

CENTRO AGRÓNOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO

**VALORACION DEL SERVICIO DE FIJACION Y ALMACENAMIENTO DE
CARBONO EN BOSQUES PRIVADOS EN EL AREA DE CONSERVACION
CORDILLERA VOLCANICA CENTRAL, COSTA RICA**

POR

MILENA ANDREA SEGURA MADRIGAL

CATIE

Turrialba, Costa Rica
1999

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**VALORACIÓN DEL SERVICIO DE FIJACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO
EN BOSQUES PRIVADOS EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN CORDILLERA
VOLCÁNICA CENTRAL, COSTA RICA.**

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

Magister Scientiae

Por:

MILENA ANDREA SEGURA MADRIGAL

Turrialba, Costa Rica

1999

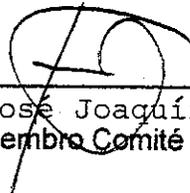
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección del Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

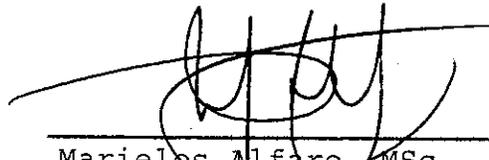
FIRMANTES:



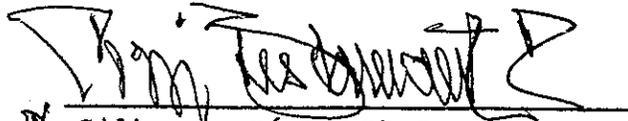
Markku Kanninen, Ph.D.
Consejero Principal



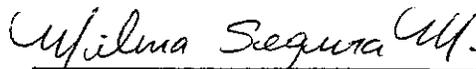
José Joaquín Campos, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Marielos Alfaro, MSc.
Miembro Comité Consejero



Gilberto Páez, Ph.D.
Director y Decano de la Escuela de Posgrado



Milena Andrea Segura
Candidato

DEDICATORIA

A Dios Padre
Creador y Señor de todas las cosas,
Por ser siempre mi amigo fiel y
mostrarme el camino verdadero.

A mis padres Jeannette y Manuel:
por ser mi ejemplo en la vida y a quienes debo lo que soy.

A mis hermanos Laura y Cristian y a mi sobrino Alonso:
para que juntos sigamos siendo la gran familia

A Hernán Jair:
por brindarme su amor, confianza y apoyo en todo momento.
Por ocupar un lugar especial en mi corazón.

A Luís A. Vega (tuvito):
quien siempre tuvo las palabras sabias y quien sembró
en mi la confianza y esperanza.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Markku Kanninen quién fungió como profesor consejero, por su valiosa colaboración, comentarios y sugerencias al desarrollo de esta investigación, en especial por su dedicación y apoyo financiera, académica y profesionalmente.

A Marielos Alfaro M.Sc., por sus acertados comentarios, sugerencias, consejos, y colaboración desinteresada. Por ser la amiga y profesora en cualquier tiempo.

Al Dr. José Joaquín Campos, por el interés mostrado en la investigación, sus valiosos comentarios y sugerencias al documento. Por ser ejemplo de humildad, bondad y cooperación.

A M.Sc. Hernán J. Andrade, por su colaboración y gran ayuda para poder ver culminada esta meta.

Al señor Erick van der Sleen, Asesor en Educación e Investigación de la Embajada Real de los países Bajos-Holanda, por brindarme apoyo financiero de mis estudios en CATIE.

Al profesor Oscar Sanabria, MSc. por sus enseñanzas tan valiosas y prácticas para la vida cotidiana.

Al proyecto PROSIBONA CATIE/COSUDE, por brindarme la información necesaria y en especial al señor Hugo Brenes por su ayuda y colaboración en todo momento en el análisis de las bases de datos.

A la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), por la colaboración con la información, y muy especialmente a Pedro González M.Sc. por ser tan servicial y colaborador y además por brindarme su confianza en la elaboración de esta investigación.

A los propietarios de fincas de La Tirimbina y de Los Laureles de Corinto por su colaboración en la información para poder realizar esta investigación.

A mis ex-compañeros de pre-grado; Jorge Escribano Lic., Andrés Sanchun Lic. y Juan J. Jiménez, Lic. por su valiosa ayuda en la recopilación de la información y por su amistad. Al Ing For. Sergio Molina por su colaboración y asistencia en el trabajo de campo y laboratorio. A la Lic. Susana Rojas (Ing. For.) por su apoyo en la realización de los análisis de laboratorio y al M.Sc. Eduardo Eduarte por permitir realizar los análisis de laboratorio y por sus valiosos comentarios.

A mi amiga M.Sc. Claudia Upegui, por brindarme siempre una verdadera amistad y sus consejos tan valiosos.

A mis compañeros de maestría Manuel y Alejandro, por su cooperación, su compañerismo y su amistad, siempre los recordaré.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este documento. Muchas gracias. Dios les Bendiga siempre.

SEGURA MADRIGAL, M. A. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 115 p.

Palabras claves: Fincas privadas, parcelas permanentes de muestreo (PPM), FUNDECOR, fracción de carbono, gravedad específica, actividades productivas, manejo sostenible, protección absoluta, costo de oportunidad, servicios ambientales.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue valorar económicamente el servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques naturales de fincas privadas. Estas fincas están dentro del marco del pago de servicio ambiental para bosques con manejo sostenible y de protección absoluta ubicadas en La Tirimbina de Sarapiquí y Corinto de Guápiles, Costa Rica. y en las cuales FUNDECOR brinda asesoría técnica.

Se seleccionaron un total de 27 fincas las cuales se encuentran en un radio de 10 km de las áreas experimentales administradas por el CATIE, denominadas Los Laureles de Corinto en Guápiles y Tirimbina Rain Forest Alliance, Sarapiquí.

En primer lugar, se realizó una cuantificación física de la biomasa total y carbono almacenado en estos bosques. Para esto, se tomó la información de las parcelas permanentes de muestreo (PPM) de las áreas experimentales y se seleccionó las especies dominantes. De éstas se eligieron aquellas que contaban con al menos un árbol aprovechado en las dos fincas seleccionadas en que FUNDECOR había realizado aprovechamiento forestal.

Se determinó la biomasa total de siete especies para un total de 19 individuos; además se estimó la fracción de carbono en ocho especies (20 individuos) y la gravedad específica de la madera en nueve especies (23 individuos). Con esta información se generaron ecuaciones alométricas para estimar la biomasa total, el volumen total y el carbono almacenado para estos bosques en función del dap, la altura comercial, altura total, biomasa de fuste, volumen de fuste y la combinación de las tres primeras variables.

Con el modelo que mejor ajustó los datos de volumen total se estimó los volúmenes totales por parcela y para cada uno de los tratamientos de las PPM, con el fin de estimar los incrementos volumétricos anuales por tratamiento y zona. Con la información de la gravedad específica se obtuvo la tasa de fijación de carbono (TFC) y la cantidad de biomasa total por zonas. Con la fracción de carbono se estimó la cantidad de carbono almacenado.

Por último, se estimó la tasa de fijación y almacenamiento de carbono, la biomasa total y la cantidad de carbono almacenado para cada una de las fincas que tenían censo comercial e inventario forestal. Una vez estimado las toneladas métricas de carbono, se realizó la encuesta a los propietarios con el fin de identificar las actividades productivas de cada una de las fincas y desarrollar un análisis de rentabilidad. Posteriormente valorar los servicios ambientales a través del costo de oportunidad y establecer los montos a pagar.

Así mismo, se identificaron los riesgos y oportunidades asociados a los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono en el sector forestal del país.

De los modelos desarrollados para estimar biomasa total los coeficientes de determinación obtenidos fueron entre 0.92 a 0.80 con un coeficiente de variación de 6.4 a 11.5. El modelo que mejor ajustó el volumen total en función del dap explica un 82% la variabilidad de los datos y su coeficiente de variación es relativamente bajo (7.2%). Por otra parte, el modelo para estimar el carbono almacenado también en función del dap obtuvo un coeficiente de determinación de 0.71 considerándose un modelo aceptable.

Al comparar los mejores modelos de este estudio con las ecuaciones propuestas por Brown *et al.* (1989) y Brown (1992) que estiman la biomasa total en función del dap, éstas últimas tienden a subestimar la biomasa principalmente en árboles grandes. Mientras que con las ecuaciones propuestas en esta investigación la biomasa simulada se ajusta a la biomasa real.

La cantidad de biomasa total y de carbono almacenado en las fincas fue 36% menor que la obtenida en las PPM, esto podría ser debido al tipo de manejo que han recibido estos bosques dando lugar al alto riesgo que tienen estas áreas al cambio de uso.

Referente al tipo de manejo que reciben estos bosques un 46% se encuentran bajo pago de servicio ambiental de manejo sostenible e igual porcentaje para bosques con protección absoluta en la zona de Corinto. Por otro lado, en la zona de Tirimbina un 71% de los bosques están bajo el marco de manejo sostenible y un 21% para protección absoluta.

Dentro de las principales actividades que se desarrollan en las fincas se encuentra para el área de Corinto el palmito (0.3% del total de las actividades), la ganadería de carne (4.1%), manejo sostenible del bosque (25.7%) y protección absoluta del bosque (36.7%). De estas la más rentable fue la producción de palmito. Para Tirimbina la principal actividad fue la ganadería de carne y leche (34.3%), seguido del manejo sostenible del bosque (15.1%) y la protección absoluta del bosque con un 9.9%. El cultivo de pimienta (2%) fue la actividad más rentable, sin embargo, no fue considerada para estimar los montos siendo la ganadería de leche la siguiente actividad más rentable para la región de Tirimbina.

Los montos a pagar por los servicios ambientales fueron de \$234 a \$555 ha⁻¹ año⁻¹ para Corinto y de \$255 a \$288 ha⁻¹ año⁻¹ para Tirimbina. De este total le corresponde al servicio de fijación y almacenamiento de carbono un monto de \$42 a \$100 (18%) ha⁻¹ año⁻¹ para Corinto y de \$46 a \$52 (18%) ha⁻¹ año⁻¹ para Tirimbina. Al considerar la tasa de fijación de carbono el valor económico del servicio ambiental de carbono fue de \$18.3 tC a \$43.5 tC para la zona de Corinto y de \$20 tC a \$22.6 tC en Tirimbina.

SEGURA MADRIGAL, M. A. 1999. Valuation of the environmental service of sequestration and storage of carbon in private forests of the area "Conservación Cordillera Volcánica Central". Thesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 115 p.

Key words: Environmental services, opportunity cost, carbon content of forests, sustainable forest management, private farms.

SUMMARY

The objective of this research was to calculate the value of carbon sequestration and storage in natural forests of private farms in Tirimbina of Sarapiquí and in Corinto of Guápiles, Costa Rica. These farms receive payment for sustainable forest management and for forest protection. In addition, they received technical assistance for forest management from FUNDECOR (Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central).

A total of 27 farms were selected which were in a radius of 10 km from the two experimental areas administered by CATIE, "Los Laureles de Corinto" in Guápiles and Tirimbina Rain Forest Alliance, Sarapiquí.

Initially, a quantification of total biomass and carbon storage was carried out. The information from the two experimental areas was used to determine the dominant tree species in the region. Of these species, a minimum of one and a maximum of four individuals per species was located and cut in the farms for biomass analysis.

The total biomass of the seven down species and a total of 19 individuals were measured. The fraction of carbon was determined in eight species (20 individuals) and the specific gravity of the wood in nine species (23 individuals). With this information allometric equations were generated to relate the total biomass, the total volume and the carbon content of the dbh, the commercial height, total height, stem biomass, stem volume, and the combination of the first three variables.

The best tree-level volume model was used to estimate the total volumes by plot and for each treatment in the experimental areas. The sample plot data also allowed the estimation of annual volume increments by treatment and by zone. The rate of carbon sequestration and the amount of total biomass by zones were calculated, and the amount of carbon stored was estimated. Finally, the rate of carbon sequestration, the total biomass and the total carbon pool was estimated for each farm using the data of commercial census and forest inventory.

Interviews of farm owners were carried out with the purpose of identifying the productive activities of each farm and to develop an analysis of profitability of these activities. The opportunity cost approach was used to determine the value of environmental services. In addition, the potential risks and opportunities associated with the projects of carbon sequestration at national level were identified.

The models developed to estimate total biomass had coefficients of determination between 0.92 at 0.80 with a coefficient of variation from 6.4 to 11.5. The model that best explained the total volume as a function of dbh explains 82% of the variability of the total volume and the coefficient of variation is relatively low (7.2%). On the other hand, the

model of the total carbon pool, also as a function of the dbh, had a coefficient of determination of 0.71, and it can be considered as an acceptable model.

When comparing the best biomass models of this study with the equations presented by Brown *et al.* (1989) and Brown (1992) for estimating the total biomass as a function of dbh, the later models tend to underestimate the biomass especially in big trees. The equations developed in this study adjusted well to measurements in all size classes.

The amount of total biomass and carbon pool in the private farms was about 36% of that obtained in the experimental areas. This can be due to the management that the forest farms have received, i.e. they have undergone strong selective cuttings for long periods. This also increased the risk of land use change.

In Corinto, 46% of the farm forests receive payments for sustainable management, and an equal percentage is receiving payments for protection. In Tirimbina, these figures are 71% and 21%, respectively.

The cultivation of palm heart (0.3% of the farm area), cattle raising for meat production (4.1%), sustainable management of the forests (25.7%) and the absolute protection of forests (36.7%) are among the main activities in the farms of the Corinto region. For Tirimbina, the main activities were cattle raising for milk and meat (34.3%), followed by sustainable management of forests (15.1%) and the absolute protection of forests with 9.9%. The cultivation of pepper (2%) was the most profitable activity in the Tirimbina region.

The opportunity cost analysis showed that the amounts paid for all environmental services combined ranged from \$ 234 to \$ 555 ha⁻¹ year⁻¹ for Corinto and \$ 255 at \$ 288 ha⁻¹ year⁻¹ for Tirimbina. Of this total, 18%, i.e. \$ 42 to \$ 100 ha⁻¹ year⁻¹ in Corinto and \$ 46 to \$ 52 ha⁻¹ year⁻¹ in Tirimbina correspond to the sequestration and storage of carbon. When considering the rate of carbon sequestration, the economic value of this environmental service ranged from \$18.3 tC⁻¹ to \$ 43.5 tC⁻¹ for the region of Corinto and of \$ 20 tC⁻¹ to \$ 22.6 tC⁻¹ for the region of Tirimbina.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
CONTENIDO	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. General	4
2.2. Específicos	4
3. HIPOTESIS DE TRABAJO	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Mecanismo de desarrollo limpio	5
4.1.1. <i>Antecedentes a nivel mundial</i>	5
4.1.2. <i>Contrapartidas de emisiones de carbono y desarrollo de políticas internacionales</i>	8
4.1.3. <i>Beneficios para las partes implicadas en las Actividades Implementadas Conjuntamente</i>	9
4.1.4. <i>Perspectivas de las Actividades Implementadas Conjuntamente</i>	11
4.2. La experiencia de Costa Rica en Actividades Implementadas Conjuntamente	12
4.2.1. <i>Desarrollo institucional</i>	12
4.2.2. <i>Marco legal</i>	13
4.2.3. <i>Mecanismo financiero</i>	14
4.2.4. <i>FUNDECOR: gestor del pago de servicios ambientales en el Area de Conservación Cordillera Volcánica Central.</i>	15
4.3. Cuantificación de biomasa y carbono en bosques naturales	16
4.4. Valoración y costos del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono	19
4.4.1. <i>Métodos de valoración económica</i>	21
5. MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1. Esquema general	23
5.2. Descripción del área de estudio	24
5.2.1. <i>Definición del área</i>	24
5.2.2. <i>Clasificación de los propietarios según el tamaño de la finca y del bosque</i>	24
5.2.3. <i>Finca experimental de Tirimbina Rain Forest Center</i>	26
5.2.4. <i>Finca experimental de Los Laureles de Corinto.</i>	29
5.3. Estimación de biomasa y carbono	30
5.3.1. <i>Marco general del estudio</i>	30
5.3.2. <i>Selección de las especies de las parcelas permanentes de muestreo administradas por el CATIE</i>	31
5.3.3. <i>Muestreo de árboles</i>	32
5.3.4. <i>Ecuaciones alométricas para estimar biomasa total, volumen total y carbono almacenado</i>	39

5.3.5.	<i>Estimación de incrementos volumétricos y biomasa total en las parcelas permanentes de muestreo administradas por CATIE</i>	40
5.3.6.	<i>Estimación de biomasa total, carbono almacenado y tasa de fijación de carbono en fincas privadas</i>	42
5.4.	Análisis financiero para las actividades productivas desarrolladas en las fincas	44
5.4.1.	<i>Encuesta: Nivel productivo de la finca</i>	44
5.4.2.	<i>Distribución de las áreas por finca y por zona según actividad</i>	45
5.4.3.	<i>Identificación de costos y beneficios de cultivos por finca</i>	45
5.4.4.	<i>Análisis financiero por grupo de actividades productivas</i>	45
5.4.5.	<i>Análisis financiero para las áreas de bosques con pago de servicios ambientales</i>	46
5.5.	Determinación del monto a pagar para el pago de servicios ambientales	48
5.5.1.	<i>Análisis de sensibilidad</i>	48
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
6.1.	Biomasa y carbono en árboles estudiados	50
6.1.1.	<i>Gravedad específica</i>	50
6.1.2.	<i>Fracción de carbono</i>	51
6.1.3.	<i>Cantidad de biomasa y modelos</i>	53
6.1.4.	<i>Cantidad de carbono en árboles estudiados</i>	61
6.2.	Incrementos volumétricos, biomasa total y carbono almacenado para las parcelas permanentes de muestreo de Los Laureles de Corinto y La Tirimbina Rain Forest Center.	64
6.2.1.	<i>Incrementos volumétricos</i>	64
6.2.2.	<i>Biomasa total y carbono almacenado para las parcelas permanentes de muestreo</i>	66
6.3.	Biomasa total, carbono almacenado y tasa de fijación de carbono en bosques naturales de fincas privadas	67
6.4.	Análisis al nivel de fincas	70
6.4.1.	<i>Caracterización de las fincas privadas de las zonas de Tirimbina y Corinto</i>	70
6.4.2.	<i>Actividades productivas de la finca</i>	74
6.4.3.	<i>Costos operativos, beneficios brutos y beneficio neto familiar por finca y por actividad</i>	77
6.5.	Análisis financiero para las actividades productivas desarrolladas en las fincas	79
6.5.1.	<i>Estimación del valor de los servicios ambientales</i>	80
6.5.2.	<i>Análisis de sensibilidad</i>	85
6.6.	Riesgos y oportunidades de los proyectos de carbono	88
6.6.1.	<i>Riesgos de los proyectos</i>	88
6.6.2.	<i>Oportunidades de los proyectos</i>	90
7.	CONCLUSIONES	92
8.	RECOMENDACIONES	95
9.	BIBLIOGRAFIA	96
10.	ANEXOS	97

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Beneficios para el país demandante y el país oferente en Actividades Implementadas Conjuntamente para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero	10
Cuadro 2.	Proyectos de Implementación Conjunta del sector forestal en Costa Rica	15
Cuadro 3.	Costos iniciales de expansión de sumideros de carbono por diferentes regiones y grupos	20
Cuadro 4.	Método de trabajo y resultados esperados para cada uno de los objetivos propuestos en la investigación	23
Cuadro 5.	Especies seleccionadas según el área basal en las parcelas permanentes de muestreo de Tirimbina y Los Laureles de Corinto	31
Cuadro 6.	Especies seleccionadas en las fincas para medir biomasa y para determinar la fracción de carbono y gravedad específica	32
Cuadro 7.	Gravedad específica promedio para fuste y ramas de ocho especies forestales de bosque natural	50
Cuadro 8.	Porcentaje de carbono en fuste y ramas por árbol para nueve especies forestales de bosque natural	52
Cuadro 9.	Biomasa de fuste, biomasa total y factor de expansión de biomasa para los árboles de siete especies de bosque natural	54
Cuadro 10.	Coefficientes de correlación de Pearson de la biomasa total con el dap, altura comercial, volumen y biomasa de fuste para las especies estudiadas (n=19)	55
Cuadro 11.	Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa total en función de la biomasa y volumen de fuste, diámetro a la altura de pecho, altura total y comercial	56
Cuadro 12.	Correlación entre dap, volumen de fuste y volumen total para las especies estudiadas (n = 19)	60
Cuadro 13.	Modelos de mejor ajuste para estimar volumen total y volumen del fuste en función del diámetro a la altura de pecho (dap)	61
Cuadro 14.	Cantidad de carbono almacenado por árbol para las especies estudiadas	62
Cuadro 15.	Modelos de mejor ajuste para estimar la cantidad de carbono almacenado en función del diámetro a la altura de pecho	63
Cuadro 16.	Volumen total, biomasa total y carbono almacenado a partir de 10 cm de dap, por tratamiento en las parcelas permanentes de muestreo de Corinto y Tirimbina	66
Cuadro 17.	Biomasa total, cantidad de carbono almacenado y tasa de fijación de carbono por finca de la zona de Tirimbina y Corinto	68
Cuadro 18.	Biomasa total y cantidad de carbono almacenado en las parcelas permanentes de muestreo y las fincas privadas de Tirimbina y Corinto	69
Cuadro 19.	Área de las fincas y del bosque sometidos a pago de servicios ambientales para manejo sostenible y protección absoluta para las zonas de Tirimbina y Corinto	71
Cuadro 20.	Principal fuente de ingresos y tipo de propietario para las zonas de Corinto y Tirimbina	74

Cuadro 21.	Información del pago de servicios ambientales para los propietarios de las fincas en las zonas de Corinto y Tirimbina	74
Cuadro 22.	Beneficio bruto, costos operativos y beneficio neto familiar de las actividades productivas de las zonas de Tirimbina y Corinto	78
Cuadro 23.	Indicadores financieros para los cultivos y la ganadería e indicadores económicos para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques para Corinto y Tirimbina	80
Cuadro 24.	Montos mínimos y máximos del pago de servicios ambientales en las zonas Corinto y Tirimbina	84
Cuadro 25.	Indicadores financieros para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques con diferentes tasas de descuento para Corinto y Tirimbina	86
Cuadro 26.	Indicadores financieros para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques variando los costos de mantenimiento y de asistencia técnica de Corinto y Tirimbina	87
Cuadro 27.	Indicadores financieros para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques con o sin pago de servicios ambientales para Corinto y Tirimbina	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Aumento del cambio de uso de la tierra y quema de combustibles fósiles durante los últimos 150 años a nivel mundial	5
Figura 2.	Beneficios de la compensación internacional de emisiones entre países industrializados y países tropicales	11
Figura 3.	Ubicación de las fincas privadas con bosques con manejo sostenible o de protección absoluta en las zonas de Tirimbina y Corinto, Costa Rica	25
Figura 4.	Ubicación de las Parcelas Permanentes de Muestreo en la finca "Tirimbina Rain Forest Center", La Virgen de Sarapiquí, Heredia	27
Figura 5.	Relación dap vs. altura comercial y total para las especies estudiadas	54
Figura 6.	Relación de biomasa total para las especies muestreadas con a) Diámetro a la altura de pecho, b) Volumen de fuste y c) Biomasa de fuste	55
Figura 7.	Biomasa total simulada vrs biomasa total real para las especies muestreadas. a) Simulada con el modelo de Brown <i>et al.</i> (1989); b) Simulada con el modelo de Brown (1992); citado por Brown (1997); c, d y e) Simulada con los modelos de este estudio	59
Figura 8.	Estimación de a) Volumen de fuste y b) Volumen total en función del diámetro a la altura de pecho para las especies estudiadas	60
Figura 9.	Relación del diámetro a la altura de pecho (dap) con la cantidad de carbono almacenado para los árboles estudiados	63
Figura 10.	Incremento volumétrico medio anual para diferentes tratamientos silviculturales en Tirimbina y Corinto	65
Figura 11.	Distribución de las actividades que generan ingresos para las zonas de Corinto y Tirimbina	75

1. INTRODUCCIÓN

La probabilidad de un cambio climático mundial y de sus posibles efectos en todos los ecosistemas de la tierra y en el estilo de vida de las sociedades, es uno de los problemas ambientales más discutidos en la década de los 90's y se espera que esta discusión aumente en el siglo XXI (Ciesla 1996; Acosta *et al.* 1997). Por esta razón, uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad hoy, es la expectativa que producirán las actividades económicas en el calentamiento global (Acosta *et al.* 1997).

