 1981. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente.Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 369 p.
- FINEGAN, B.; GUILLEN, L.;QUIROS,D. 1993. Guía de las acciones en el área demostrativa de la finca Tirimbina, cantón Sarapiquí,Costa Rica. CATIE, Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido, Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica, 22 p.
- GREGERSEN, H. M.; CONTRERAS A. H. 1989. Análisis económico de proyectos forestales. Estudio FAO vol No 17. Roma. 223 p.
- GREGERSEN, H.; CONTRERAS A. H. 1995. Evaluación económica de las repercusiones de los proyectos forestales. Estudio FAO vol No 106. Roma. 146 p.
- GITTINGER, P. 1981. Análisis económico de proyectos agrícolas. Banco Mundial. Madrid. 2 ed. revis. 572 p.

- GÓMEZ, M.; SHULTZ, S.; RAMÍREZ O. 1996. Contribución de las plantaciones forestales a las cuentas nacionales de Costa Rica. Turrialba C.R. CATIE-EEU-SIDA. 35 p.
- GOMEZ, M. 1996. Metodología para el análisis financiero de las concesiones forestales en la Reserva de la Biosfera maya, Guatemala. Proyecto CATIE-CONAP. S.P.
- KARJALAINEN, T.; KELLOMÄKI, S. 1993. Carbon storage in forest ecosystems in Finland. pp 40 -51 In Kanninen M., (ed). Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment. Academy of Finland. Finland.
- KISHOR, N. M.; CONSTANTINO F. L. 1993, Forest Management and competing land uses: An economic analysis for Costa Rica. Note # 7.
- MENDEZ, J. A. 1996. Determinación de rentabilidad financiera del manejo del bosque natural en la zona norte de Costa Rica, en fincas propiedad de asociados de CODEFORSA. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. 89 p.
- QUIROS, D.; FINEGAN, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica: definición de un plan operacional y resultados de su aplicación. CATIE, Serie Técnica. Informe Técnico no. 225. Colección Silvicultura y Manejo de Bosque naturales, no 9. 25 p.
- QUIROS, D.; FINEGAN, B. 1996 Manejo en un bosque muy húmedo premontano. Area de demostración e investigación la Tirimbina en Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. Curso Intensivo Internacional. CATIE. Vol 2, pp 13-14.

- RAMIREZ, O. GOMEZ, M. 1997. Valuing the contribution of plantation forestry to the national accounts of Costa Rica from the ecological economics perspective. CATIE. Turrialba, Costa Rica. S.P.
- REICHE, C. 1993. Fundamentos del análisis financiero e interpretación de indicadores. Segundo Curso Regional de Transferencia de Tecnología en Silvicultura de árboles de uso múltiple. San Pedro Sula, Honduras. 1993.
- SAGE, L.F. 1986. Administración de proyectos forestales. Departamento de Ingeniería forestal. ITCR. Cartago, Costa Rica 113 p.
- SALDARRIAGA, ET.AL. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia y Venezuela. *Journal of Ecology*, pp 938-958.
- SCHROEDER, P.E., DIXON, R.K., WINJUM, J.K. 1993. Ordenación forestal y agrosilvicultura para reducir el dióxido de carbono atmosférico. *Unasylva* 173 Vol. 44 52-60.
- SITOE, A. 1992. Crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Tesis M.Sc., CATIE. Turrialba, Costa Rica. 119 p.

## IX. ANEXOS

### Anexo 1.

Cantidad de carbono de las parcelas testigo. Finca La Tirimbina.

Año	Carbono tn/ha $y = 21.297022 - .952649(D) + 0.74030(D)^2$	Carbono tn/ha $y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
1	71.28	70.25
2	73.12	71.95
3	73.74	72.56
4	75.87	74.63
5	78.29	77.04
6	86.58	84.27
7	82.08	83.52
8	83.34	84.80
9	83.46	84.97
10	84.77	86.29
11	86.60	88.09
12	87.44	88.97
13	88.95	90.47
14	89.12	90.69
15	89.84	91.46
16	88.98	90.66
17	91.58	93.22
18	92.55	94.17
19	94.84	96.36
20	83.44	84.79
21	83.89	85.41
25	88.06	89.52
30	91.65	93.15
35	97.70	99.12
40	88.30	89.53
45	92.20	93.54
50	94.62	96.00
55	93.91	95.81
60	91.10	92.38

Cantidad de carbono de las parcelas liberación. Finca La Tirimbina.

Año	Carbono tn/ha $y = 21.297022 - .952649(D) + 0.74030(D)^2$	Carbono tn/ha $y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D)^2$
1	80.49	78.45
2	65.48	63.93
3	63.88	62.41
4	60.72	59.42
5	--	--
6	64.06	62.68
7	64.33	65.14
8	68.30	69.26
9	69.62	70.92
10	71.70	72.85
11	72.85	74.14
12	74.49	75.94
13	76.67	78.18
14	77.39	79.02
15	79.10	80.81
16	81.15	82.46
17	82.21	84.08
18	83.53	85.39
19	84.44	86.34
20	71.28	73.18
21	73.10	75.03
25	77.55	79.62
30	82.91	85.24
35	88.63	91.02
40	84.65	86.87
45	86.68	88.83
50	92.65	94.65
55	93.91	95.81
60	90.13	91.80



Cantidad de carbono de las parcelas de dosel. Finca La Tirimbina.

Año	Carbono tn/ha y = 21.297022 - .952649(D) + 0.74030(D) <sup>2</sup>	Carbono tn/ha y = 13.2579 - 4.8945(D) + 0.6713(D) <sup>2</sup>
1	70.02	68.82
2	--	--
3	69.11	67.68
4	68.93	67.25
5	71.89	70.23
6	77.79	76.00
7	76.70	77.33
8	77.94	78.69
9	78.57	79.46
10	80.10	81.07
11	81.61	82.68
12	82.82	84.00
13	83.52	84.82
14	84.77	86.14
15	85.75	87.21
16	87.46	88.91
17	88.61	90.18
18	90.43	91.99
19	90.88	92.46
20	81.84	83.35
21	84.14	85.69
25	86.73	88.43
30	91.41	93.25
35	93.53	95.40
40	89.41	91.15
45	91.16	92.87
50	96.22	97.85
55	98.34	99.89
60	93.77	95.15