La economía juega un papel importante en el análisis de las políticas y los mecanismos de mercado y otras soluciones. El Protocolo de Kyoto (Japón) en 1997, es el primer caso donde los gobiernos han estado de acuerdo en usar instrumentos económicos para llevar a cabo sus compromisos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Desarrollando estos instrumentos darán más oportunidades a los entes encargados para la toma de decisiones y lograr así costos más eficientes. Uno de los compromisos del Protocolo es promover y apoyar con su cooperación la conservación y manejo de los sumideros y depósitos de todos los gases de efecto invernadero (no controlados por el Protocolo de Montreal), entre ellos la biomasa, los bosques y otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos. Para cumplir con lo establecido en el Protocolo los países desarrollados pueden realizar actividades conjuntas con otros países para disminuir o compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero (Acosta *et al.* 1997).

Centroamérica y especialmente Costa Rica, ha desarrollado proyectos de implementación conjunta para el control de emisiones. Estos representan un 60,7% del total de las emisiones reducidas a través de proyectos de este tipo en el mundo (Pedroni 1999). Costa Rica y principalmente su estructura legislativa e institucional, han reconocido la necesidad de conservar y manejar los recursos naturales y especial los bosques y los servicios que brindan éstos. Debido a esto, en 1995 se creó la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC) en convenio con varias instituciones y organismos nacionales públicos y privados, entre ellos la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR). Con esto se busca promover los proyectos de implementación conjunta y negociar con países desarrollados la venta del servicio de carbono fijado en los diferentes ecosistemas forestales.

Actualmente en nuestro país, la fuente de financiamiento de los servicios ambientales continúa siendo el Estado por una parte, mediante el destino de un porcentaje del impuesto selectivo de consumo a los hidrocarburos, y los recursos obtenidos mediante cooperación internacional por concepto de venta de Certificados de Emisión de Carbono (CTO's). La Ley Forestal vigente, en su artículo 69 (Costa Rica 1996), establece las pautas de la fuente de financiamiento para la retribución de los servicios ambientales de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y biodiversidad, al indicar que una tercera parte del impuesto selectivo de los combustibles debe destinarse a programas de compensación y a propietarios de bosques y plantaciones forestales.

En el proceso de transformación que se viene dando para mejorar las técnicas de manejo y conservación de los ecosistemas en nuestro país, se vio también la necesidad de reformar el sistema de incentivos forestales vigente desde 1979 (con la reglamentación de la primera ley forestal del país). A partir de 1996, se elimina el concepto de subsidios forestales y se inicia el pago por los servicios ambientales (PSA), amparado en la Ley Forestal 7575, la cual reconoce cuatro servicios ambientales: protección del recurso hídrico, fijación y almacenamiento de carbono, protección de la biodiversidad y protección de belleza escénica.

Sin embargo, uno de los principales problemas de los bienes y servicios ambientales, ha sido la carencia de un mercado definido y seguro, un mecanismo de comercialización y operación del mismo, así como el determinar cual es el monto a pagar. Muchos autores han dado una estimación de cuánto se debería cobrar por estos servicios, sin embargo, aún no se sabe con certeza si los pagos realizados hasta hoy día reflejan el monto de los diferentes bienes y servicios del bosque. Carranza *et al.* (1996), menciona que existe una gran disparidad de criterios entre expertos a nivel mundial para valorar los servicios ambientales. La determinación del monto es importante por parte de las autoridades, como primer paso para internalizar estos valores en el flujo de caja de los propietarios y que éstos reciban un ingreso por conservarlos, proteger o aprovecharlos bajo el marco de desarrollo sostenible, ofreciendo otra opción de manejo de los recursos naturales.

El valor económico total de un bosque natural está compuesto por valores que se determinan a través del mercado (bienes maderables y no maderables y por otros asociados con los servicios ambientales. Por lo tanto, es necesario conocer mejor qué

pautas generales podrían ser útiles en el establecimiento de un sistema que permita la adecuada valoración y pago de éstos, como un conjunto de interacciones en un ecosistema.

Es importante desarrollar investigaciones que evalúen la estructura económica y de comercialización del pago del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono, con el objetivo de identificar las debilidades de las definiciones en aspectos de política, control, evaluación y valoración.

El objetivo de la presente investigación fue valorar los servicios ambientales y en especial el servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques naturales privados, los cuáles están dentro del marco del pago de servicio ambiental para manejo sostenible y de protección absoluta, en las localidades de Tirimbina y Guápiles, del Area de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC).

2. OBJETIVOS

2.1. General

Valorar económicamente el servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques naturales de fincas privadas de Sarapiquí y Guápiles.

2.2. Específicos

Cuantificar el contenido de carbono en la biomasa para el grupo de especies forestales dominantes en un bosque húmedo tropical.

Utilizar el método de costo de oportunidad para valorar los servicios ambientales que presta el bosque húmedo tropical.

Identificar los riesgos y oportunidades asociados a proyectos de fijación y almacenamiento de carbono en el sector forestal.

3. HIPOTESIS DE TRABAJO

Existen diferencias en la fracción de carbono en la biomasa entre las especies forestales estudiadas.

Se presentan diferencias entre las ecuaciones alométricas para estimar biomasa total en los diferentes ecosistemas forestales.

El servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono es una opción productiva viable económicamente en las fincas cuando se integra a la venta de otros bienes y servicios ambientales.

Existen diferencias significativas en el costo de oportunidad de los bosques dependiendo de las características del mismo.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Mecanismo de desarrollo limpio

4.1.1. Antecedentes a nivel mundial

Se estima que la mayoría del aumento en concentraciones atmosféricas de CO₂ provienen del uso de combustibles fósiles, mientras que el 20-25% del aumento durante los últimos 150 años proviene de cambios en uso de la tierra (Figura 1) (WHRC 1998).

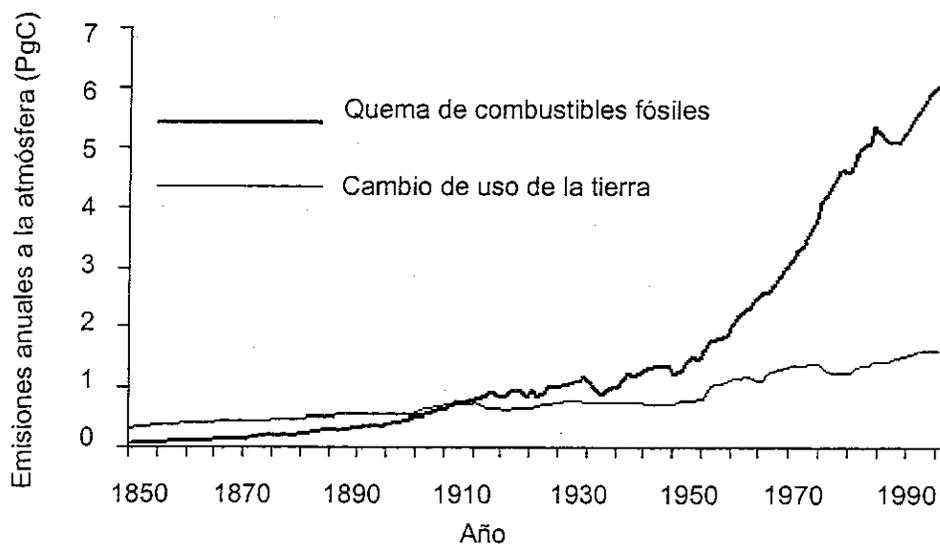


Figura 1. Aumento del cambio de uso de la tierra y quema de combustibles fósiles durante los últimos 150 años a nivel mundial. Fuente: WHRC (1998)

Este problema mundial de incremento en las concentraciones atmosféricas de CO₂ es llamado "calentamiento global", los países desarrollados son los que contribuyen en mayor parte con la emisión de los gases de efecto invernadero: Estados Unidos con un 18% del total, seguido de la ex URSS con un 14% luego están otros como Brasil, China, India, Japón, Alemania, Reino Unido, Indonesia y Francia. Los países en desarrollo (incluso China y la ex URSS) fueron responsables del 36% de la energía global relativa a las emisiones de carbono en 1990, lo que equivale a un aumento comparado al 28% del estimado en 1970 (Ciesla 1996). Muchos de estos países tienen un gran sector industrial y de servicios, y queman grandes cantidades de combustibles fósiles (Watson *et al.* 1990, citado por Ciesla 1996).

En la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro (Brasil) en 1992, se aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC), donde se acordó, que los países industrializados deben tomar medidas para estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Brown y Adger 1994).

La convención dejó abierta la posibilidad de que los países industrializados, denominados países inversionistas (demanda), lleven a cabo Actividades Implementadas Conjuntamente (AIC) con los países en desarrollo, denominados países anfitriones (oferta), que permitan reducir emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, en cumplimiento de sus obligaciones (OCIC 1998).

Dada la gran diferencia que existe en los costos de mitigación (captura y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero) entre los países del norte y los del sur, la inversión en AIC en los sectores forestal (gestión de bosques naturales y plantaciones forestales) y de energía (generación de electricidad con fuentes renovables y eficiencia energética) en los países en desarrollo, es por mucho, la manera más efectiva, en términos de costos para cumplir con el objetivo último de la CMCC (OCIC 1998).

Las negociaciones internacionales se han basado, en los últimos años, en la elaboración de reglamentos para que los emisores de gases de efecto invernadero con altos costos de compensación realicen parte de su reducción de emisiones de bajo costo, invirtiendo en esfuerzos de reducción de estos gases fuera de su país.

Estas inversiones "transfronterizas" se denominan iniciativas de "ejecución conjunta" (EC) ó "Actividades Implementadas Conjuntamente" (AIC), porque la reducción de emisiones de carbono se realiza en forma conjunta entre distintos países. Los partidarios de estas iniciativas consideran que este es un mecanismo viable de transferencia de tecnología y recursos financieros para fomentar las metas del desarrollo sostenible. Sin embargo, las contrapartidas de emisiones de carbono no son internacionales por naturaleza y la mayoría de los países industrializados están alentando también las oportunidades de compensación a nivel nacional (Justin y Stuart 1994).

Algunos emisores de gases de efecto invernadero, están haciendo inversiones internacionales en opciones de energía renovable y eficiencia energética que permiten

mayores reducciones de emisiones de carbono por dólar invertido, comparado con lo que se podría conseguir alterando sus propias operaciones internas. Otras opciones viables incluyen, la captura de metano en las minas de carbón, la disminución de emisiones de óxidos nitrosos y la destrucción acelerada de los clorofluorcarbonos CFC, todos los cuales contribuyen en gran medida a la posibilidad de cambios climáticos en el mundo (Justin y Stuart 1994).

Con la aprobación en 1997 del Protocolo de Kyoto (Japón), se establecieron las bases para desarrollar el mercado del "carbono" a nivel internacional. Este Protocolo es el instrumento legal a través del cual se regulan límites y las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero mandatorias y vinculantes a los países industrializados con obligaciones ante la CMCC. Los países industrializados se comprometieron en Kyoto a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 5% con respecto al nivel de emisiones de 1990 y a evaluar los resultados en el primer período de cumplimiento, durante el quinquenio 2008 al 2012 (OCIC 1998).

El Protocolo, estableció el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para permitir a los países industrializados financiar; a través de un mercado internacional de reducción de emisiones certificadas, a los proyectos en países en vías de desarrollo recibiendo así crédito. El objetivo del MDL es "aportar el desarrollo sostenible primordial de la CMCC", así como "ayudar a los países industrializados a alcanzar el cumplimiento de sus compromisos acordados en Kyoto" (UNFCCC 1999).

Por medio del MDL, los países industrializados podrán adquirir reducciones de emisiones certificadas (Certified Tradable Offsets, CTO's) generadas en la ejecución de proyectos que fijen, reduzcan o eviten emisiones de gases de efecto invernadero en los países en vía de desarrollo, para cumplir con sus obligaciones ante la CMCC (OCIC 1998).

En 1998 se realizó, en Buenos Aires Argentina, el cuarto período de sesiones de la Conferencia de las Partes (COP4) en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en 1999 la COP5. Ministros y otros funcionarios de alto rango de alrededor de 180 países se reunieron para preparar el terreno para la reducción de emisiones, como se estipula en el Protocolo de Kyoto. Uno de los puntos prioritarios

discutidos en la COP4 y COP5 es la necesidad de desarrollar los tres "mecanismos" establecidos en el Protocolo (UNFCCC 1998).

Sin embargo, el acuerdo de Kyoto sólo será jurídicamente vinculante cuando lo hayan ratificado por lo menos 55 países, entre ellos, aquellos países desarrollados cuyas emisiones representan por lo menos el 55% de las emisiones de ese grupo de países. Se confía en que ello ocurra en el año 2001.

4.1.2. Contrapartidas de emisiones de carbono y desarrollo de políticas internacionales

En la jerga de economía ambiental, una contrapartida es una medida adoptada para compensar las emisiones de carbono consideradas excesivas conforme a las reglamentaciones existentes y evitar así impuestos u otras sanciones debido al exceso de emisiones. Estas se deben aplicar dentro de la misma zona contaminada para garantizar un efecto neto positivo en el nivel ambiental respectivo. Dado que el costo de reducir la contaminación varía de un contaminador a otro, aquellos con capacidad para reducir las emisiones de carbono a un bajo costo pueden beneficiarse económicamente reduciéndolas más allá de los niveles requeridos, para luego vender estos "créditos" a los contaminadores que tengan mayores costos de reducción de emisiones (Justin y Stuart 1994).

Estos autores, también indican que las contrapartidas de emisiones de CO₂ son una forma de compensación con el ambiente, las cuales se han considerado como un medio rentable para almacenar a largo plazo el carbono atmosférico en sumideros, como puede ser a través del manejo y la protección de bosques primarios, secundarios, sistemas agroforestales y plantaciones forestales.

Estas contrapartidas representan una inversión hecha con el propósito de disminuir el total de gases de efecto invernadero emanados a la atmósfera y de ese modo reducir el potencial de cambios climáticos en el mundo. Las contrapartidas de emisiones de carbono son actividades emprendidas específicamente por un emisor de estos gases para disminuir las posibilidades de ser sancionado debido a la emisión excesiva de tales gases (Justin y Stuart 1994).

Debido a una serie de desventajas potenciales que puede generar el uso del término contrapartida de emisiones de carbono, surge la necesidad de establecer una política y un marco regulador para los proyectos a nivel internacional. La mayor parte del desarrollo de infraestructura de apoyo a iniciativas AIC ha tenido lugar en Estados Unidos (OCIC 1998).

La sección 1650 de la Ley de Política Energética de 1992 en EE.UU., incluye disposiciones para que las compañías eléctricas lleven un registro voluntario de las emisiones de gases de efecto invernadero y las medidas tomadas para disminuir tales emisiones. Entre las medidas se incluyen las actividades internacionales de reducción de emisiones y diversas medidas de desarrollo forestal (Justin y Stuart 1994).

La "Iniciativa de Estados Unidos sobre acciones de ejecución conjunta" (United States Initiative on Joint Implementation – USIJI) surgió como parte del Plan de Acción sobre Cambio Climático (1993) del presidente Clinton y tiene como objetivo abordar algunas críticas del sistema de AIC, incluyendo la ausencia de datos concretos y las afirmaciones exageradas de reducción de emisiones en proyectos de diseño dudoso. Este grupo interinstitucional insiste en que los proyectos utilicen sus propias tecnologías y promuevan objetivos generales de desarrollo sostenible. Estos proyectos son iniciados por el sector privado y por organizaciones no gubernamentales, financiados por compañías eléctricas y diseñados como iniciativas mayormente independientes del gobierno estadounidense o contribuciones multilaterales (Justin y Stuart 1994).

Las compañías eléctricas de EE.UU. han demostrado interés en estudiar las iniciativas de AIC y USIJI como una solución parcial a los problemas que podrían desencadenarse con sus emisiones de gases de efecto invernadero (Justin y Stuart 1994).

4.1.3. Beneficios para las partes implicadas en las Actividades Implementadas Conjuntamente

Con las Actividades Implementadas Conjuntamente (AIC), se espera que tanto los países demandantes como los países oferentes se vean beneficiados para bajar las emisiones de gases de efecto invernadero (Cuadro 1).

Cuadro 1. Beneficios para el país demandante y el país oferente en Actividades Implementadas Conjuntamente para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero

Beneficios para el país demandante	Beneficios para el país oferente
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oportunidad para ser pionero en un nuevo mecanismo de financiamiento. ▪ Opciones de mitigación de gases menos costosas. ▪ Oportunidad para explorar inversiones en un ambiente políticamente positivo. ▪ Relaciones públicas de alto valor. ▪ Inversión potencial con alta tasa de retorno, ▪ Involucramiento directo en las políticas tanto nacionales como internacionales relacionados con el cambio del clima. ▪ Apertura de nuevos mercados para tecnologías amigables al ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atracción de capital extranjero ▪ Creación de empleos adicionales particularmente en áreas rurales. ▪ Exportación de una "opción limpia". ▪ Capacidad de construir o implementar, particularmente en conocimiento y habilidades relacionados a tecnologías "limpias" y agricultura y silvicultura sostenibles. ▪ Fondos para el desarrollo de proyectos que de otra forma no podrían ser implementados. ▪ Beneficios ambientales locales como protección a mantos acuíferos, reducción de contaminación del aire y protección de la biodiversidad.

Fuente: JI ONLINE, 1996.

Brown y Adger (1994), muestran los beneficios del carbono desde una perspectiva económica, la compensación internacional podría ser una opción atractiva si el costo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero es más bajo a través de prácticas silvícolas o evitando la deforestación, que a través de otras estrategias en el país doméstico. La magnitud del beneficio se ilustra en la Figura 2.

Dadas las curvas de costos marginales de los países "trop" e "ind", el país industrializado podría beneficiarse de reducir emisiones en países tropicales "t" en bajo costo por emisiones sobre el nivel "e*" de reducción de emisiones. El beneficio ganado esta en los recursos salvados, los cuales podrían por lo tanto estar directamente dentro de otros usos, y se muestra por el área entre las dos curvas "a" (Brown y Adger 1994).

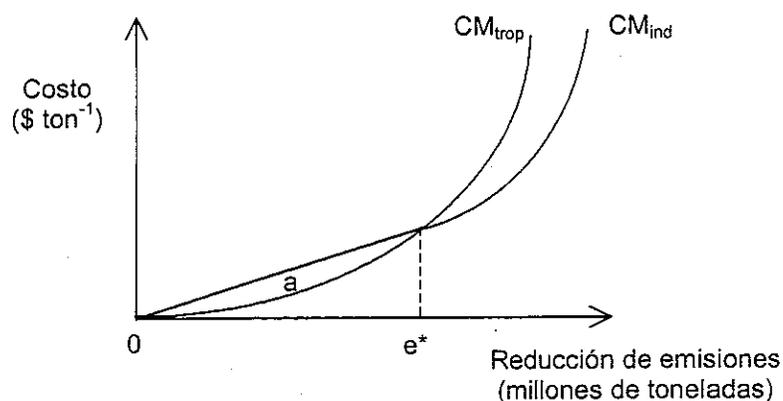


Figura 2. Beneficios de la compensación internacional de emisiones entre países industrializados y países tropicales

Donde: Los beneficios de la compensación internacional de emisiones entre países industrializados "ind" y países tropicales "trop". Bajos costos marginales (CM) de emisión de reducción a través de la conservación del bosque y aforestación en "trop" dando incentivos para "ind" para reducir las emisiones que hay sobre e^* , donde $CM_{ind} = CM_{trop}$. Fuente: Brown y Adger (1994).

4.1.4. Perspectivas de las Actividades Implementadas Conjuntamente

Según Pachauri (1996), la clave para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero en países en desarrollo, radica en la reestructuración del sector energético sin comprometer el crecimiento y el desarrollo. A este respecto, todo conjunto estratégico que se adopte ante el problema mundial del cambio energético, además de ser compatible con las disposiciones de la Convención sobre el Cambio Climático, habrá de tomar en consideración los problemas especiales y las dificultades con que se enfrenta el mundo en desarrollo por su afán de promover el bienestar humano.

Para el año 2000 y siguientes, se espera que los países de Europa Central y Oriental podrán recuperar sus niveles de emisiones de 1990; incluso sin necesidad de adoptar medidas adicionales. Sin embargo, es de esperar que un crecimiento económico sostenido provoque un rápido aumento de emisiones después del año 2000 (Simeonova 1996). Si lo que se quiere es cambiar esta tendencia será preciso adoptar medidas desde ahora.

Otra estrategia mundialmente aceptada es la de perfeccionar el marco jurídico y reglamentario. Desde el punto de vista del abastecimiento de energía, este marco puede utilizarse para promover el abandono de antiguas plantas generadoras alimentadas por

carbón, la utilización de gas natural en lugar de otros combustibles, y el uso de nuevas tecnologías como el ciclo combinado de gas natural, la cogeneración y la combustión en lecho fluidizado (Simeonova 1996).

Este último autor, indica que para el sector residencial, comercial e industrial se debe mejorar el aislamiento térmico de las construcciones, renovar los edificios, la eficiencia de electrodomésticos, entre otros. También es importante adoptar medidas de mitigación en el sector de transportes, como incrementar la eficiencia del uso de combustibles y racionalizar los flujos de transportes. Los países desarrollados están de acuerdo en que se debe mejorar la capacidad de fijación del carbono, a través de mejoras a las prácticas de gestión forestal, incluyendo la repoblación.

4.2. La experiencia de Costa Rica en Actividades Implementadas Conjuntamente

Costa Rica ha sido uno de los primeros países en desarrollar Actividades Implementadas Conjuntamente (AIC) y además es considerado mundialmente como un modelo a replicar en países en desarrollo. Esto se ha visto reforzado por las políticas orientadas a favorecer el manejo y conservación de los recursos forestales, al marco legal e institucional con que cuenta, creado para la valoración de los servicios ambientales, en especial el costo de mitigar gases de efecto invernadero, la internalización de estos costos a través del pago de servicios ambientales a la actividad forestal privada y la comercialización internacional de las reducciones de emisiones certificadas de gases de efecto invernadero generadas en la ejecución de proyectos AIC.

4.2.1. Desarrollo institucional

Un hecho relevante para las AIC en Costa Rica fue que en septiembre de 1994, se firmó con el gobierno estadounidense la "*Carta de Intenciones y la Implementación Conjunta de medidas para evitar y reducir las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero*", tendiente al desarrollo de un programa costarricense para promover y desarrollar proyectos de implementación conjunta con apoyo financiero del sector privado norteamericano. En 1996, se acordó un convenio similar con Noruega, en 1997 con Holanda y en 1998 con Suiza y Finlandia. Actualmente se están negociando acuerdos similares con Canadá y Alemania (OCIC 1998).

En julio de 1995 se firmó en Costa Rica, un convenio de cooperación entre los sectores gubernamental y privado, con el fin de crear la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC). Este convenio fue suscrito por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), como ente rector del sector ambiental, la Coalición de Iniciativas de Desarrollo (CINDE), representando al sector privado especializado en la atracción de inversiones, la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) ONG de reconocida trayectoria en el campo forestal y la Asociación Costarricense de Productores de Electricidad (ACOPE), que representa a los generadores privados (Alpizar 1997).

El 22 de abril de 1996 se publicó el Decreto Ejecutivo 25066-MINAE, con el propósito de consolidar legalmente a la OCIC como el "órgano de desconcentración máxima técnico-administrativa" del Ministerio del Ambiente y Energía. Con esto se garantiza que las políticas son vinculantes con los órganos gubernamentales y privados en el ámbito nacional; y al elevarla al rango de órgano de desconcentración máxima, se le permite actuar con la suficiente autonomía técnica y administrativa (Alpizar 1997 y OCIC 1998).

4.2.2. Marco legal

El 26 de agosto de 1994, Costa Rica ratificó como ley superior de la República, la CMCC ley No. 7414. De esta forma, el país integraba en su marco legal, regulaciones para atender los problemas atmosféricos.

La Ley Forestal No. 7575, en el artículo 3, inciso k que entró en vigencia el 16 de abril de 1997, define cuatro servicios ambientales: fijación y almacenamiento de carbono, protección de la biodiversidad, protección del recurso hídrico y protección de belleza escénica (Costa Rica 1996).

La Ley Forestal No. 7575, por un lado autoriza al Estado a internalizar los costos del servicio ambiental de mitigación de gases, para incentivar los esfuerzos que realizan los propietarios nacionales de bosques naturales y plantaciones forestales, y por otro lado, se faculta al Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) al reclamo de este servicio ambiental en el ámbito internacional. Con esto, garantiza a los inversionistas extranjeros que el Estado tiene las facultades, dentro del marco legal, para promocionar y

comercializar los beneficios de mitigación de aquellos proyectos que se enmarcan en este proyecto (Costa Rica 1996).

Este servicio beneficia a la comunidad local, nacional e internacional, pero es reconocido que los países industrializados son los que más contribuyen a aumentar el efecto invernadero, por las emanaciones de gases derivados de sus actividades económicas e industriales; de allí su mayor disponibilidad a compensar los esfuerzos por disminuir la concentración de carbono en la atmósfera. Es por ello, que dichos países están dispuestos a pagar a aquellos que tienen bosques, para que los conserven, ya que el efecto invernadero es de dimensiones globales (La Gaceta 1998).

4.2.3. Mecanismo financiero

Al establecer Costa Rica un marco jurídico, que señala el mecanismo del manejo de los recursos que aportan los socios extranjeros en proyectos de AIC, se emite el Decreto Ejecutivo No. 25067-MINAE, publicado el 22 de abril de 1996, donde se establece un "Fondo Nacional Específico para la Conservación y el Desarrollo de Sumideros y Depósitos de Gases de Efecto Invernadero" (Costa Rica 1996).

Con este Fondo se pretende que los aportes que efectúen los inversionistas extranjeros, ingresen a un fondo específico destinado exclusivamente a la ejecución de los términos acordados en los proyectos nacionales de AIC. Asimismo, se diseñó un instrumento financiero para la comercialización internacional de reducciones de emisiones certificadas de gases de efecto invernadero, denominado CTO's (Certified Tradable Offsets). Estos se definen como una cantidad determinada de reducciones certificadas de emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en unidades equivalentes de carbono, que han sido o serán reducidas o compensadas (OCIC 1998).

El monitoreo interno de las actividades y la verificación externa e independiente de los beneficios ambientales derivados de la ejecución del proyecto, permitirán asegurar que la mitigación es real, de calidad demostrable, y que cumple con los requisitos establecidos por la Secretaría de la CMCC (Alpízar 1997).

En virtud de una emisión de CTO's, el Estado se compromete a sustentar la validez de la mitigación durante la vida del proyecto, garantizando compensaciones adicionales en el caso que se comprueben discrepancias con las mitigaciones certificadas (Alpizar 1997).

Actualmente en Costa Rica, existen once proyectos AIC aprobados por la Secretaría de la CMCC, de los cuales el proyecto de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) tiene dos componentes; uno de energía renovable y otro forestal. De éstos proyectos, cinco son de generación de energía con fuentes renovables, seis forestales (Cuadro 2) y uno del sector agrícola (OCIC 1998; USJI 1995).

Los proyectos de energía y dos proyectos forestales ya han recibido donaciones, lo que significa que por medio de la AIC, a la fecha se ha logrado una inversión en el país del orden de los US\$ 140 millones (OCIC 1998).

Cuadro 2. Proyectos de Implementación Conjunta del sector forestal en Costa Rica

Nombre del proyecto	Tipo de proyecto	Area (ha)	Costo total (US\$mill)	Duración (años)	Reducción de emisiones/secuestro	
					(tC)	(tCO ₂)
ECOLAND*	Conservación	2 340	1.0	15	345 548	1 267 124
CNFL	Conservación	4 000	3.3	25	313 646	1 150 140
	Regeneración Reforestación					
P.A.P.*	Conservación	530 000	150	25	18 000 000	66 006 000
EARTH	Reforestación	78	0.164	20	2 068	7 583
KLINKI*	Reforestación	6 000	3.3	40	1 968 000	7 216 656
	Reforestación	5 533				
CARFIX	Manejo bosques	20 502	12.5	25	948 318	3 477 482
	Regeneración	10 670				
TOTAL		579 123	170.76		21 577 580	79 124 985

(*) Proyectos aprobados a través de la Oficina de Implementación Conjunta de los Estados Unidos (USJI). Fuente: OCIC (1998).

4.2.4. FUNDECOR: gestor del pago de servicios ambientales en el Area de Conservación Cordillera Volcánica Central.

La Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), es una organización costarricense sin fines de lucro, creada bajo la Ley de Fundaciones No. 5338 del 28 de agosto de 1973. Su objetivo es apoyar e impulsar la conservación y el uso

sostenible de los recursos naturales con la sociedad civil brindando asistencia técnica, jurídica y de organización en materia forestal en el Area de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCV) (Rojas *et al.* 1995). En 1997, recibió la Certificación del Buen Manejo Forestal del programa Qualifor de la Société Generale de Surveillance (Miranda *et al.* 1999).

Esta organización colabora con la formulación y ejecución de los planes de manejo de protección del bosque, reforestación, aprovechamiento mejorado de áreas privadas y establecimiento de viveros. Además, ofrece los servicios de la compra de madera por adelantado, educación ambiental, ecoturismo y la regencia forestal. Promueve alternativas de manejo forestal para maximizar los ingresos de los propietarios de bosques, ya sea mejorando el precio en la venta de la madera o mediante el "Pago de Servicios Ambientales" otorgados por el gobierno de Costa Rica a través del Fondo Nacional para el Financiamiento Forestal (FONAFIFO) (Miranda *et al.* 1999). Los servicios que ofrece la Fundación están relacionados con el sector forestal brindando la asistencia técnica y encargándose directamente de desarrollar y ejecutar los planes de manejo en bosques naturales, además de dar el seguimiento para garantizar el éxito de los mismos.

FUNDECOR, a través del convenio con los beneficiarios da el servicio legal para el pago por los servicios ambientales, el propietario endosa el cobro del pago a la Fundación para que esta lo ejecute, se cobre los haberes estipulados en el contrato y reembolse al convenista el remanente (Miranda *et al.* 1999).

4.3. Cuantificación de biomasa y carbono en bosques naturales

Los inventarios forestales han sido punto de partida para los estudios de estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales. Brown y Lugo (1992), utilizaron datos de inventarios forestales para estimar biomasa en la Amazonía de Brasil. En el caso de Brown (1997), utilizó datos de inventarios para generar ecuaciones que estimen la biomasa.

Sin embargo, la información de los inventarios introduce errores grandes en las estimaciones. Otros errores en las mediciones del volumen original son; el problema de árboles huecos, la conversión de volúmenes medidos a un diámetro mínimo más grande a

un diámetro mínimo más pequeño, el uso de la gravedad específica de la madera y la conversión final de biomasa de madera de fustes a biomasa total (Brown y Lugo 1992).

Los primeros trabajos en las regiones templadas acerca de la estimación de biomasa de árboles y bosques aparecieron al principio del siglo XX, sin embargo, para las regiones tropicales los trabajos son escasos y por ello la información para estimar la cantidad de biomasa es muy pobre (Brown y Lugo 1982; Pardé 1980).

El contenido de biomasa puede ser estimado a través de métodos directos ó indirectos. El primero es destructivo, consiste en medir las dimensiones básicas de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de sus componentes (raíces, fuste, ramas y follaje), a su vez la biomasa de ramas y raíces se puede subdividir en categorías diamétricas extrapolando los resultados a grandes áreas (Ortiz 1993; Araújo *et al.* 1999).

El segundo método es utilizado cuando el árbol es de dimensiones muy grandes, que es lo usual en bosques naturales, se utilizan los métodos de cubicación y estimando el volumen de las trozas con las fórmulas de Smallian, Huber, entre otros; al final se suman estos volúmenes para obtener el volumen total del fuste o de las ramas gruesas. Se toman muestras de madera del componente del árbol (por ejemplo; fuste y/o ramas) y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir la gravedad específica verde y la gravedad específica seca (Ortiz 1993 y Segura 1997).

Otra forma de estimar biomasa es a través de fórmulas y modelos matemáticos para realizar análisis de regresión entre las variables colectadas en el campo y de inventarios forestales (dap, altura comercial y total, crecimiento diamétrico, etc.) (Araújo *et al.* 1999; Ortiz 1993; Brown 1997).

Los estudios de cálculos de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado, ya que la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1 (Ciesla 1996). Algunos estudios en carbono han sido realizados en parcelas permanentes de muestreo (PPM) en bosques naturales Brown *et al.* (1989), Phillips *et al.* (1998), y Brown y Lugo (1992).

Las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, bosques secundarios y plantaciones forestales en su gran mayoría asumen el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general, basado en un estudio realizado por Brown y Lugo (1984). Sin embargo, las normas establecidas por el IPCC (1996), para realizar estimaciones de contenido de carbono en diferentes escenarios naturales, recomiendan utilizar 0.50 como fracción de carbono en materia seca en caso de no existir datos disponibles.

Brown (1988); citado por Cairns y Meganck (1994), reporta en promedio para los bosques húmedos tropicales entre 155 y 187 tC ha⁻¹ y en el bosque seco entre 27 y 63 tC ha⁻¹. Waring y Schlesinger (1985), citado por Cairns y Meganck (1994); mencionan que en promedio los bosques tropicales almacenan más carbono que otros ecosistemas, aproximadamente 44 veces más que las tierras dedicadas a la agricultura. Así se tiene que en promedio los bosques tropicales almacenan 220 tC ha⁻¹, el bosque templado 150 tC ha⁻¹, para el bosque boreal se tiene en promedio 90 tC ha⁻¹, en pastizales se tiene un promedio de 15 tC ha⁻¹ y por último en tierras dedicadas a la agricultura 5 tC ha⁻¹ (Cairns y Meganck 1994).

En un estudio realizado por Phillips *et al.* (1998), se estimó la tasa de fijación de carbono tomando como base la información en área basal y el supuesto de que el cambio en este parámetro esta en función de la acumulación neta de biomasa a través del tiempo para el bosque húmedo. Los resultados indican que el incremento de la biomasa en las parcelas de la Amazonía es equivalente a una captación neta de 0.62 ± 0.37 tC ha⁻¹ año⁻¹. Multiplicando este valor por el área estimada de bosques de las tierras bajas de la Amazonía se tiene una cantidad de carbono en la biomasa en bosques maduros de 0.44 ± 0.26 G tC año⁻¹. La estimación de carbono para las tierras bajas Neotropicales es de 0.52 ± 0.28 G tC año⁻¹ y para los bosques del neotrópico es de 0.62 ± 0.30 G tC año⁻¹.

Los estudios de carbono en biomasa para bosques naturales, dan resultados con un amplio rango de valores, dependiendo en gran parte de la fuente de información. Estos valores están basados comúnmente, en datos ecológicos de pequeñas parcelas que estiman la biomasa de inventarios a grandes escalas, como por ejemplo los estudios de Brown y Lugo (1984, 1992) y Brown *et al.* (1989).

Segura (1997) determinó la cantidad de carbono almacenado en un Bosque muy Húmedo Montano Tropical de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. El estudio consistió en determinar la capacidad de fijación y la cantidad de carbono almacenado en este tipo de bosque. El factor de expansión de biomasa (FEB) de fuste con respecto a la biomasa de ramas y raíces se estimó en 1.7, este valor se encuentra dentro del rango reportado por Brown y Lugo (1984), citado por Segura (1997), como promedio para diferentes zonas de vida. La cantidad de carbono estimado fue de 43%, por otra parte, la cantidad de carbono almacenado es de 56.26 tC ha⁻¹ y la tasa de fijación anual es de 1.87 tC ha⁻¹ año⁻¹ para este tipo de bosque.

Solíz (1998), realizó un estudio en un Bosque Subhúmedo Estacional de Lomerío en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, cuantificando el contenido de carbono y midiendo la biomasa aérea total (incluye fuste y copa) de 12 árboles de diferentes especies. El FEB varía de 1.20 a 3.71 con un promedio ponderado de 2.50. El autor indica que el valor obtenido de FEB promedio, es aceptable para este tipo de bosque considerado abierto.

El valor estimado del contenido de carbono o Factor de Conversión a Carbono (FCC) de las especies varía de 0.36 a 0.45, presentando como promedio un 0.43 para las especies en estudio. Solíz (1998) indica que para este tipo de bosque la cantidad anual de carbono almacenado y fijado es de 1.486 976 t como promedio simulando así un balance del carbono en el bosque de Lomerío, para un período de 35 años.

4.4. Valoración y costos del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono

Para el análisis económico es crucial si el almacenamiento y fijación de carbono puede ser tratado como un beneficio económico o no. Niskanen *et al.* (1996), hacen referencia en este aspecto con el precio sombra de una unidad de CO₂ el cual, es el monto del daño externo causado por una emisión. Las determinaciones del nivel de precio sombra para el control de emisiones, sin embargo, varían notablemente según el método de valorar los daños y perjuicios externos o los costos de prevenirlos. Puesto que normalmente se presentan los valores de la unidad de emisiones del carbono como una sumatoria de las fracciones valoradas, en el presente los precios sombra de CO₂ también dependen de la

tasa de descuento usada. En conclusión puede asumirse que el precio sombra de la emisión de CO₂ es positivo, aunque parece imposible determinar objetivamente cualquier estimación exacta o de fondo.

Varios estudios realizados en los países en vías de desarrollo evalúan el costo de almacenar carbono usando opciones como agrosilvicultura, plantaciones de larga -y de corta- rotación, regeneración natural, manejo del bosque, y prácticas silviculturales (Cuadro 3). Basado en una estimación de la disponibilidad técnica del área de tierra en un país dado, los estudios tropicales han desarrollado curvas de costo que muestran incrementos de los costos marginales con el más alto almacenamiento. Las curvas para India, China y Tailandia, por ejemplo, indican que la unidad de costo por almacenar carbono en 80% del área técnicamente disponible estaría por menos de US\$10 tC (Brown 1995).

Cuadro 3. Costos iniciales de expansión de sumideros de carbono por diferentes regiones y grupos

Región/País	Práctica	Costo (US\$ tC)	Fuente
Boreal	Regeneración natural	5 (4-11)	Dixon <i>et al.</i> 1994.
	Reforestación	8 (3-27)	
Templada	Regeneración natural	1	Dixon <i>et al.</i> 1994.
	Aforestación	2 (1-5)	
	Reforestación	6 (3-29)	
Tropical	Regeneración natural	1 (1-2)	Dixon <i>et al.</i> 1994.
	Agroforestería	5 (2-11)	
	Reforestación	7 (3-26)	
América Central	Regeneración natural	4	Swisher 1991.
	Agroforestería	4	
	Plantaciones	13	
Alemania	Reforestación	29	Winjum <i>et al.</i> 1993.
Malasya	Reforestación	5	Winjum <i>et al.</i> 1993.
Estados Unidos	Reforestación	5	Winjum <i>et al.</i> 1993.
	Aforestación	2	
	Varias opciones	5-43	
	Varias opciones	19-45	

Fuente: Brown 1995.

La compensación de gases de efecto invernadero a partir de los acuerdos internacionales bilaterales tiene dos características que los hacen polémico y difícil llevar a cabo (Brown y Adger 1994):

- Los costos de transacción de tales compensaciones podrían ser muy altos.
- La compensación de las emisiones de los gases de efecto invernadero de un país a las emisiones en otro país involucra un cambio explícito en derechos de propiedad.

Otra forma de medir el almacenamiento de carbono es con el carbono neto acumulado (CNA), la diferencia en el stock de carbono sobre el tiempo de cada tipo de uso de la tierra (corta y quema, preservación del bosque y agroforestería). El carbono almacenado a través del cambio de uso de la tierra (CNA_{ij}) es tomado como la diferencia en CNA entre corta y quema y preservación del bosque. El beneficio global del almacenamiento de carbono resultado del cambio de uso de la tierra es calculado como el Valor Presente (VP) de las diferencias en el CNA debido al cambio de uso de la tierra ponderado por el precio sombra descontado del carbono (Smith *et al.* s.f.).

4.4.1. Métodos de valoración económica

La necesidad para la valoración de bosques tropicales es un problema que requiere de una atención especial y urgente, ya que está ligado a un adecuado manejo del bosque (Kramer *et al.* 1995). Existen algunos métodos de valoración económica que determinan los beneficios y costos indirectos de los bienes y servicios ambientales del bosque, los cuáles no son considerados dentro de un mercado y a su vez no pueden ser valorados directamente. Estos se pueden clasificar en métodos de valoración económica directos e indirectos, los cuales permiten aproximar el valor económico de un bien o función y calcular los beneficios y costos de los efectos dados por determinado uso.

Los métodos indirectos no utilizan precios de mercado y dentro de esta categoría se encuentran los métodos de valoración contingente, costo de viaje y métodos de valoración hipotética.

Los métodos directos utilizan precios de mercado y/o sombra, algunos de éstos son: cambio de productividad, costo de reemplazo, costo de sustitución, pérdida de ingresos, costo efectividad, costo de oportunidad y costos preventivos. A continuación se define el método de costo de oportunidad ya que fue el método de valoración aplicado en este estudio:

Costo de oportunidad:

El costo de oportunidad de un recurso que no tiene precio, puede ser estimado por el valor de otros usos alternativos sea agrícola, forestal u otros (Pearce y Turner 1991; Ruitenbeek 1990). Por ejemplo el costo de conservación de un Parque Nacional, es el costo de no uso comercial de un recurso, estimado mediante los ingresos generados por otros usos.

El Banco Mundial (1994), define el costo de oportunidad como el beneficio a que se renuncia al utilizar un recurso escaso para una finalidad en lugar de en su mejor empleo opcional siguiente en orden de rentabilidad.

Este método es aplicado en el caso de valoración de bosques, establecimiento y protección de hábitats de vida silvestre, sitios históricos y culturales. Se obtienen valores confiables cuando se tiene información de las actividades productivas del sitio como jornales, desempleo, ingresos y costos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Esquema general

A continuación se presenta un esquema de la metodología de trabajo, el análisis estadístico y los resultados esperados a partir de los objetivos propuestos.

Cuadro 4. Método de trabajo y resultados esperados para cada uno de los objetivos propuestos en la investigación

Cuadro 4a. Objetivo específico 1

1. Cuantificar el contenido de carbono en la biomasa para el grupo de especies forestales dominantes de un bosque húmedo tropical.

METODOLOGÍA	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	RESULTADOS ESPERADOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisar base datos PROSIBONA de PPM, (Corinto / Tirimbina) y FUNDECOR (fincas). ▪ Agrupar y seleccionar especies principales, criterio área basal. ▪ Realizar muestreo de especies aprovechadas en fincas privadas. ▪ Determinar por especie la fracción de carbono y gravedad específica. ▪ Probar ecuaciones alométricas ▪ Calcular biomasa, carbono almacenado y tasa de fijación de carbono de los bosques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estadística descriptiva ▪ ANDEVA ▪ Pruebas de: normalidad, t de diferencia de medias, no paramétrica (Kruskal-Wallis). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Especies forestales dominantes ▪ Tabla contenido de carbono almacenado y fijado por especie, finca, zonas y PPM. ▪ Ecuaciones alométricas de biomasa y volumen total y carbono almacenado.

Cuadro 4b. Objetivo específico 2

2. Utilizar el método de costo de oportunidad para valorar los servicios ambientales que presta el bosque húmedo tropical.

METODOLOGÍA	ANÁLISIS ESTADÍSTICO / FINANCIERO	RESULTADOS ESPERADOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar tipo de propietario: <ul style="list-style-type: none"> a) Vive o no dentro de la finca. c) Tipo de ingreso. d) Tamaño de finca y del bosque. ▪ Ejecutar la encuesta a propietarios de fincas privadas. ▪ Determinar rentabilidad por actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estadística descriptiva ▪ Indicadores financieros: BNF, VAN, B/C ▪ Análisis de sensibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos e ingresos por actividad y zona ▪ Rentabilidad de actividades ▪ Monto del pago de servicio ambiental. ▪ Monto de la tonelada de carbono

Cuadro 4c. Objetivo específico 3

3. Identificar los riesgos y oportunidades asociados a proyectos de fijación y almacenamiento de carbono en el sector forestal.

METODOLOGÍA	RESULTADOS ESPERADOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinar riesgos y oportunidades a través de la encuesta a propietarios de fincas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Descripción de riesgos del proyecto. ▪ Descripción de oportunidades.

5.2 Descripción del área de estudio

5.2.1. Definición del área

El área de estudio son fincas privadas que gozan del pago de servicio ambiental para manejo sostenible y/o protección absoluta de bosques en las zonas de Corinto, Guápiles, Limón y Tirimbina en La Virgen de Sarapiquí, Heredia (Figura 3).

Primeramente se ubicó en un mapa del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC) las áreas experimentales de Tirimbina Rain Forest Center y Los Laureles de Corinto administradas por CATIE y en un radio de 10 km se localizaron las fincas objeto de muestreo. Se seleccionó un total de 27 fincas las cuales tenían contrato con FUNDECOR, o estaban en proceso para obtenerlo. Se realizó la encuesta a los propietarios de estas, 13 fincas son del área de Corinto y las restantes 14 del área de Tirimbina.

5.2.2. Clasificación de los propietarios según el tamaño de la finca y del bosque

Tamaño de finca:

Para fines prácticos, se denominará beneficiarios aquellos propietarios de fincas que actualmente están recibiendo o se encuentra en trámite el pago de servicio ambiental por parte del Estado. Los propietarios de estas se pueden caracterizar de acuerdo con el tamaño de la misma en:

1. Pequeños propietarios de finca:

Son los propietarios de finca menores o igual a 100 hectáreas. Se trata principalmente de los asentamientos agrarios otorgados por el Estado a través del Instituto de Desarrollo Agrario (IDA). La economía de la finca se basa en cultivos agrícolas alimenticios combinados con cultivos forestales. La producción es principalmente para la subsistencia del grupo familiar, en muchos casos el propietario se dedica al trabajo de jornales parciales para aumentar el flujo de ingresos.

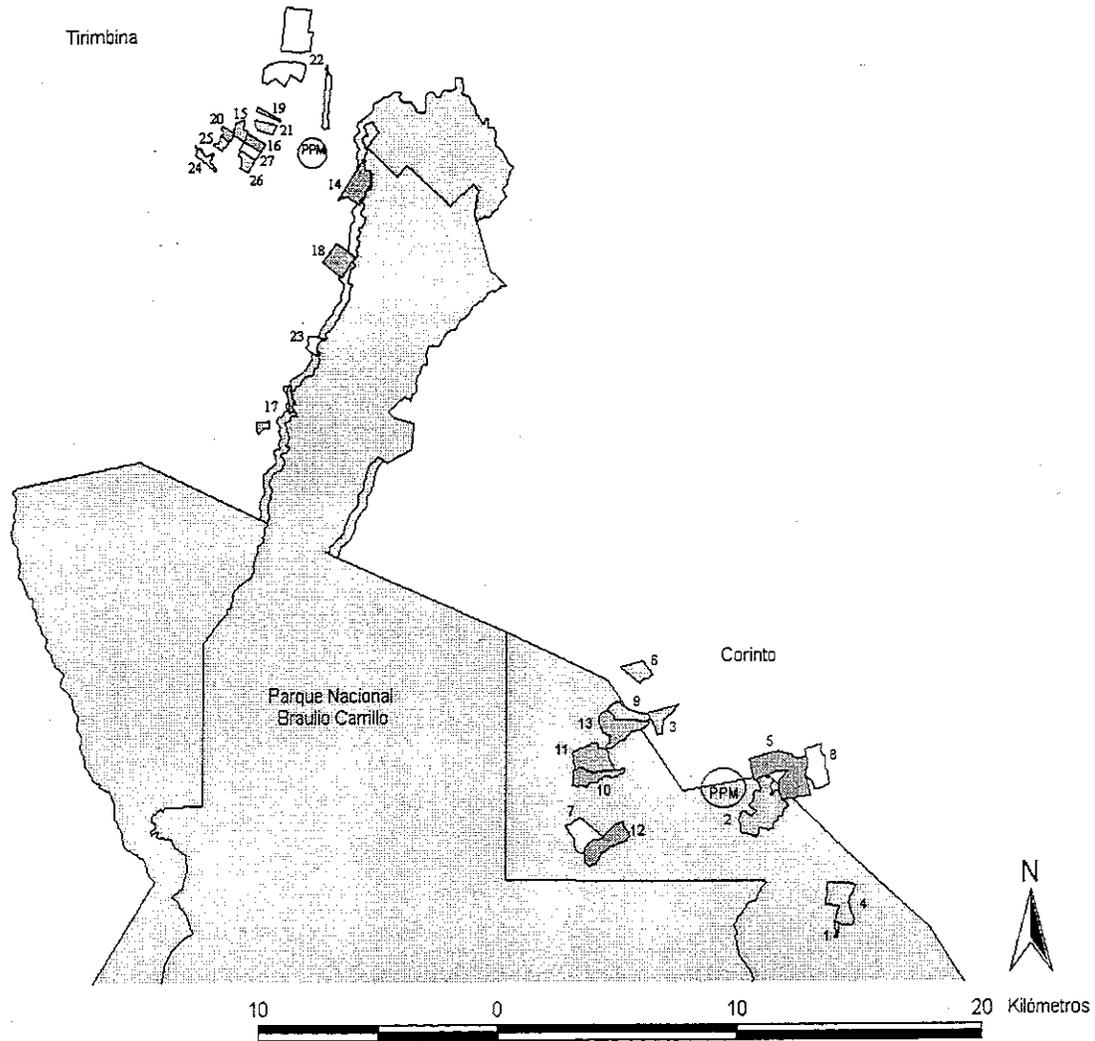


Figura 3. Ubicación de las fincas privadas con bosques con manejo sostenible o de protección absoluta en las zonas de Tirimbina y Corinto, Costa Rica. Los números se refieren al propietario según el Anexo 11.

2. Medianos propietarios de fincas:

Son aquellos propietarios de fincas cuya superficie se encuentra de 101 a 300 hectáreas. Las actividades económicas que se desarrollan están asociadas a la ganadería y agricultura. La economía de la finca permite al grupo familiar subsistir con sus sistemas de producción, desarrolla también actividades forestales como la reforestación, manejo o protección del bosque, mediante mecanismos como el pago de servicios ambientales o la venta de madera de plantaciones por adelantado, con el objetivo de generar ingresos adicionales.

3. Grandes propietarios de fincas:

El área de estas fincas es mayor a 300 hectáreas y en su totalidad están dedicadas a diversas actividades productivas relacionadas con la industria agrícola y ganadera. La gran mayoría de los propietarios residen en el Valle Central y combinan sus actividades económicas o profesionales. Su interés es principalmente aprovechar oportunidades para incrementar sus ingresos totales, por lo que muestran gran preferencia por el manejo del bosque, la protección de bosques y la reforestación (Miranda *et al.* 1999).

Tamaño del bosque:

Se dividió en tres categorías según el área de bosque, los pequeños propietarios de bosque son los que tienen un área menor o igual a 30 hectáreas; los medianos son aquellos cuya superficie se encuentra entre 30 a 100 hectáreas y dentro de la clasificación de grandes propietarios se ubicaron aquellos con áreas de bosques mayor a 100 hectáreas.

5.2.3. Finca experimental de Tirimbina Rain Forest Center

Localización:

La finca "Tirimbina Rain Forest Center" está ubicada en el Cacerío de Tirimbina, Distrito Segundo La Virgen, del Cantón Décimo Sarapiquí, Provincia de Heredia, Costa Rica. Geográficamente se ubica a 10°25' latitud norte y 84°47' longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 160 y 220 m (Quiros y Finegan 1994) (Figura 4).

Vegetación clima y suelo:

La finca es un mosaico de tierra cultivada (pimienta, coco, caucho), bosque primario aprovechado y bosque secundario (Delgado 1995). Un estudio realizado por Delgado *et al.* (1997) indica que la especie más abundante en 0,8 ha fue *Ferdinandusa panamensis* seguida de *Pentaclethra maculoba*, *Euterpe precatoria*, *Protium ravenii*, *Licaria sarapiquensis*, *Socratea exorrhiza*, *Psychotria elata*, *Cyathea microdonta*, *Laetia procera* y *Warscewiczia coccinea*.

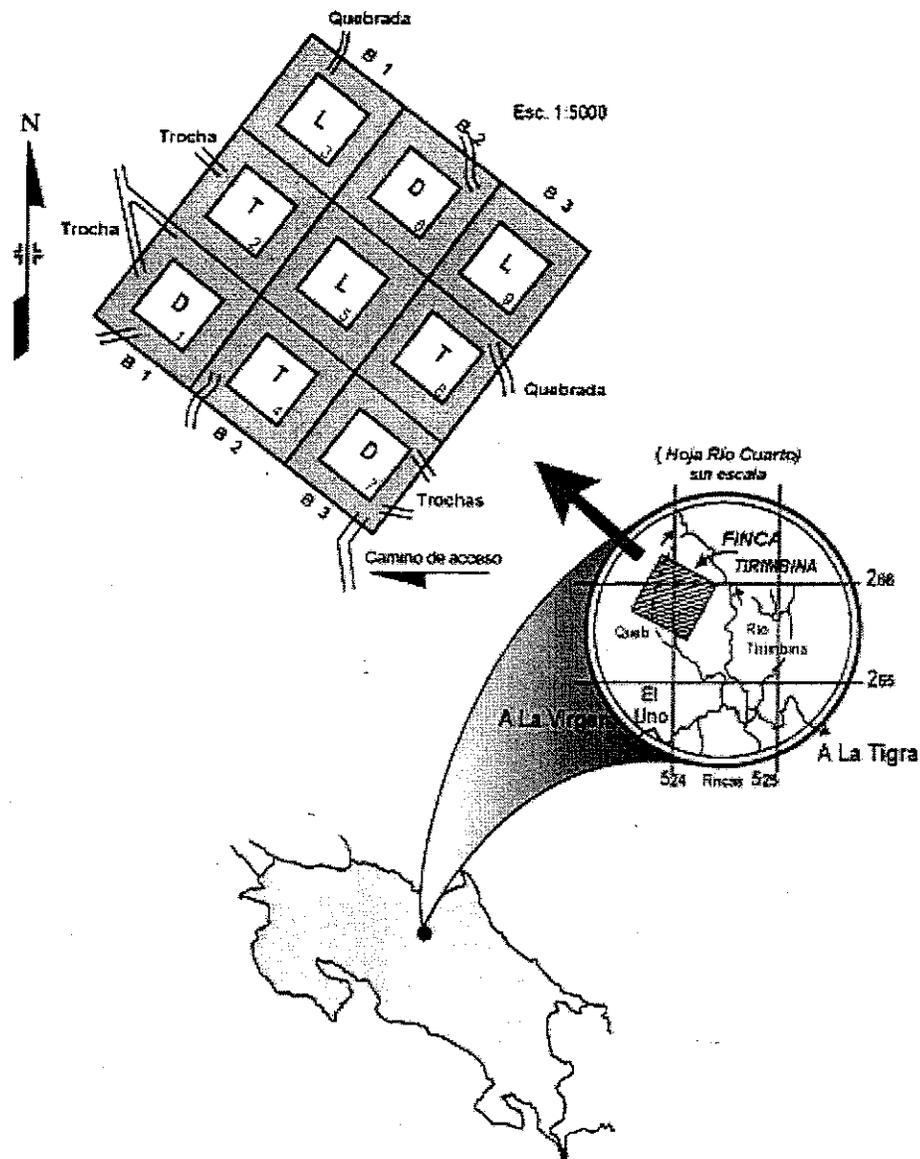


Figura 4. Ubicación de las parcelas permanentes de muestreo en la finca "Tirimbina Rain Forest Center", La Virgen de Sarapiquí, Heredia. T: Parcelas testigo; L: Parcelas con aprovechamiento y un tratamiento silvicultural de Liberación y Refinamiento Parcial de árboles y D: Parcelas con aprovechamiento y un tratamiento silvicultural de dosel protector.

El clima es tropical muy húmedo con una temperatura promedio anual de 24,5°C con máximas y mínimas de 26,2°C y 23,4°C. La precipitación promedio anual es de 4250 mm al año. Se presenta típicamente una época menos lluviosa que comprende los meses de enero, febrero, marzo y abril (Quirós y Finegan 1994). La finca se encuentra en la transición entre el bosque muy húmedo premontano transición a basal (bmh-P) y el

bosque muy húmedo tropical (bmh-T), según el sistema de zonas de vida de Holdridge (1982).

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 son de origen volcánico, meteorizados, oxisoles, sobre roca andesítica y rhyolítica. Son suelos profundos, arcillosos, de buen drenaje y derivados de basalto. El pH es de 4,0 y la saturación de aluminio es alta, variando entre 60 y 90%, bajo el bosque primario aprovechado (Manta 1988).

Se han establecido tres consociaciones de suelos en el bosque primario (Mata 1997, citado por Delgado *et al.* 1997):

Consociación Tirimbina Parte Alta: constituye el 8% del área, geográficamente se presenta en las partes altas de las colinas con una pendiente por lo general de menor a 15%.

Consociación Tirimbina Parte Media: ocupan un 62% del área y se presentan en las laderas de los interfluvios, con pendientes entre 15 y 60% (promedio de 41%) siendo la unidad más extensa.

Consociación Tirimbina Parte Baja: representa el 30% del área total, se encuentra en las partes bajas de las laderas que son cortadas por las quebradas, presenta pendientes de más del 60%.

Descripción del bosque:

El bosque puede clasificarse como primario intervenido, debido a que presenta perturbación ocasionada por la explotación selectiva en 1962 de especies de alto valor. Consta de 80 hectáreas, de las cuales 29,16 ha se encuentran bajo experimentación silvícola, en un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos. El área experimental consiste de 9 bloques de tamaño de 1 ha con una faja de amortiguamiento de 40 m de ancho. El área total de cada parcela es de 3,24 ha (180 x 180 m).

Estos bosques están dominados por una especie, la comercial *Pentaclethra maculosa* (Willd.) Kuntze, que representa alrededor del 31% del área basal con 14 a 15% del total de los individuos en cualquier tratamiento.

En las parcelas "testigo" (T) aparece *Ferdinandusa panamensis*, especie del subdosel y no comercial, además de *Laetia procera*, *Dendropanax arboreus*, *Protium ravenii* y la palma *Welfia georgii*. En las parcelas del tratamiento de "liberación con refinamiento parcial" (L), la segunda especie en importancia es la palma *W. georgii* seguido según su peso ecológico las palmas *Iriartea gigantea*, *Enterpeprecatoria exhorrida* y *Socratea exhorrida* y las arbóreas *P. ravenii*, *Vochysia ferruginea* y *Miconia guianensis*. En el tratamiento "dosel protector" (D), la comercial *V. ferruginea* posee el segundo lugar en dominancia, otras especies importantes son: *P. ravenii*, *C. arborea* y las palmas *W. georgii*, *I. Gigantea* y *Enterpeprecatoria exhorrida* (Camacho y Finegan 1997).

En cuanto al crecimiento diamétrico se tiene incrementos medianos entre 1 y 3 mm año⁻¹ para el grupo de individuos de especies no comerciales, para el grupo de especies comerciales y el grupo de futura cosecha los incrementos medianos anuales están entre 4 y 9 mm año⁻¹ (Camacho y Finegan 1997). Los resultados de incrementos representan el análisis de dos períodos de 1990–1993 y 1993–1996.

5.2.4. Finca experimental de Los Laureles de Corinto.

Localización:

Esta área experimental se ubica en la localidad de Los Laureles de Corinto, en la zona Atlántica de Costa Rica, pertenece al distrito de Guápiles, Cantón de Pococí, en la Provincia de Limón (Figura 3).

Vegetación clima y suelo:

Dentro de las especies que cuentan con mayor número de individuos por hectárea figuran: *Pentaclethra macroloba*, *Brosimum guianense*, *Carapa guianensis*, *Cecropia insignis*, *Colubrina spinosa* y *Iriartea deltoidea* con más de 25 individuos por hectárea en al menos una parcela¹.

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982), el área se encuentra dentro del bosque muy húmedo Tropical (bmh-T). La precipitación anual es de 4000 mm, y la temperatura media mensual de 23,7°C (Quirós 1998).

¹ Base de datos. 1999. Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. PROSIBONA-CATIE.

Descripción del bosque:

Esta área cuenta con 41 ha de bosque inalterado, donde se encuentran nueve parcelas permanentes de medición (PPM) de una hectárea, con un borde de 40 m resultando bloques de 3,24 ha. Dentro de cada parcela se instalaron 25 subparcelas de 20x20 m. Los bloques 2, 7 y 8 se dejaron sin "intervención" (bosque primario sin intervenir); en los bloques 5, 6 y 9 y en sus alrededores se hizo un "aprovechamiento" de madera rolliza para aserrío y para los bloques 1, 3 y 4 también se realizó un "aprovechamiento forestal y tratamiento silvícola". Unas 30 ha quedaron bajo la condición de bosque primario intervenido; en 20,3 ha de esa misma área se realizó el tratamiento silvicultural post-cosecha (Quirós 1998).

5.3. Estimación de biomasa y carbono

5.3.1. Marco general del estudio

Con el propósito de medir la biomasa se seleccionaron dos fincas en donde se había realizado un aprovechamiento forestal; estas pertenecen al Sr. Rogelio González y al Sr. Mario Alvarado; en esta última se realizó la mayor parte del muestreo. Ambas están ubicadas en Horquetas de Sarapiquí como zona intermedia a las áreas de estudio.

Con un análisis previo de las PPM de las áreas experimentales de Tirimbina y Corinto se identificaron las especies dominantes según el criterio de área basal por tratamientos silviculturales. Luego se eligió las especies en las fincas mencionadas anteriormente, en caso de no existir un ejemplar de muestra se pasaba a la segunda especie más importante según el área basal. Una vez seleccionados los árboles objeto de muestreo, se determinó la biomasa total, la fracción de carbono y la gravedad específica.

Para las PPM de las áreas experimentales de La Tirimbina y Los Laureles de Corinto se estimó el incremento volumétrico y la biomasa total. Con esta información se estimó la tasa de fijación de carbono en las áreas de bosque de las fincas que contaban con inventario forestal y censo comercial. Además, se calculó la cantidad de biomasa total y carbono almacenado a partir de 10 cm de dap.

Esta información fue la base para realizar la valoración de los servicios ambientales en las fincas que están bajo el marco de pago de servicio ambiental (protección absoluta y/o manejo sostenible).

5.3.2. Selección de las especies de las parcelas permanentes de muestreo administradas por el CATIE

Con base en la información de las mediciones de las parcelas permanentes de muestreo (PPM) de las áreas de investigación de CATIE en Los Laureles de Corinto de Guápiles y La Tirimbina de La Virgen de Sarapiquí, se seleccionaron las especies a muestrear las cuales debían cumplir con las siguientes condiciones:

1. Especies que correspondan al 50% del área basal (AB) para cada una de las parcelas y por tratamiento de las áreas experimentales (Anexo 1 y 2).
2. De éstas especies se eligieron aquellas que se contaba con al menos un individuo que hubiera sido aprovechado en algunas de las dos fincas en que se realizó el muestreo de biomasa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies seleccionadas según el área basal, en las parcelas permanentes de muestreo de Tirimbina y Los Laureles de Corinto

Nombre científico	Nombre común	Corinto		Tirimbina	
		A.B. (m ²)	A.B. (m ² ha ⁻¹)	A.B. (m ²)	A.B. (m ² ha ⁻¹)
<i>Pentaclethra macroloba</i>	Gavilán	103.39	34.46	2.72	1.68
<i>Tapirira guianensis</i>	Cedro manteco	5.75	2.88	1.15	0.58
<i>Vochysia ferruginea</i>	Botarrama	0	0	6.26	2.27
<i>Carapa guianensis</i>	Caobilla	3.72	1.24	0.41	0.41
<i>Laetia procera</i>	Manga larga	0	0	22.70	7.69
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	Vainillo	0.86	0.82	0	0
<i>Miquartia guianensis</i>	Manú	0	0	16.14	5.38
<i>Inga alba</i>	Guabo	0	0	1.12	0.37
<i>Micropholis crotonoides</i>	Caimito	4.92	3.45	*0	0

A.B.: Area basal

5.3.3. Muestreo de árboles

El muestreo de árboles para medir biomasa, determinar la fracción de carbono y la gravedad específica estuvo sujeto a los siguientes criterios:

1. Cantidad de árboles que se cortaron y fueron aprovechados por FUNDECOR en las fincas seleccionadas para tal fin.
2. Identificación clara de la copa de cada árbol cortado en dos aspectos principalmente:
 - a) Las copas de los árboles de varias especies no deben estar superpuestas unas con otras.
 - b) La copa del árbol no debe estar quemada ni en proceso de descomposición.

Bajo estas condiciones se muestrearon siete especies para un total de 19 árboles en la medición de biomasa. Para la determinación de la gravedad específica se utilizó un total de 20 individuos (adicionando los anteriores) para un total de 8 especies y para los análisis de la fracción de carbono 23 individuos correspondientes a 9 especies. De este total, tres individuos eran árboles en pie como es el caso de *Micropholis crotonoides* (caimito) por lo que únicamente se obtuvo la fracción de carbono. La especie *Minquartia guianensis* (manú) se utilizó para estimar la fracción de carbono y la determinación de la gravedad específica. El resto de especies seleccionadas se utilizaron para la medición de biomasa, la determinación de la fracción de carbono y estimar la gravedad específica (Cuadro 6).

Cuadro 6. Especies seleccionadas en las fincas para medir biomasa y para determinar la fracción de carbono y la gravedad específica

Especie	Arboles muestreados		Objetivo
	Total	(%)	
<i>Carapa guianensis</i>	3	13	Biomasa*
<i>Inga coruscans</i>	3	13	Biomasa
<i>Laetia procera</i>	2	9	Biomasa
<i>Micropholis crotonoides</i>	3	13	Carbono
<i>Minquartia guianensis</i>	1	4	Fracción carbono /GE
<i>Pentaclethra macroloba</i>	4	18	Biomasa
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	1	4	Biomasa
<i>Tapirira guianensis</i>	3	13	Biomasa
<i>Vochysia ferruginea</i>	3	13	Biomasa
TOTAL	23	100	

(*) Medición de biomasa incluye GE y fracción de carbono; GE: Gravedad específica

En los siguientes acápite se detalla los análisis realizados para la fracción de carbono y la gravedad específica. Ambos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional.

5.3.3.1. Gravedad específica:

La gravedad específica se define como el peso de un bloque de madera secado al horno dividido por el peso de una cantidad igual de volumen de agua y es expresado en decimales (Panshin y Zeeuw 1970).

Las muestras para determinar la gravedad específica fueron tomadas de ramas gruesas, delgadas y del tocón; como la madera del fuste comercial ya había sido extraído del bosque se asumió en este caso que el valor de la gravedad específica en el fuste comercial es igual a la del tocón. El tamaño de las muestras fue de 5x5x15 cm utilizando las normas del ASTM. Para la gravedad específica se utilizó el método de Buoyancy o inmersión en agua destilada. El procedimiento fue el siguiente:

1. Se mantuvieron las muestras de tres a cuatro días en un horno a 75°C y a una presión de -15 Atm para obtener el peso seco al horno (g).
2. Luego se sellaron las muestras con parafina industrial y se obtuvo el peso de esta con parafina (g).
3. Con los dos pesos anteriores se calculó el peso de la parafina (g).
4. Este peso de la parafina (g) se convirtió a volumen (cm^3), dividiéndolo entre la gravedad específica de ésta (0.90 g cm^{-3}).
5. Luego se obtuvo el peso del sistema sin muestra (g), el cual estaba compuesto por una balanza ($\pm 0.001 \text{ g}$), un recipiente con 3 litros de agua destilada y una prensa para la muestra sumergida.
6. Se colocó la muestra sobre la prensa y se sumergió en el agua destilada (ésta no debe tocar las paredes del recipiente), luego se obtuvo el peso del sistema con muestra (g).
7. Con la diferencia de los dos pesos anteriores se calculó el peso del agua desplazada (g).

8. El peso anterior se convierte a volumen de agua desplazada (cm^3) dividiéndolo entre la gravedad específica del agua (1 g cm^{-3}).
9. Se calculó el volumen real de la muestra (cm^3) restándole al volumen obtenido anteriormente el volumen de la parafina.
10. Por último se calculó la gravedad específica (g cm^{-3}) con la siguiente fórmula:

$$GE = PSH \div VM_{sp} \quad [1]$$

Donde: GE.: Gravedad específica (g cm^{-3}); PSH: Peso seco al horno (g); VMsp: Volumen de la muestra sin parafina (cm^3)

El análisis de los datos se realizó con las pruebas de normalidad y homogeneidad para los valores. Si los resultados eran normales en la distribución de los residuos, así como la homogeneidad de las varianzas, se procedió a utilizar pruebas paramétricas con datos transformados y no transformados; en caso contrario, se utilizó pruebas no paramétricas con los datos no transformados como la Prueba de Kruskal-Wallis. Además se estimaron las estadísticas descriptivas como la desviación estándar y promedio.

5.3.3.2. *Fracción de carbono*

Las muestras para determinar la fracción de carbono fueron tomadas del tocón, ramas gruesas cerca del final del fuste comercial y de las ramas delgadas. Igual que en el caso anterior se asumió que la fracción de carbono del tocón era igual a la fracción de carbono del fuste.

Para los árboles en pie, las muestras para carbono se tomaron del fuste a una altura de 0,40 m del nivel del suelo utilizando una broca delgada para madera y sellando posteriormente el agujero con cera antihongos.

Para obtener la fracción de carbono en la biomasa, se utilizó el método de calorimetría (Eduarte y Segura 1999). A continuación se describe el procedimiento en dos fases (Segura 1997 con modificaciones):

Fase 1: Preparación de la muestra

Porcentaje de materia seca (%M.S.):

1. Las muestras fueron finamente trituradas en un molino con una malla de 0.1 mm.
2. Se pesaron las cajas petri junto con la tapa, se peso 1 g de muestra homogenizada y su repetición (PS). Luego se colocaron en un horno al vacío a 70 °C con una presión de 100 mm Hg por un lapso de 24 horas (PSH).
3. Se cálculo el porcentaje de materia seca con la siguiente fórmula:

$$\%MS = \left[\frac{PSH}{PS} \right] \times 100 \quad [2]$$

Donde: %MS: Porcentaje de materia seca; PSH: Peso seco al horno (g); PS: Peso seco (g)

Preparación de la bomba calorimétrica con muestra:

1. Se procedió primero a estandarizar la bomba calorimétrica (W = 2404.96).
2. Se colocó 1 g aproximadamente de muestra (en forma de pastilla) (PM) en una bomba de metal pesado
3. Se colocó 10 cm de hilo fino de platino y se admite oxígeno puro a presión (20 Atm).
4. Se sumergió la bomba en 2 l exactos de agua destilada y se inició el proceso.

Fase 2: Conversiones y cálculo de fracción de carbono

Energía liberada:

1. Se anotó la temperatura inicial (antes de la combustión) y en el momento de que ésta permanece constante se quema la muestra por el calentamiento momentáneo del hilo fino de platino. Luego se anota la temperatura final (después de la combustión) antes de que inicie el descenso.
2. Se midió la cantidad de alambre de platino que se quemó, luego se transformó a su equivalente en calorías (cada centímetro de alambre consumido de la bomba equivale a 2.3 cal g⁻¹).
3. Se obtuvo las calorías liberadas por la muestra con la siguiente fórmula:

$$E = [(TF - TI) \times W - ((10 - E_1) \times 2.3)] \div PM \quad [3]$$

Donde: E: Energía liberada(cal g⁻¹); TF: Temperatura Final (°C); TI: Temperatura inicial (°C); W: Constante de la bomba calorimétrica; 10: Longitud de alambre de platino (cm); E₁: Longitud de alambre consumido; PM: Peso de la muestra (g).

Calorías y fracción de carbono:

1. Las calorías² producidas se pasaron a Julios por gramo ($J\ g^{-1}$) multiplicando por 4,1868 J.
2. Los Julios por gramo se transformaron a moles de carbono dividiendo por la cantidad de energía requerida por una planta de $4,8 \times 10^5\ J\ mol^{-1}$ para fijar en moléculas orgánicas un mol de carbono (Hipkins 1984).
3. Estos moles de carbono se transformaron a gramos de carbono multiplicando por el peso molecular del carbono (12 g).
4. Por último se calculó la fracción de carbono fijada con la siguiente fórmula:

$$FC = (GC \div PM) \div MS(\%) \quad [4]$$

Donde; FC: Fracción de carbono; GC: Gramos de carbono (g); PM: Peso de la muestra (g); MS(%): Porcentaje de materia seca.

El análisis de la información se basó en estadística no paramétrica, una vez que se probaron los supuestos de normalidad en la distribución de los residuos, así como la homogeneidad de las varianzas se utilizó pruebas no paramétricas como la prueba de Kruskal-Wallis, con el fin de encontrar si existen diferencias estadísticamente de la fracción de carbono entre especies y entre el fuste y ramas, además de las estadísticas básicas. Para esto se utilizó el paquete estadístico SAS.

5.3.3.3. Medición de volumen y biomasa

Cada árbol se dividió en cuatro componentes: fuste comercial, ramas, tocón y troza no comercial, con el fin de obtener el volumen y biomasa de cada una. A continuación se detalla el procedimiento para la conversión de volumen a biomasa:

1. Fuste comercial:

- 1.1 Volumen comercial (V_c): se obtuvo de la base de datos de FUNDECOR y corresponde al volumen real (m^3) aprovechado comercialmente por cada árbol. No incluye tocón ni trozas defectuosas por pudriciones u otras causas.

- 1.2 Biomasa comercial: se estimó con la información de volumen comercial y la gravedad específica obtenida para el tocón. La ecuación es la siguiente:

$$B_c = V_c \times GE_{tc} \quad [5]$$

Donde: B_c : Biomasa comercial (t); V_c : Volumen comercial (m^3); GE_{tc} : Gravedad específica del tocón ($t m^{-3}$)

2. Ramas:

- 2.1 Volumen de ramas grandes (V_{rg}): corresponde aquellas ramas con un diámetro >11 cm, se obtuvo por los métodos de cubicación (Smallian y/o Huber) dependiendo de la posición de las ramas ya que en algunos casos no era posible obtener una medición del diámetro a cada metro de longitud.

- 2.2 Biomasa de ramas grandes: se obtiene a partir del volumen de las ramas grandes y de la gravedad específica.

$$B_{rg} = V_{rg} \times GE_{rg} \quad [6]$$

Donde: B_{rg} : Biomasa de ramas grandes (t); V_{rg} : volumen de las ramas grandes (m^3); GE_{rg} : Gravedad específica de ramas grandes ($t m^{-3}$)

- 2.3 Biomasa de ramas pequeñas: corresponde a las ramas con un diámetro <10.9 cm, se calculó directamente con el peso de las ramas pequeñas con ayuda de una balanza y del porcentaje de materia seca de los resultados del laboratorio.

$$B_{rp} = [P_{rp} \times MS(\%)] \div 100 \quad [7]$$

Donde: B_{rp} : Biomasa de ramas pequeñas (t); P_{rp} : Peso de ramas pequeñas (t); $MS(\%)$: Porcentaje materia seca

3. Tocón:

- 3.1 Volumen: se obtuvo con la fórmula de la Neiloida Truncada a partir del área basal de la parte superior y de la parte inferior del tocón y la altura del mismo. La ecuación de cálculo es:

² Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gr de agua 1°C (Brown y LeMay 1987).

$$V_{tc} = \left(\frac{h}{4} \right) \times \left[Ab + \sqrt[3]{A^2 b \times Au} + \sqrt[3]{A^2 u \times Ab} + Au \right] \quad [8]$$

Donde: V_{tc} : Volumen del tocón; Au : Area basal parte superior del tocón; Ab : Area basal parte inferior del tocón; h : Altura (m)

3.2 Biomasa: se obtiene con el volumen del tocón y la gravedad específica del mismo. La ecuación es:

$$B_{tc} = V_{tc} \times GE_{tc} \quad [9]$$

Donde: B_{tc} : Biomasa del tocón (t), V_{tc} : Volumen del tocón (m^3); GE_{tc} : Gravedad específica del tocón

4. Trozas no comerciales: corresponden a madera que no es comercializable por defectos naturales o por pudriciones por lo que no son comerciales, esto se presentó en algunos casos.

4.1 Volumen de troza no comercial: se obtuvo por la fórmula de Smalian que toma en cuenta los diámetros en el extremo grueso y en el extremo delgado de la troza así como la longitud de ésta.

$$V_{inc} = \left(d_1^2 + d_2^2 \right) \div (\pi \div 4) \times L \quad [10]$$

Donde: V_{inc} : Volumen de troza no comercial (m^3); d_1^2 : diámetro del extremo grueso de la troza (cm); d_2^2 : diámetro del extremo delgado de la troza; L : Longitud de la troza (m)

4.2 Biomasa de troza no comercial: se obtuvo a partir de la información de volumen (Ec. 10) y la gravedad específica. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$B_{inc} = V_{inc} \times GE_{tc} \quad [11]$$

Donde: B_{inc} : Biomasa de troza no comercial (t); V_{inc} : Volumen de la troza no comercial (m^3); GE_{inc} : Gravedad específica del tocón ($t\ m^{-3}$).

5. Volumen del fuste y/o biomasa del fuste: se obtiene sumando el volumen comercial, el volumen del tocón y el volumen de la troza no comercial. La biomasa se obtiene convirtiendo estos volúmenes a biomasa. Las ecuaciones resultantes son:

$$V_f = V_c + V_{tc} + V_{inc} \quad [12]$$

Donde: V_f : Volumen del fuste (m^3); V_c : Volumen comercial (m^3); V_{tc} : Volumen del tocón; V_{inc} : Volumen de troza no comercial (m^3)

$$B_f = B_c + B_{tc} + B_{inc} \quad [13]$$

Donde: B_f : Biomasa del fuste (t); B_c : Biomasa comercial (t); B_{tc} : Biomasa del tocón (t); B_{inc} : Biomasa de troza no comercial (t)

6. Biomasa total: se obtiene con la información de la biomasa del fuste, la biomasa de ramas grandes y de ramas pequeñas. Es decir:

$$B_t = B_f + B_{rg} + B_{rp} \quad [14]$$

Donde: B_t : Biomasa total (t); B_f : Biomasa del fuste (t); B_{rg} : Biomasa de ramas grandes (t); B_{rp} : Biomasa de ramas pequeñas (t)

5.3.4. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa total, volumen total y carbono almacenado

Los datos se graficaron para observar las tendencias de las variables y la posible presencia de observaciones extremas, luego se insertó la línea de mejor ajuste y el coeficiente de determinación (R^2) junto con el modelo.

Se probaron algunos modelos para estimar a partir del diámetro (dap), altura comercial, altura total, biomasa comercial y volumen comercial la cantidad de biomasa total por árbol. Por otra parte, se probaron modelos para estimar a partir del diámetro (dap), el volumen total, volumen comercial (Anexo 3) y el carbono almacenado. Los modelos probados fueron desarrollados por: Berkhout; Kopezky; Hohenadl-krenn; Husch; Spurr (1952); Toate; Meyer (1953); Bruce y Schumacher (1949), citados por Loestch y Haller (1973). Los demás modelos son transformaciones de los anteriores.

Tanto los modelos lineales, logarítmicos, cuadráticos, potenciales, exponenciales como las transformaciones se probaron utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS).

El modelo que mejor ajustó los datos se seleccionó con base en los siguientes criterios:

1. Lógica biológica del modelo
2. Coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajustado)
3. Coeficiente de determinación (R^2)
4. Coeficiente de variación (CV%)
5. Prueba F (Análisis de variancia): $Pr>F$ para el modelo y la prueba de significancia para cada parámetro ($Prob>|F|$).

También se probaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia mediante el análisis gráfico de los residuos de los modelos.

Con el propósito de comparar los valores reales de biomasa total con el valor simulado, se estimó ésta con la ecuación para bosques muy húmedo tropicales que utiliza el dap como variable de entrada Brown *et al.* (1989) y Brown (1992), citado por Brown (1997) respectivamente (Ec.15 y 16) y con los modelos obtenidos en esta investigación.

$$B = 13.2579 - 4.8945*(d) + 0.6713 * (d^2) \quad (R^2 = 0.90) \quad [15]$$

$$B = 21.297022 - 6.952649*(d) + 0.740300*(d^2) \quad (R^2 = 0.92) \quad [16]$$

Donde: B: Biomasa de un árbol individual (kg); d: Diámetro a la altura de pecho (cm)

5.3.5. Estimación de incrementos volumétricos y biomasa total en las parcelas permanentes de muestreo administradas por CATIE

5.3.5.1 Incrementos volumétricos

Las áreas experimentales de La Tirimbina y Los Laureles de Corinto, cuentan con un récord de mediciones de parcelas permanentes de muestreo (PPM) de 10 años (1988 a 1998) de diámetro a la altura de pecho (dap) y otras características. Sin embargo, no cuenta con datos de alturas por lo que fue necesario desarrollar un modelo que determine el volumen total a partir de la variable del dap. Esta ecuación fue generada en esta investigación a partir de la muestra de 19 árboles que se utilizó para medir biomasa.

El estudio del crecimiento volumétrico comprende los 10 años de medición de las parcelas (base de datos del Proyecto PROSIBONA-CATIE). Se obtuvo el volumen (Ec. 17) para cada uno de los árboles y del tratamiento para todas las parcelas. Luego se sumaron los volúmenes por parcela para calcular los incrementos volumétricos y se calculó un promedio para toda la serie de medición.

$$\ln(VTOT) = -7.16 + 2.16 \times \ln(d) \quad [17]$$

Donde: VTOT: Volumen total (m^3); Ln: Logaritmo natural; d: Diámetro a la altura de pecho (cm)

Con base en estos incrementos se realizó un análisis de variancia, con el propósito de encontrar posibles diferencias entre bloques y tratamientos para cada zona de estudio. Además, se efectuó la prueba de normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el programa SAS. Luego se graficó los incrementos volumétricos por zona y tratamiento agregando barras de error que representan la desviación estándar de los datos.

Para efectos de este estudio, las PPM con tratamiento de "liberación con refinamiento parcial" no fueron considerados ya que actualmente en Costa Rica no se realiza este tratamiento en los aprovechamientos forestales.

5.3.5.2 Biomasa total

Se determinó la biomasa total y por hectárea (Ec. 18) de las PPM (medición de 1998) utilizando la información de gravedad específica promedio para las especies muestreadas en este estudio y los volúmenes totales estimados anteriormente (Ec. 17).

$$BT = VT \times GE \quad [18]$$

Donde: BT: Biomasa total ($t \text{ ha}^{-1}$); VT: Volumen total ($m^3 \text{ ha}^{-1}$); GE: Gravedad específica promedio ($t \text{ m}^{-3}$)

Posteriormente, se calculó el carbono almacenado total y por hectárea para cada una de las PPM utilizando la fracción de carbono promedio de las especies muestreadas.

$$CA = BT \times FC \quad [19]$$

Donde: CA = Carbono almacenado total (t) ó por hectárea (tC ha⁻¹); BT = Biomasa total (t) ó por hectárea (t ha⁻¹) y FC = Fracción de carbono promedio.

5.3.6. Estimación de biomasa total, carbono almacenado y tasa de fijación de carbono en fincas privadas

Para el cálculo de la biomasa total de las fincas, se utilizó la base de datos de los inventarios forestales realizados en parcelas y del censo forestal³ del área efectiva del bosque para 10 fincas que contaban con esta información.

Se estimó la biomasa de fuste (Ec. 20) por árbol utilizando los registros de volúmenes de fuste del inventario forestal y censo comercial y la información de la gravedad específica de las especies muestreadas e información de literatura. Luego se obtuvo la biomasa total por árbol (Ec. 21).

$$bfuste = VF \times GE \quad [20]$$

Donde: bfuste: Biomasa de fuste (t árbol⁻¹); VF: Volumen de fuste (m³ árbol⁻¹); GE: Gravedad específica (t m⁻³)

$$\ln(BT) = 0.70 + 0.81 \times \ln(bfuste) \quad [21]$$

Donde: BT: Biomasa total (t árbol⁻¹); Ln: logaritmo natural; bfuste: Biomasa de fuste (t árbol⁻¹)

La cuantificación de carbono almacenado se realizó por árbol, a partir de la estimación de la fracción de carbono de las especies muestreadas y el promedio de éstas para las especies que no se tenía información (Ec. 19).

Para estimar la cantidad de biomasa total de las fincas fue necesario realizar los siguientes cálculos:

1. Con base en el dap mínimo reportado en el censo forestal se establecieron dos clases diamétricas (árboles menores y mayores a este dap).
2. Luego en el inventario forestal se procedió a calcular el porcentaje de biomasa para cada clase diamétrica (Ec. 22).

³ Información suministrada por FUNDECOR, 1999.

$$\% B_i = \frac{B_i}{B_t} \times 100 \quad [22]$$

Donde: %B_i: Porcentaje de biomasa de la clase diamétrica; B_i: Biomasa de árboles de la clase diamétrica (t); B_t: Biomasa total (t)

3. Luego se estimó la cantidad de biomasa total del censo forestal, asumiendo que en este censo la cantidad de biomasa total para los árboles menores corresponde al mismo porcentaje de biomasa estimado en el inventario (Ec. 23).

$$B_i = \frac{B_j \times \% B_i}{\% B_j} \quad [23]$$

Donde: B_i: Biomasa de clase diamétrica menor (t); B_j: Biomasa de clase diamétrica mayor; %B_i: Porcentaje de biomasa de clase diamétrica menor; %B_j: Porcentaje de biomasa de clase diamétrica mayor

4. Para obtener la biomasa total a partir de 30 cm dap se sumó la biomasa estimada de la clase inferior y superior.
5. Por otra parte, para obtener la biomasa total de árboles mayores a 10 cm dap, se utilizó los datos de biomasa de la clase diamétrica de 10 a 30 cm dap de tres fincas. Se obtuvo el porcentaje de la biomasa de esta clase diamétrica con respecto al total. Para estas tres fincas se utilizó el porcentaje obtenido en ellas mismas y para las restantes siete el promedio de las anteriores.
6. Finalmente se obtuvo la biomasa total y el carbono almacenado por hectárea de las fincas con respecto al área efectiva en la que se realizó el censo comercial.

El flujo físico de carbono fijado anualmente o la tasa de fijación anual de carbono (TFC), se calculó mediante la información de incrementos del volumen total (IMA) de las PPM administradas por CATIE, se utilizó los promedios de todas las especies de la gravedad específica y de la fracción de carbono (Ec. 24).

$$TFC = IMA \times GE \times FC \quad [24]$$

Donde: TFC: Tasa de fijación de carbono (t ha⁻¹ año⁻¹); IMA: Incremento medio anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹); GE: Gravedad específica (t m⁻³); FC: Fracción de carbono

En las fincas sometidas a manejo sostenible de bosques, se trabajó bajo el supuesto de que el bosque meta de cada una tendrá los incrementos volumétricos de las PPM con tratamientos silviculturales de las áreas experimentales administradas por CATIE. Así mismo, las fincas ubicadas en la zona de Corinto se utilizó los incrementos de las PPM con el tratamiento de “aprovechamiento” y “aprovechamiento más tratamiento silvicultural”, y en el área experimental de Tirimbina el incremento de las PPM del tratamiento de “liberación con refinamiento parcial”.

Para las fincas con protección absoluta de bosques y de las cuales no se poseía registros de inventarios ni censos comerciales, se asumió que tanto el incremento volumétrico como la biomasa total era igual al estimado para las PPM de las áreas experimentales de Tirimbina y Corinto. Los tratamientos utilizados fueron el “testigo” para Tirimbina y “sin intervención” para la zona de Los Laureles de Corinto.

5.4. Análisis financiero para las actividades productivas desarrolladas en las fincas

5.4.1. Encuesta: Nivel productivo de la finca

En esta segunda fase, se recopiló la información productiva de cada una de las fincas. Se dio el enfoque de finca, ya que es considerada por el propietario como la unidad de toma de decisiones, que es organizada para cumplir los objetivos del mismo (Ruthenberg 1980). Esta unidad productiva se expresa en términos económicos, contiene una combinación de actividades que dan herramientas para distribuir el riesgo de la producción y el mercadeo, producir alimentos o aumentar el capital. Por lo tanto, el propietario decide realizar una actividad integrando los recursos que posee el sistema.

Se realizó un estudio detallado, desde la perspectiva económica de finca, a través de la encuesta (Anexo 4), en cada una de las fincas que fueron seleccionadas de la lista marco. Esta entrevista se realizó al propietario de la misma, con el objetivo de identificar todas las actividades productivas, incluyendo la forestal, que generen algún ingreso.

Una vez obtenida la información de las fincas se procedió a caracterizar al propietario según los siguientes aspectos:

- a) Tamaño de la finca (hectáreas)
- b) Tamaño del bosque (hectáreas)
- c) Principal fuente de ingreso
- d) Vive fuera o dentro de la finca
- e) Tipo de manejo forestal: para protección absoluta o manejo sostenible

5.4.2. Distribución de las áreas por finca y por zona según actividad

En las fincas de cada zona (Tirimбина y Corinto) se procedió a dividir porcentualmente la superficie total para cada una de las actividades productivas que se realizan dentro de la misma. Con esto se logró identificar los sistemas de producción que se desarrollan en cada una de las zonas y agrupar así por su afinidad.

5.4.3. Identificación de costos y beneficios de cultivos por finca

Con la información recopilada, se determinó el flujo de caja de la finca calculando el costo operativo de la misma (Ec. 25), respecto a la compra de insumos y mano de obra externa; y el beneficio bruto (Ec. 26), que corresponde al efectivo recibido de la venta de los productos en el mercado por cada actividad productiva. Se utilizaron precios constantes por hectárea y para el año de vigencia; es decir netos de inflación.

$$CO = \sum (Q_i \times P_i) \quad [25]$$

Donde: CO: Costos operativos de la finca; Σ : Sumatoria; Q_i: Cantidad de insumos y mano de obra; P_i: Precio de insumos y mano de obra

$$BB = \sum (Q_j \times P_j) \quad [26]$$

Donde: BB: Beneficio bruto; Σ : Sumatoria; Q_j: Cantidad de producto j; P_j: Precio de venta del producto j

5.4.4. Análisis financiero por grupo de actividades productivas

El análisis se elaboró por grupos afines de actividades productivas de las fincas y por zona. Se calculó la rentabilidad anual de la explotación con base en indicadores financieros como: el beneficio neto familiar (BNF) obtenido a partir de la diferencia del BB y los CO por sistema productivo y para toda la finca y la relación beneficio-costo (B/C).

$$BNF = BB - CO \quad [27]$$

Donde: BNF: Beneficio neto familiar; BB: Beneficio bruto; CO: Costos operativos de la finca

$$B/C = \frac{BNF}{CO} \quad [28]$$

Donde: BNF: Beneficio neto familiar; BB: Beneficio bruto; CO: Costos operativos de la finca; B/C: Relación beneficio-costo

5.4.5. Análisis financiero para las áreas de bosques con pago de servicios ambientales

El análisis se realizó para un ciclo de corta de 15 años tanto en las áreas de bosque con protección absoluta como los bosques de manejo sostenible. En el caso de los bosques con este último tipo de manejo se asumió que en el año cero el propietario recibe un ingreso por madera y en el año uno recibe el primer desembolso que corresponde al PSA. Para los bosques con protección absoluta los primeros cinco años recibe ingresos por concepto de PSA.

Se asumió que los ingresos o beneficios por concepto de la venta de madera rolliza en el bosque (pie) son de $\approx 81\,446 \text{ ha}^{-1}$, que corresponden a los ingresos del área experimental de La Tirimbina (Quirós y Gómez 1998).

Se consideró además, que los propietarios tienen un beneficio monetario, que corresponde al pago de servicios ambientales, el cual consiste en $\approx 94\,000 \text{ ha}^{-1}$ para la categoría de manejo sostenible durante cinco años y en desembolsos de 50% para el primer año, 20% en el segundo año y de 10% para los próximos tres años. Para el pago de servicios ambientales de protección absoluta de bosques, el monto corresponde a $\approx 60\,000 \text{ ha}^{-1}$ distribuidos en cinco años y desembolsados en cuotas de $\approx 12\,000 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

La tasa de actualización empleada fue del 7%, que representa la tasa real de descuento (neta de inflación), se calculó con base en la tasa pasiva de interés bancario al mes de noviembre, como indicador de la tasa nominal (17%) y descontando la inflación (9%) acumulada hasta el mes de octubre (Ec. 29).

$$TRD = \left[\frac{1+TN}{1+TI} - 1 \right] \times 100 \quad [29]$$

Donde: TRD: Tasa real de descuento; TN: Tasa nominal; TI: Tasa de inflación

La información sobre los costos de mantenimiento del bosque, los cuáles se refieren a la mano de obra en la limpieza de carriles y trochas, se obtuvo de la encuesta.

Los costos de asistencia técnica y administrativos se refieren al cobro de FUNDECOR de un 50% del monto del pago de servicio ambiental durante cinco años para los bosques con manejo forestal, y para las áreas de bosque con protección absoluta, la Fundación cobra un 20% para el primer año y un 10% los próximos cuatro años, del monto del pago de servicio ambiental. Estos recursos se utilizan para realizar actividades como son los tratamientos silviculturales, estudios técnicos, visita técnica, regencias forestales, elaboración de planos catastrados e inscripción de fincas al registro público (en casos que lo requieran), trámites con la administración forestal del Estado y FONAFIFO para otorgar los permisos de corta y extracción de madera, así como el pago de servicios ambientales⁴.

Para los cálculos en dólares se utilizó el tipo de cambio para el último día del mes de septiembre de 1999 que fue de 1 US\$ = ₡ 293.

Para evaluar el manejo forestal y la protección del bosque se utilizó los indicadores financieros del valor actualizado neto (Ec. 30) y la relación beneficio-costo (Ec. 31).

$$VAN = \sum (BB - CO)(1+i)^{-n} \quad [30]$$

Donde: VAN: Valor actualizado neto; BB: Beneficio bruto; C: Costos operativos; Σ : Sumatoria; i: Tasa de actualización; n: número total de años del período

$$B/C = \left(\sum BB(1+i)^{-n} \right) \div \left(\sum CO(1+i)^{-n} \right) \quad [31]$$

Donde: B/C: Relación beneficio-costo, BB: Beneficio bruto; C: Costos Operativos; Σ : Sumatoria; i: Tasa de actualización; n: número total de años del período

⁴ Comunicación Personal. 1999. Pedro González, MBa. Director de Operaciones, FUNDECOR, Sarapiquí, Heredia.

5.5. Determinación del monto a pagar para el pago de servicios ambientales

La determinación del monto a pagar por el servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono se desarrolló con base en el "*costo de oportunidad*"; que es el máximo valor de otros productos que hubieran podido generarse, si no se hubiesen utilizado los recursos para producir el bien referido, en este caso, los servicios ambientales.

Para hallar el costo de oportunidad será necesario, determinar los costos implícitos, los cuales corresponden al costo de oportunidad de utilizar un recurso productivo que ya es propiedad del productor. En este caso los costos implícitos fueron dejar el bosque con y sin pago de servicio ambiental, dedicar las áreas abandonadas a regeneración de bosques para posteriormente ser sometidos al régimen forestal o dedicarlos a otras actividades productivas.

Para estimar el monto mínimo y máximo a pagar por los servicios ambientales se utilizó la rentabilidad de las diferentes actividades productivas para cada zona en estudio como fueron el cultivo de palmito, la ganadería de carne, ganadería de leche y la producción de bienes y la protección absoluta del bosque.

Además, para hacer una aproximación al valor del servicio de fijación y almacenamiento de carbono se utilizó el valor de importancia relativa establecido en un 18% con base en entrevistas a expertos en los temas de agua, biodiversidad, carbono y belleza escénica, para los bosques de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica realizado por Otarola y Venegas (1999).

5.5.1. Análisis de sensibilidad

Con el propósito de evaluar los riesgos asociados al pago de servicios ambientales se realizó un análisis de sensibilidad utilizando varios escenarios, a saber:

Escenario 1: Variaciones en la tasa de descuento

Se utilizó cuatro tasas de descuento, 5, 7, 10 y 12% en las áreas de bosque con pago de servicios ambientales para manejo sostenible y protección absoluta de bosques. Posteriormente se determinó los indicadores financieros de VAN anualizados y B/C.

Escenario 2: Variaciones en los costos de mantenimiento y la asistencia técnica

Se trabajó con la tasa de descuento real de 7% para el mismo ciclo de corta y se asumió que los costos de mantenimiento y asistencia técnica varían de acuerdo al PSA para manejo sostenible de bosques:

- a) Aumento los costos de mantenimiento y asistencia técnica en un 25%.
- b) Aumento los costos de mantenimiento y asistencia técnica en un 50%.
- c) Disminuye los costos de mantenimiento en 25% y la asistencia técnica aumenta en 25%.
- d) Disminuye los costos de mantenimiento en 25% y la asistencia técnica se mantiene.

Pago de servicio ambiental de protección absoluta de bosques:

- a) Aumento los costos de mantenimiento y asistencia técnica en un 25%.
- b) Aumento los costos de mantenimiento y asistencia técnica en un 50%.
- c) Disminuye los costos de mantenimiento en 25% y la asistencia técnica se mantiene igual.
- d) No hay costos de mantenimiento ni asistencia técnica.

Escenario 3: Con y sin pago de servicios ambientales:

El supuesto principal de que las áreas de bosque con PSA para manejo sostenible reciben pagos del año uno al año cinco, una segunda opción es que recibe pagos durante todo el período (15 años) y una última opción es que no reciben ningún pago. De igual manera, para las áreas de bosque que están bajo el pago de servicio ambiental de protección absoluta se presentaron varias alternativas; reciben pagos del año 0 al año 4, una segunda opción es recibir pagos durante todo el ciclo de corta y por último no recibir ningún pago.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Biomasa y carbono en árboles estudiados

6.1.1. Gravedad específica

La gravedad específica promedio de la madera de ocho especies provenientes de un bosque natural osciló entre 0.56 - 0.69. Las especies que presentaron la gravedad específica más alta fueron *L. procera* y *M. guianensis*, superando en un 23% a *V. ferruginea*. Por lo tanto, para este tipo de bosques, en condiciones similares de estructura y composición de especies, podría utilizarse una gravedad específica promedio de 0.63, la cual fue obtenida en este estudio.

Por componentes del árbol, el valor más alto de gravedad específica se encontró en fuste, siendo la mayor en *L. procera* seguido de *I. coruscans* y *M. guianensis*; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre especies, ni entre componentes del árbol ($P > 0.05$) (Cuadro 7, Anexo 5). Esto podría ser debido al tamaño de la muestra, ya que es pequeña y no representa la totalidad de las especies de estos bosques, por lo tanto, no se puede concluir que estas diferencias no existan.

Cuadro 7. Gravedad específica promedio para fuste y ramas de ocho especies forestales de bosque natural

Nombre científico	Gravedad específica (t m ⁻³)					Referencia
	Fuste	n	Rama	n	Promedio	
<i>C. guianensis</i>	0.60 (0.03)	2	0.66 (0.04)	4	0.64 (0.05)	0.42-0.72 a, e, f
<i>I. coruscans</i>	0.70 (0.02)	3	0.65 (0.06)	6	0.67 (0.06)	0.48-0.72 f
<i>L. procera</i>	0.72 (0.02)	2	0.66 (0.05)	3	0.69 (0.05)	0.48-0.60 a, d, f
<i>M. guianensis</i>	0.70 (0.02)	2	0.69 (0.01)	2	0.69 (0.01)	0.61-0.80 a, c, d, f
<i>P. macroloba</i>	0.59 (0.11)	4	0.61 (0.05)	5	0.60 (0.07)	0.48-0.96 a, b, f
<i>S. microstachyum</i>	0.60	1	0.58 (0.03)	2	0.59 (0.02)	
<i>T. guianensis</i>	0.62 (0.04)	3	0.53 (0.10)	4	0.57 (0.09)	0.36-0.84 f
<i>V. ferruginea</i>	0.50 (0.06)	3	0.63 (0.01)	2	0.56 (0.08)	
Promedio general	0.63 (0.09)		0.63 (0.07)		0.63 (0.08)	

n: Número de muestras; (): Desviación Estándar; a) Carpio (1992); b) González y González (1973); c) Jiménez (1967); d) Kukachka (1968); e) López *et al.* (1987); f) OFI 1997

1997). Igual situación se presentó con *T. guianensis*, cuya gravedad específica se ha reportado entre 0.36 y 0.84 (OFI 1997).

González y Fisher (1998), reportan para *V. guatemalensis* una gravedad específica media de 0.32 para la zona de Sarapiquí (Costa Rica); este es un valor bajo comparado con el valor obtenido en este estudio para *V. ferruginea* siendo especies de la misma familia. Estos mismos autores indican que este bajo valor podría ser consecuencia del efecto de la edad del árbol o dap, además de que las muestras provienen de madera nueva. Se debe tener en cuenta que las muestras en el presente estudio provienen de árboles maduros y con un dap \geq 60 cm. Siendo el estado de madurez de la madera uno de los factores influyentes en la gravedad específica es de esperar que los valores encontrados estén por arriba de los mínimos reportados.

6.1.2. Fracción de carbono

La fracción de carbono presente en la biomasa para las especies fue en promedio de 0.46 incluyendo el fuste y las ramas. El mayor porcentaje de carbono se presentó en el fuste (46.4%), en las ramas gruesas y delgadas se encontró un 45.5% (Anexo 6). Sin embargo, estadísticamente no se encontraron diferencias entre especies ni entre componentes del árbol ($P > 0.05$) (Cuadro 8).

La especie que presentó en promedio el mayor porcentaje de carbono en la biomasa fue *P. maculosa*, superando en un 10% a *M. crotonoides*, el cual presentó el menor valor.

En este estudio se cumple la relación de que la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1 (50%) (Ciesla 1996; IPCC 1996). Como se puede observar para el total de los árboles el porcentaje en la biomasa total es aproximadamente 46%.

Solíz (1998), encontró una fracción de carbono de 0.43 para 12 especies en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. En otro estudio realizado en bosques naturales de altura de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica, se estimó que un 43% de la biomasa es carbono almacenado (Segura 1997). También se reporta para sistemas silvopastoriles en Guápiles, Costa Rica un porcentaje de carbono en la biomasa de fuste

y ramas para *Acacia mangium* de 47 y 46% respectivamente, mientras que en *Eucalyptus deglupta* se presentó un 46% en fuste y ramas, ambas especies de dos años de edad (Andrade 1999).

Cuadro 8. Porcentaje de carbono en fuste y ramas por árbol para nueve especies forestales de bosque natural

No. Arbol	Nombre común	Dap (cm)	Carbono (%)		n	Carbono (%)
			Fuste	Ramas		
1	<i>C. guianensis</i>	85.0	44.78	44.73 (0.13)	2	44.76
2	<i>C. guianensis</i>	94.0	43.18	45.01 (1.12)	2	44.09
3	<i>C. guianensis</i>	105.0	46.77	44.65 (1.99)	3	45.71
	Promedio					44.85 (1.51)
4	<i>I. coruscans</i>	63.3	48.86	45.78 (0.07)	2	47.32
5	<i>I. coruscans</i>	67.0	48.08	44.95 (0.07)	2	46.52
6	<i>I. coruscans</i>	90.5	45.56	43.93 (0.18)	2	44.74
	Promedio					46.19 (1.74)
7	<i>L. procera</i>	65.0	49.67	45.98 (0.63)	2	47.82
8	<i>L. procera</i>	94.0	47.53	44.94	1	46.24
	Promedio					47.03 (1.87)
9	<i>M. crotonoides</i> *	50.0	39.42	--		39.42
10	<i>M. crotonoides</i> *	77.5	43.90	--		43.90
11	<i>M. crotonoides</i> *	90.0	45.08	--		45.08
	Promedio					42.80 (2.98)
12	<i>M. guianensis</i>	66.0	49.77	44.96	1	47.37 (3.40)
13	<i>P. macroloba</i>	77.0	46.15	45.83 (0.40)	2	45.99
14	<i>P. macroloba</i>	80.0	45.14	46.53	1	45.84
15	<i>P. macroloba</i>	95.0	49.00	49.39	1	49.20
16	<i>P. macroloba</i>	100.0	48.93	46.11	1	47.52
	Promedio					47.14 (1.64)
17	<i>S. microstachyum</i>	67.0	45.50	44.85 (1.34)	2	45.18 (1.02)
18	<i>T. guianensis</i>	66.7	48.44	42.35 (2.02)	2	45.39
19	<i>T. guianensis</i>	67.0	49.38	46.85 (1.25)	3	48.11
20	<i>T. guianensis</i>	76.5	42.33	46.13	1	44.23
	Promedio					45.91 (2.88)
21	<i>V. ferruginea</i>	82.0	41.90	45.57 (0.76)	2	43.73
22	<i>V. ferruginea</i>	84.0	48.58	47.90 (0.62)	2	48.24
23	<i>V. ferruginea</i>	86.0	49.21	42.64 (0.10)	2	45.93
	Promedio					45.97 (2.84)
	Promedio general		46.40 (2.90)	45.45 (1.60)		45.75 (2.27)
	Prob > CHISQ		0.2638	0.4590		

n: Tamaño de muestra; (*) Árboles en pie; () Desviación estándar.

6.1.3. Cantidad de biomasa y modelos

6.1.3.1. Modelos para estimar biomasa total y factor de expansión de biomasa

Debido a que la información que se recopila de los inventarios forestales es diámetro a la altura de pecho (dap) y la altura comercial, los volúmenes comerciales que se estiman incluyen trozas en mal estado, y únicamente es posible verificar en el momento del aprovechamiento. Por esta razón, se diseñó un modelo para estimar la biomasa total en función del volumen de fuste (sumatoria del volumen comercial, tocón y de troza no comercial) (Ec. 12), y la biomasa de fuste (Ec. 13).

Para las clases diamétricas entre 60 - 70 cm el promedio de la biomasa total por árbol (incluye fuste comercial, tocón y ramas) fue de 4.3 t, en las clases diamétricas de 71 - 80 cm el promedio fue de 5.4 t, para las siguientes clases de 81 - 90 cm, 91 - 100 cm y > 101 cm la cantidad de biomasa total promedio medida por individuo fue de 7.3, 9.06 y 11.98 t, respectivamente (Cuadro 9, Anexo 7).

La cantidad de biomasa estimada indica que existe una correlación relativamente alta con el dap; es decir a mayor dap mayor biomasa y viceversa, siempre y cuando la biomasa de ramas no se encuentre alterada por algún factor externo.

El factor de expansión de biomasa (FEB) promedio fue de 1.6, variando entre 1.3 y 2.2 y con un coeficiente de variación de 15%. La especie que presentó el FEB más alto es *T. guianensis* (2.0) siendo un 43% mayor que *L. procera* (1.4), la cual presentó el menor valor (Cuadro 9). Estos resultados concuerdan con los reportados por Brown (1984), quien en un estudio en bosque húmedo tropical encontró un FEB de 1.6.

Se encontró que en las especies estudiadas existe una baja relación del dap con la altura comercial y la altura total; ya que los puntos están dispersos y no mostraron una tendencia clara (Figura 5).

Cuadro 9. Biomasa de fuste, biomasa total y factor de expansión de biomasa para los árboles de siete especies de bosque natural

Nombre científico	dap (cm)	AT (m)	AC (m)	V _f (m ³)	B _f (t)	B _t (t)	FEB
<i>C. guianensis</i>	85	44	22.7	11.61	6.97	9.11	1.3
<i>C. guianensis</i>	94	26	18.5	9.61	5.76	7.76	1.3
<i>C. guianensis</i>	105	28	12.6	11.26	6.76	11.98	1.8
<i>I. coruscans</i>	63.3	20	11.8	3.29	2.30	3.94	1.7
<i>I. coruscans</i>	67	29	17.6	5.08	3.56	5.09	1.4
<i>I. coruscans</i>	90.5	30	14.3	8.27	5.79	8.86	1.5
<i>L. procera</i>	65	35	21.0	5.22	3.76	5.25	1.4
<i>L. procera</i>	94	43	16.8	12.64	9.10	13.02	1.4
<i>P. macroloba</i>	77	15	12.6	4.60	2.72	4.26	1.6
<i>P. macroloba</i>	80	25	16.8	8.60	5.07	6.71	1.3
<i>P. macroloba</i>	95	20	10.1	5.97	3.52	6.46	1.8
<i>P. macroloba</i>	100	18	14.3	9.03	5.33	9.00	1.7
<i>S. microstachyum</i>	67	31	20.0	4.43	2.66	4.82	1.8
<i>T. guianensis</i>	66.7	20	13.0	2.30	1.42	3.10	2.2
<i>T. guianensis</i>	67	24	12.6	3.44	2.13	3.76	1.8
<i>T. guianensis</i>	76.5	36	12.6	6.06	3.75	5.16	1.4
<i>V. ferruginea</i>	82	28	19.3	7.93	3.96	5.25	1.3
<i>V. ferruginea</i>	84	27	20.3	7.73	3.86	6.08	1.6
<i>V. ferruginea</i>	86	32	15.1	8.54	4.27	7.23	1.7
Promedio	81.3	28	15.9	7.14	4.35	6.68	1.6
Desviación Estándar	(12.9)	(8)	(3.6)	(2.98)	(1.92)	(2.72)	(0.24)
Coefficiente Variación (%)	15.9	28.6	22.6	41.7	44.1	40.7	15.0

AT: Altura total; AC: Altura comercial; V_f: Volumen de fuste (Ec.12); B_f: Biomasa de fuste (Ec.13); B_t: Biomasa total (Ec.14); FEB: Factor de expansión de biomasa

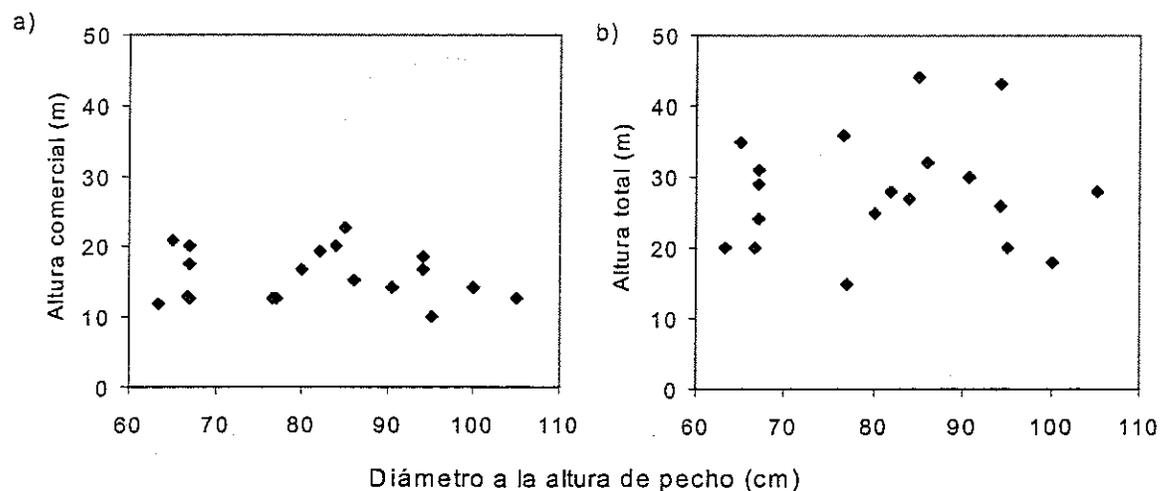


Figura 5. Relación dap vs. altura comercial y total para las especies estudiadas

Existe una alta correlación entre la biomasa total y las variables de dap, volumen y biomasa de fuste; esto indica que estas podrían utilizarse para estimar biomasa total; mientras que con la altura total y comercial se encontró una correlación baja (Cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson de la biomasa total con el dap, altura comercial, volumen y biomasa de fuste para las especies estudiadas (n=19)

Variable	Coeficientes de correlación de Pearson				
	dap	Altura total	Altura comercial	Volumen de fuste	Biomasa de fuste
Biomasa total	0.83**	0.47*	0.11 ^{NS}	0.92**	0.96**

* Significativo P<0.05; ** Significativo P<0.01; NS: No significativo

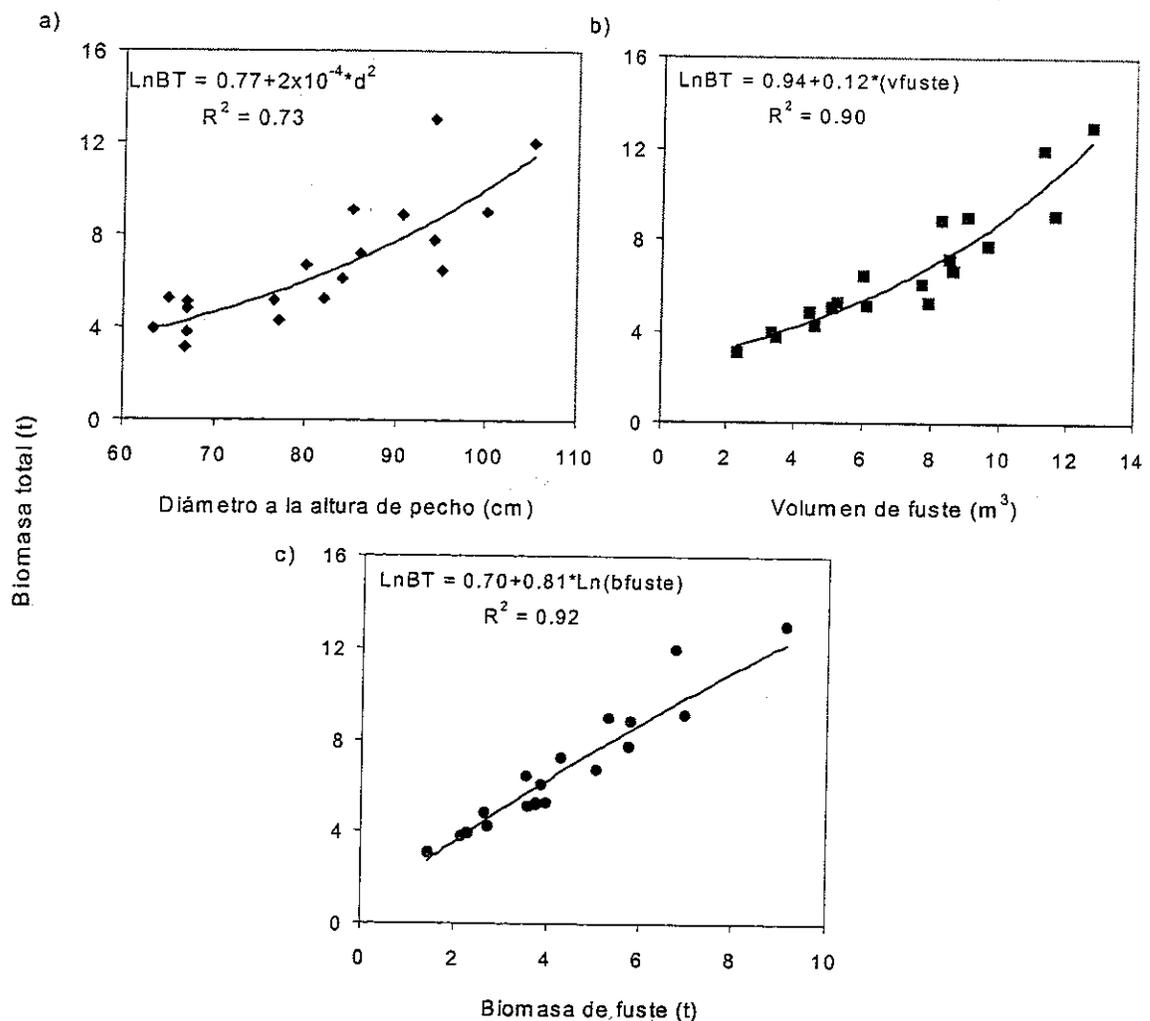


Figura 6. Relación de biomasa total para las especies muestreadas con a) Diámetro a la altura de pecho, b) Volumen de fuste (Ec. 12) y c) Biomasa de fuste (Ec. 13)

De los modelos de regresión probados para estimar biomasa total a partir de las variables independientes del dap, altura comercial, altura total, volumen y biomasa de fuste, 13 de ellos mostraron valores de R^2 y R^2 -ajustados menores a 0.59. Para los restantes 13 modelos los valores de coeficiente de determinación (R^2 y R^2 -ajustados) fueron de 0.60 a 0.92 y de 0.55 a 0.91, respectivamente. Los modelos que ajustaron mejor los datos presentaron valores por arriba de 0.73 para R^2 , y 0.71 de R^2 -ajustados, tanto los parámetros como el modelo fueron significativos ($P < 0.05$) (Cuadro 11, Anexo 8).

Cuadro 11. Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa total en función de la biomasa y volumen de fuste, diámetro a la altura de pecho, altura total y comercial

Ecuación	Modelo	R^2	R^2 -ajust	CV(%)
Ec. 21	$\text{Ln}(\text{BT}) = 0.70 + 0.81 \cdot \text{Ln}(\text{bfuste})$	0.92	0.91	6.4
Ec. 5 (Anexo 8)	$\text{Ln}(\text{BT}) = 0.94 + 0.12 \cdot (\text{vfuste})$	0.90	0.89	7.1
Ec. 9 (Anexo 8)	$\text{Ln}(\text{BT}) = 0.77 + 2 \times 10^{-4} \cdot (\text{d}^2)$	0.73	0.71	11.5
Ec. 21 (Anexo 8)	$\text{Ln}(\text{BT}) = -6.93 + 1.87 \cdot \text{Ln}(\text{d}) + 0.005 \cdot \text{Ln}(\text{d}) \cdot \text{ht}$	0.88	0.87	7.7
Ec. 26 (Anexo 8)	$\text{Ln}(\text{BT}) = -8.80 + 2.13 \cdot \text{Ln}(\text{d}) + 0.46 \cdot \text{Ln}(\text{hc})$	0.80	0.77	10.3

R^2 : Coeficiente de determinación; R^2 -ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CV(%): Coeficiente de variación; BT: Biomasa total (t); bfuste: Biomasa de fuste (t); vfuste: Volumen de fuste (m^3); d: dap (cm); ht: Altura total (m); hc: Altura comercial (m)

El modelo que mejor estima la biomasa total es un modelo logarítmico a partir de la biomasa de fuste con un R^2 y R^2 -ajustados muy altos, y un bajo coeficiente de variación; tanto el modelo como los parámetros fueron altamente significativos ($P < 0.05$) (Ec. 21). Este modelo explica más del 90% de la variabilidad de los datos, aunque requiere de información adicional para obtener la biomasa del fuste como es la gravedad específica de las especies (Figura 6, Cuadro 11). Otro modelo que presentó buen ajuste fue el encontrado a partir del volumen de fuste, con valores altos de coeficientes de determinación, coeficientes de variación bajos y significancia en el modelo y en los parámetros ($P < 0.05$) (Cuadro 11, Anexo 8).

Al estimar la biomasa total en función de la biomasa y volumen de fuste los resultados son estimaciones, ya que para obtener esta información se parte del dap. Por lo tanto es más recomendable utilizar el modelo que estima la biomasa total con base en el diámetro.

Cuando se utiliza el dap para estimar biomasa total algunos de los modelos probados explican aproximadamente un 71% la variabilidad de los datos (Anexo 8). Sin embargo, una ventaja en este tipo de ecuaciones de una entrada es la simplicidad de cálculo y además es una variable que es fácil obtener en el campo y la mayoría de los inventarios forestales cuentan con la medición del dap. Ortiz (1997a), indica que las ecuaciones que incluyen el dap como la única variable independiente su aplicación es limitada y las estimaciones de biomasa son válidas solo para ese tipo de bosque. Por lo tanto, se considera que el modelo que estima la biomasa total en función del diámetro (dap) tiene un poder explicativo de los datos bajo ($R^2 = 0.73$) (Cuadro 11).

Al combinar las variables altura total, altura comercial y dap se obtienen modelos que ajustan bien los datos. Cuando el modelo estima la biomasa en función de la altura total el modelo explica un 88% ($P < 0.05$) de la variación de los datos (Cuadro 11). Aunque se obtuvieron ecuaciones con coeficientes de determinación de 0.94 los parámetros fueron no significativos ($P > 0.05$) (Anexo 8).

Cuando se combinan las variables de altura comercial y el dap para estimar la biomasa total, los R^2 se encuentran entre 0.80 y 0.60, y los R^2 -ajustados entre 0.77 y 0.58 (Cuadro 11, Anexo 8). Este tipo de ecuaciones que tiene como variable independiente la altura comercial no son aplicables en general, ya que la medición está sujeta a un alto error debido a que son estimaciones y no mediciones directas.

Al utilizar ecuaciones de dos entradas (dap y altura) se proveen estimaciones de biomasa más exactas. No obstante, para utilizar estos modelos se requiere medir la altura total de los árboles y éstas son costosas y sujetas a un error alto, debido principalmente a la presencia de varios estratos y en muchos casos la copa del árbol no es completamente visible.

Ortiz (1997b), desarrolló un modelo para estimar biomasa arriba del suelo en árboles de un bosque húmedo tropical por grupos de especies (esciófitas y esciófitas parciales y heliófitas) con información de altura total, diámetro y peso seco total.

Las variables independientes de altura comercial y altura total no ajustaron (R^2 y R^2 -ajust < 0.22) (Anexo 8), lo cual indica que el poder explicativo del modelo es bajo, el coeficiente de variación fue de 37 y 42%, respectivamente, lo cual refleja la gran variabilidad de los datos.

Estas ecuaciones para estimar biomasa total se ajustan para diámetros entre 60 a 105 cm de dap y entre 15 a 44 m de altura total y de 10 a 23 m de altura comercial. Los modelos no deben ser utilizadas para diámetros superiores o inferiores a los indicados anteriormente, ya que se incurriría en errores. En este caso, el árbol de mayor biomasa total representa un 10.3% del total de la muestra, lo cual es una ventaja comparativa con respecto a otros estudios como; Araujo *et al.* (1999) quienes en una muestra de 127 árboles encontraron que el árbol de mayor biomasa representa el 17.8% del total de biomasa fresca aérea, indicando una gran dispersión en las observaciones.

Al comparar la biomasa total estimada en función de la biomasa de fuste (Ec. 21), volumen de fuste (Ec. 5 Anexo 8) y del dap (Ec. 9 Anexo 8) con la biomasa total real, los valores simulados se ajustan a la recta, indicando que los estimados están muy cerca del valor real. Por otra parte, si se utilizan las ecuaciones propuestas por Brown *et al.* (1989) (Ec. 15) y Brown (1992), citado por Brown (1997) (Ec. 16), los valores simulados no se acercan a los valores reales, es decir; estos modelos subestiman la biomasa total especialmente en árboles con diámetros grandes (Figura 7). Este desajuste podría ser debido a diferencias en la muestra y de los bosques con que se generaron los modelos.

Es importante enfatizar que cada tipo de bosque tiene su producción de biomasa que lo diferencia de los demás bosques. Por lo que, se debe tener precaución al utilizar ecuaciones para estimar biomasa total que son construidas en otro tipo de ecosistemas forestales.

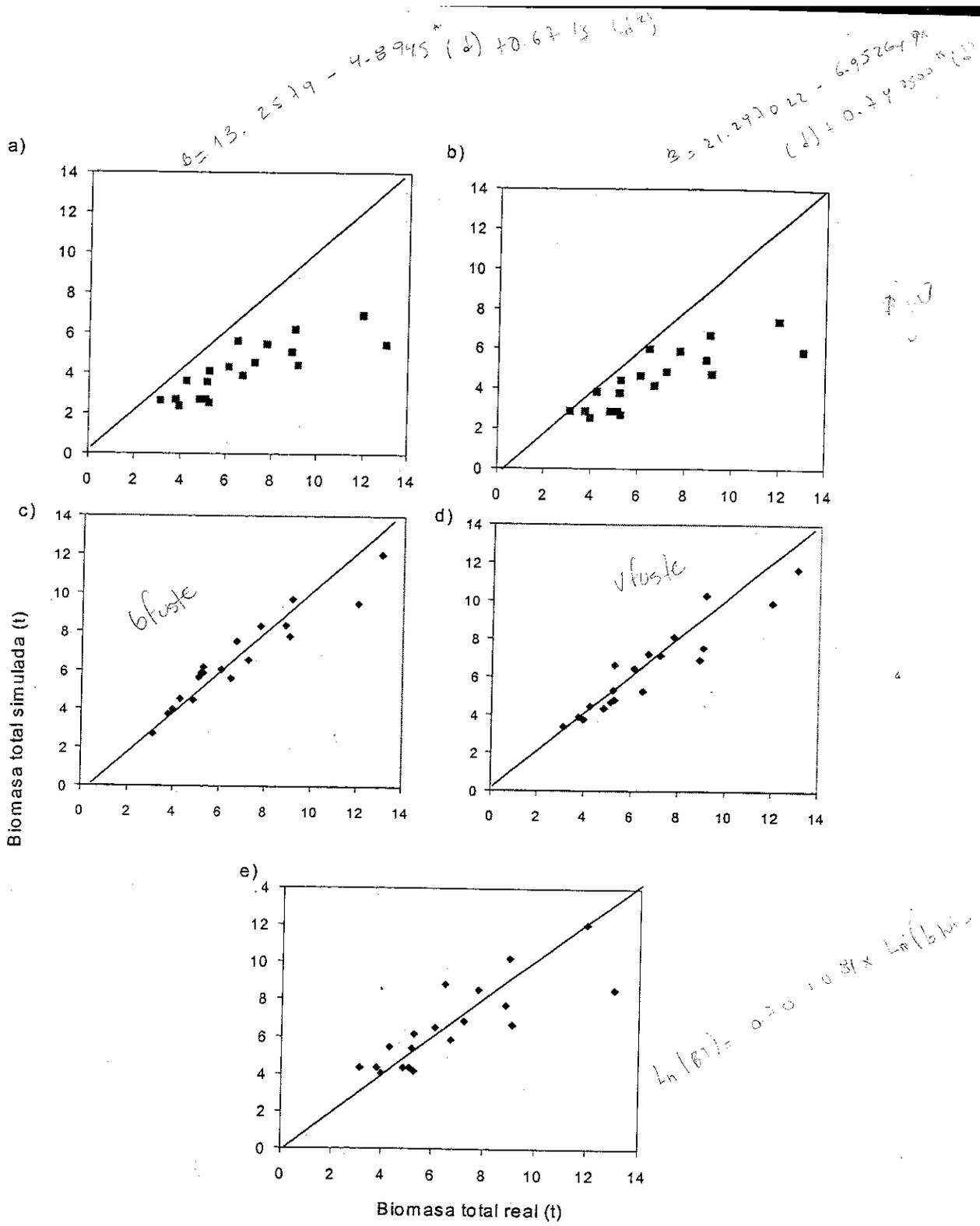


Figura 7. Biomasa total simulada vs. biomasa total real para las especies muestreadas. a) Simulada con el modelo de Brown *et al.* (1989) (Ec.15); b) Simulada con el modelo de Brown (1992), citado por Brown (1997) (Ec. 16); c, d y e) Simulada con los modelos de este estudio (Ec. 21, Ec. 5 Anexo 8 y Ec. 9 Anexo 8)

6.1.3.2. Modelos para estimar volumen total

Se diseñó un modelo de regresión que estime, con alto grado de confiabilidad, el volumen total con base en el dap. Este modelo se utilizó para calcular dicho volumen en las PPM de CATIE. Se correlacionó el volumen con el dap, los coeficientes obtenidos fueron altos para volumen total ($r = 0.89$) y volumen del fuste ($r = 0.81$) ($P < 0.05$), esto indica una correlación relativamente alta entre las variables de volumen y el dap (Cuadro 12, Figura 8).

Cuadro 12. Correlación entre dap, volumen de fuste y volumen total para las especies estudiadas ($n = 19$)

Variable	Coeficientes de correlación de Pearson	
	dap	
Volumen total	0.89**	
Volumen de fuste	0.81**	

** Significativo $P < 0.01$

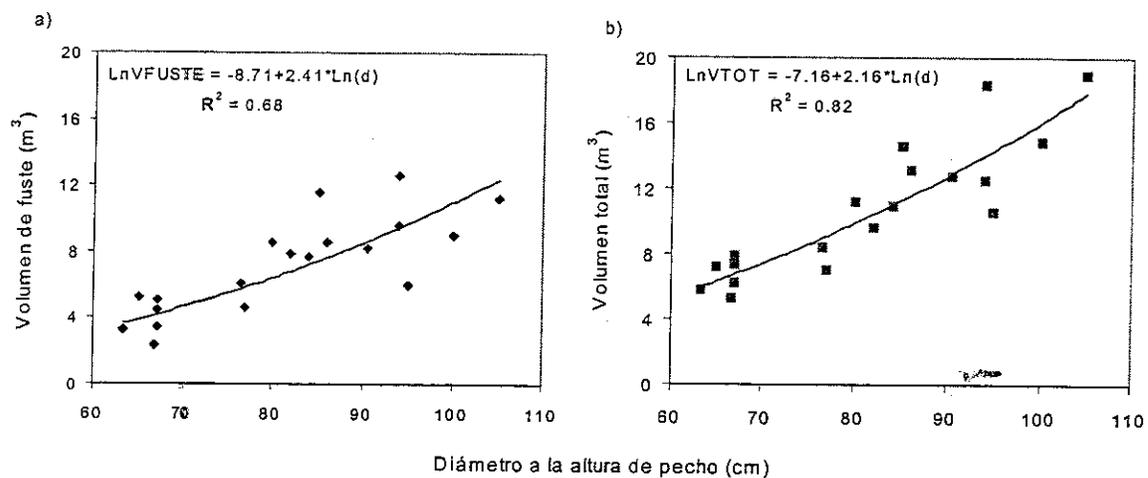


Figura 8. Estimación de a) Volumen de fuste (Ec. 12) y b) Volumen total en función del diámetro a la altura de pecho para las especies estudiadas

De los modelos probados para estimar el volumen total y volumen de fuste en función del dap, 12 presentaron un R^2 entre 0.82 y 0.63. Las ecuaciones que ajustaron mejor y que explican gran parte de la variabilidad de los datos fueron de tipo logarítmico y contaron con valores de R^2 entre 0.82 y 0.68, el coeficiente de variación se encuentra entre 7.2 y

14.7%; de la misma forma, tanto el modelo como los parámetros estimados son significativos en ambos casos ($P < 0.05$). Por lo tanto, son modelos que explican gran parte de la variabilidad de las observaciones (Cuadro 13, Anexo 9).

Cuadro 13. Modelos de mejor ajuste para estimar volumen total y volumen del fuste en función del diámetro a la altura de pecho (dap)

Ecuación	Modelo	R ²	R ² -ajust	CV (%)
Ec. 17	$\text{Ln}(\text{VTOT}) = -7.16 + 2.16 \cdot \text{Ln}(d)$	0.82	0.81	7.24
Ec. 7 (Anexo 9)	$\text{Ln}(\text{VFUSTE}) = -8.71 + 2.41 \cdot \text{Ln}(d)$	0.68	0.66	14.66

R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CV(%): Coeficiente de variación; VTOT: Volumen total (m³); VFUSTE: Volumen de fuste (m³); d: dap (cm)

La ecuación para estimar volumen total se considera aceptable, considerando que el tamaño de la muestra fue pequeño, comparado con Ortiz (1997b) que utilizó 100 árboles de cinco especies de un bosque húmedo tropical en Horquetas de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

El modelo para estimar el volumen total en función del diámetro (dap) se ajusta bien en clases diamétricas entre 60 y 105 cm de dap. Este fue desarrollado por Husch (citado por Loetsch y Haller (1973)) y es utilizado para la construcción de tablas de volumen de una entrada cuya variable independiente es el diámetro.

6.1.4. Cantidad de carbono en árboles estudiados

Ciesla (1996) indica que los estudios de cálculos de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado.

En promedio la cantidad de carbono almacenado por árbol es 3.09 t, con un rango entre 1.38 y 6.09 t árbol⁻¹ (Cuadro 14). Se encontró una correlación significativa ($r = 0.82$, $P < 0.001$) entre el dap y el carbono almacenado.

Cuadro 14. Cantidad de carbono almacenado por árbol para las especies estudiadas

No. árbol muestreado	Nombre científico	Dap (cm)	C.A. (t árbol ⁻¹)
1	<i>C. guianensis</i>	105	5.36
2	<i>C. guianensis</i>	85	3.97
3	<i>C. guianensis</i>	94	3.59
4	<i>I. coruscans</i>	90.5	4.23
5	<i>I. coruscans</i>	63.3	1.84
6	<i>I. coruscans</i>	67	2.29
7	<i>L. procera</i>	65	2.55
8	<i>L. procera</i>	94	6.09
9	<i>P. macroloba</i>	95	2.97
10	<i>P. macroloba</i>	100	4.11
11	<i>P. macroloba</i>	80	3.29
12	<i>P. macroloba</i>	77	2.04
13	<i>S. microstachyum</i>	67	2.18
14	<i>T. guianensis</i>	67	1.72
15	<i>T. guianensis</i>	76.5	2.51
16	<i>T. guianensis</i>	66.7	1.38
17	<i>V. ferruginea</i>	82	2.25
18	<i>V. ferruginea</i>	86	3.49
19	<i>V. ferruginea</i>	84	2.85
Promedio (D.S.)			3.09 (1.25)

C.A.: Carbono almacenado (Ec.19); D.S.: Desviación estándar

El contenido de carbono depende de la biomasa de cada individuo. En este caso se encontró que un árbol de *L. procera* supera en un 70% a uno de *C. guianensis* (6.09 vs. 3.59 tC, respectivamente), aunque ambos presentaron el mismo dap (94 cm). Se encontró una gran variabilidad en la biomasa por árbol, con un coeficiente de variación de 40%. Esto podría estar influenciado por la forma del árbol y principalmente de la copa; otro aspecto importante es la altura total de los mismos. Por lo que podría reducirse clasificando la forma de los árboles y desarrollando modelos diferentes para cada tipo de forma.

La relación entre la cantidad de carbono almacenado y el dap de los cuatro modelos probados fue significativa ($P < 0.01$) (Figura 9), con un R^2 de 0.65 a 0.71, y el coeficiente de variación se encuentra entre 20.8 y 24.0% (Anexo 9).

El modelo que mejor ajustó los datos, explica un 70% la variabilidad, con significancia ($P < 0.05$) en el modelo y en los parámetros. Los modelos que explican en mayor

porcentaje la variabilidad de las observaciones son aquellos en los cuales se realizaron transformaciones logarítmicas (Cuadro 15).

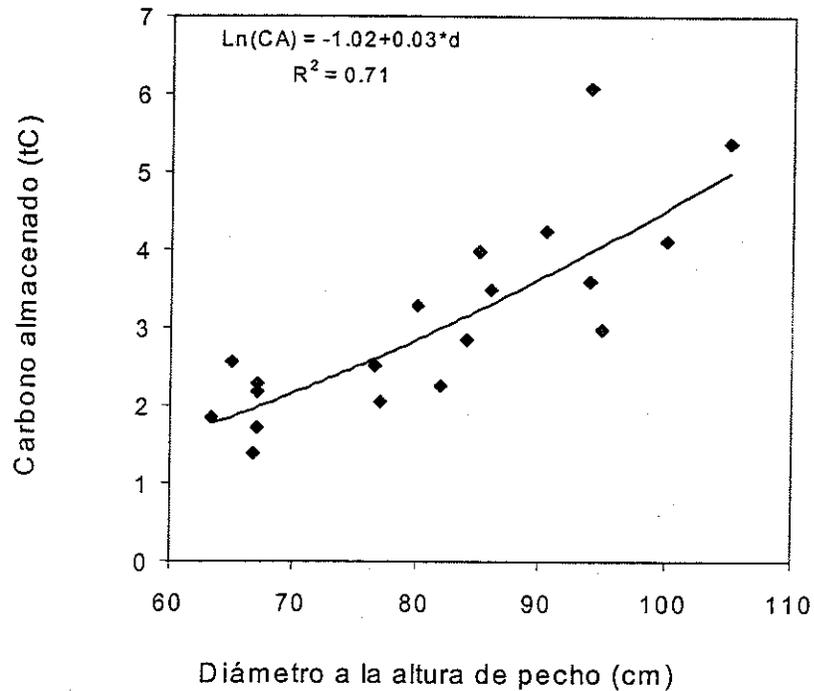


Figura 9. Relación del diámetro a la altura de pecho (dap) con la cantidad de carbono almacenado para los árboles estudiados

Cuadro 15. Modelos de mejor ajuste para estimar la cantidad de carbono almacenado en función del diámetro a la altura de pecho

Ecuación	Modelo	R ²	R ² -ajust	CV (%)
Ec. 13 (Anexo 9)	$\ln(CA) = -1.02 + 0.03 \cdot (d)$	0.71	0.69	20.76
Ec. 14 (Anexo 9)	$\ln(CA) = -7.97 + 2.06 \cdot \ln(d)$	0.70	0.68	20.91

R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CV (%): Coeficiente de variación; CA: Carbono almacenado (t); d: dap (cm)

6.2. Incrementos volumétricos, biomasa total y carbono almacenado para las parcelas permanentes de muestreo de Los Laureles de Corinto y La Tirimbina Rain Forest Center

6.2.1. Incrementos volumétricos

Se encontraron incrementos volumétricos promedio para el área experimental de Los Laureles de Corinto de 7.6, 9.3 y 8.6 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en las parcelas con tratamientos de aprovechamiento, aprovechamiento más tratamiento silvicultural y sin intervención, respectivamente. El mayor incremento se presentó en las PPM que recibieron aprovechamiento más tratamiento silvicultural, superando en un 22% al menor incremento registrado en las PPM que recibieron solo aprovechamiento.

En el área experimental de La Tirimbina, el promedio del incremento volumétrico anual por hectárea fue de 8.6 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ para las parcelas testigo, superando en un 4% a las parcelas con tratamiento de dosel protector y de liberación con refinamiento parcial, ambas con 8.3 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Figura 10).

Los incrementos volumétricos promedios por zona fueron de 8.3 y 8.5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ para las áreas experimentales de Corinto y Tirimbina, respectivamente considerando que en cada área se aplicaron diferentes tratamientos por bloque. Estos se pueden considerar aceptables si se comparan con el incremento promedio de 8.3 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ reportado por Veillon (1983), citado por Lamprecht (1990) para bosques húmedos primarios siempre verdes ubicados entre 0 - 500 msnm de Venezuela.

El análisis de variancia no detectó diferencias significativas ($P > 0.05$) del incremento volumétrico anual entre bloques ni entre los diferentes tratamientos aplicados para cada área de estudio, igualmente no se encontraron diferencias entre zonas ($P > 0.05$) (Anexo 10). Estos resultados pueden ser una consecuencia de las extracciones de madera, tratamientos silviculturales y anillamientos en algunos árboles que se han realizado en estas parcelas, lo cual provoca una disminución del incremento en volumen. Es importante recalcar que los volúmenes estimados incluyen las palmas, sin embargo en el momento de calcular los incrementos éstos no tienen influencia debido a que no poseen crecimiento secundario.

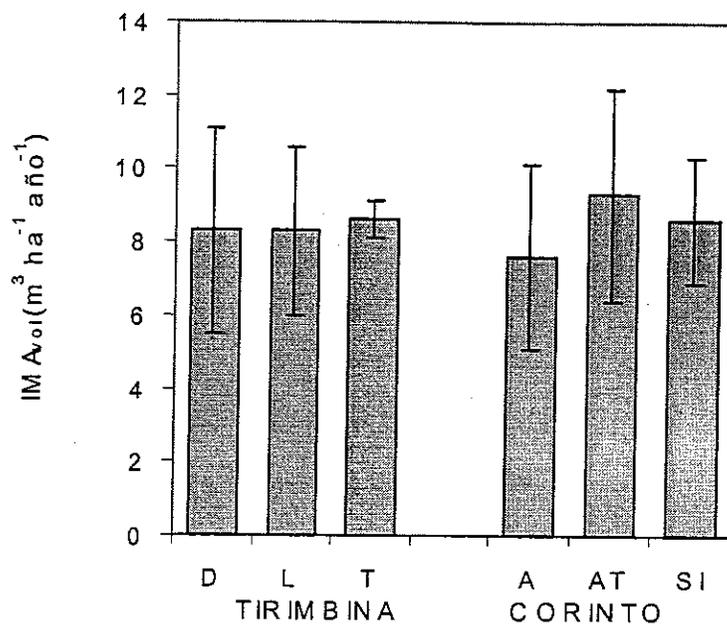


Figura 10. Incremento volumétrico medio anual para diferentes tratamientos silviculturales en Tirimbina y Corinto. D: Dosel protector; L: Liberación con refinamiento parcial; T: Testigo; A: Aprovechamiento; AT: Aprovechamiento más tratamiento silvicultural; SI: Sin Intervención. Las barras de error corresponden a la desviación estándar

6.2.2. Biomasa total y carbono almacenado para las parcelas permanentes de muestreo

La cantidad de biomasa total estimada (Ec. 18) para las PPM de las áreas experimentales de La Tirimbina y Los Laureles de Corinto, varía entre tratamientos y entre zonas. En las parcelas permanentes de muestreo (PPM) ubicadas en Corinto se encontró que las parcelas sin intervención son las que tienen mayor cantidad de biomasa, superando en un 32% al tratamiento que presentó menor cantidad de biomasa (aprovechamiento más tratamiento silvicultural) (Cuadro 16). No se encontraron diferencias en la cantidad de biomasa total entre bloques ($P > 0.05$), pero se presentaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$) en cuanto a la cantidad de biomasa (Anexo 10).

En el caso de las parcelas de La Tirimbina, el tratamiento que reportó mayor cantidad de biomasa total fue el "testigo" con un 22% superior con respecto a las parcelas que

recibieron el tratamiento de "liberación con refinamiento parcial" y en un 11% a las parcelas con tratamiento de "dosel protector" (Cuadro 16). Al igual que en las PPM de Corinto el análisis de variancia indicó que no existen diferencias entre bloques para la cantidad de biomasa total ($P>0.05$), pero si se presentaron diferencias entre tratamientos de la misma zona ($P<0.05$) (Anexo 10).

Cuadro 16. Volumen total, biomasa total y carbono almacenado a partir de 10 cm de dap, por tratamiento en las parcelas permanentes de muestreo de Corinto y Tirimbina

ZONA	Tratamiento	No. de parcela	V_t ($m^3 ha^{-1}$)	B_t ($t ha^{-1}$)	CA ($tC ha^{-1}$)
CORINTO					
	Aprovechamiento más tratamiento silvicultural	1	450.10	283.56	129.73
		3	397.81	250.62	114.66
		4	385.85	243.09	111.21
	Promedio			259.09 (21.52)	118.53 (9.85)
	Aprovechamiento	5	439.75	277.04	126.75
		6	439.88	277.12	126.78
		9	438.38	276.18	126.35
	Promedio			276.78 (0.52)	126.63 (0.24)
	Sin intervención	2	532.52	335.49	153.49
		7	558.35	351.76	160.93
		8	534.41	336.68	154.03
	Promedio			341.31 (9.07)	156.15 (4.15)
	Promedio general Corinto			292.39 (39.26)	133.77 (17.96)
TIRIMBINA					
	Dosel protector	1	386.81	243.69	111.49
		6	373.82	235.50	107.74
		7	389.21	245.20	112.18
	Promedio			241.47 (5.22)	110.47 (2.39)
	Testigo	2	429.60	270.65	123.82
		4	458.71	288.98	132.21
		8	389.34	245.28	112.22
	Promedio			268.31 (21.94)	122.75 (10.04)
	Liberación con refinamiento parcial	5	356.82	224.80	102.84
		3	381.70	240.47	110.01
		9	312.24	196.71	90.00
	Promedio			220.66 (22.17)	100.95 (10.14)
	Promedio general Tirimbina			243.48 (26.04)	111.39 (11.91)

V_t : Volumen total (Ec. 17); B_t : Biomasa total (Ec. 18); CA: Carbono almacenado (Ec. 19); () Desviación estándar

El área experimental de Corinto reportó en promedio la mayor biomasa y carbono almacenado a partir de árboles de ≥ 10 cm dap superando en un 20% al área de Tirimbina (Cuadro 16). Se presentaron diferencias entre zonas en la cantidad de biomasa total ($P < 0.05$) (Anexo 10).

En la zona de Corinto las PPM "sin intervención" obtuvieron la mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa, superando en un 32% a las parcelas con tratamiento de "aprovechamiento más tratamiento silvicultural" las cuáles obtuvieron la menor cantidad de carbono almacenado (Cuadro 16). Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los tratamientos para la cantidad de carbono almacenado (Anexo 10).

Por otro lado, en la zona de Tirimbina se presentó el mismo panorama, en donde las PPM "testigo" superaron en un 11% a las parcelas que recibieron tratamiento de "dosel protector" (Cuadro 16). Igualmente, se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos para la cantidad de carbono almacenado (Anexo 10).

La cantidad de carbono almacenado presentó el mismo comportamiento que la biomasa, es decir, se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre zonas, donde las PPM del área de Corinto superaron en un 20% a las de la zona de Tirimbina (Cuadro 16, Anexo 10).

6.3. Biomasa total, carbono almacenado y tasa de fijación de carbono en bosques naturales de fincas privadas

La mayor cantidad de biomasa total y por hectárea en las fincas de la zona de Corinto es de 185 t ha^{-1} superando en 168% a la finca que reporta menor cantidad de biomasa total (69 t ha^{-1}). En el caso de las fincas de Tirimbina, la finca con mayor cantidad de biomasa total (101 t ha^{-1}) supera en 114% a la finca con menor contenido de biomasa total (48 t ha^{-1}) (Cuadro 17).

El promedio de la cantidad de biomasa total para la zona de Corinto es de 122 tC ha^{-1} y la zona de Tirimbina tiene un promedio de 69 tC ha^{-1} (Cuadro 17). Esta diferencia puede ser por el bajo número de fincas analizadas un 30% del total en la zona de Tirimbina.

El contenido de carbono almacenado es muy variable entre fincas de 32 a 80 tC ha⁻¹, donde la finca de mayor contenido supera en un 150% a la finca de menor almacenamiento en la zona de Corinto. Igual situación se presenta en la zona de Tirimbina donde la finca con mayor cantidad de carbono almacenado (80 tC ha⁻¹) supera en un 110% a la finca con menor contenido de carbono almacenado (32 tC ha⁻¹) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Biomasa total, cantidad de carbono almacenado y tasa de fijación de carbono por finca de la zona de Tirimbina y Corinto

No. Finca	Area efectiva (ha)	B _t (t)	B _t (t ha ⁻¹)	CA (tC)	CA (tC ha ⁻¹)	TFC (tC ha ⁻¹ año ⁻¹)
CORINTO						
3	62.60	11604	185	5036	80	2.1
5	18.31	1795	98	832	45	2.5
6	22.00	2467	112	1144	52	2.6
8	50.00	7687	154	3574	71	2.6
9	29.73	1832	84	836	38	2.0
12	83.37	5793	69	2655	32	2.1
13	52.27	7807	149	3549	68	1.9
<i>Promedio</i>		5569	122	2518	55	2.3
TIRIMBINA						
18	3 1.60	1509	48	692	22	2.3
22	71.14	7166	101	3309	47	2.4
24	11.40	674	59	311	27	2.3
<i>Promedio</i>		3116	69	1437	32	2.3

B_t: Biomasa total (Ec. 18); CA: Carbono almacenado (Ec. 19), TFC: Tasa de fijación de carbono (Ec. 24)

La tasa de fijación de carbono (TFC) promedio para ambas zonas es igual, considerando que se utilizó el incremento volumétrico de las PPM según el tratamiento que recibieron. En el caso de las fincas de la zona de Corinto la TFC anual se encuentra en el rango de 1.9 a 2.6 tC (Cuadro 17). Para esta misma zona, la mayor TFC supera en un 37% a la menor TFC encontrada. Estas diferencias en las TFC de cada una de las fincas podría justificarse en el hecho de que las especies presentes en cada tipo de bosque varía en el valor de la gravedad específica, además de que se asumieron incrementos diferentes dependiendo de las condiciones del bosque y los tratamientos que recibieron.

Al comparar la cantidad de biomasa total por hectárea, en las PPM de las áreas experimentales administradas por el CATIE (Tirimbina y Corinto) con las fincas privadas

con bosque, se observó que las PPM tienen mayor cantidad, siendo un 139% superior éstas con respecto a las fincas para la zona de Corinto y un 252% en la zona de Tirimbina (Cuadro 18).

Cuadro 18. Biomasa total y cantidad de carbono almacenado en las parcelas permanentes de muestreo y las fincas privadas de Tirimbina y Corinto

Zona	Promedios	
	Biomasa total (t ha ⁻¹)	Carbono almacenado (tC ha ⁻¹)
Corinto		
PPM	292	134
Fincas privadas	122	55
Tirimbina		
PPM	243	111
Fincas privadas	69	32

En cuánto a la cantidad de carbono almacenado en la biomasa total de las PPM en la zona de Corinto, éstas fueron 144% superior que el carbono almacenado en las fincas privadas de la misma zona. En Tirimbina, las PPM presentaron un mayor contenido de carbono almacenado con respecto a las fincas privadas siendo un 247% superior a las parcelas (Cuadro 18).

Esto puede justificarse por el hecho de que las fincas privadas han sido sometidas a una o varias extracciones de madera desde hace unas tres décadas y hasta la fecha, por lo tanto, se puede decir que se ha perdido una gran cantidad de carbono almacenado en esos ecosistemas. Caso contrario con las PPM de Corinto y Tirimbina, las cuales han sido aprovechadas en una oportunidad al inicio de ésta década y han mantenido el potencial de almacenamiento de carbono en la biomasa.

Antes de los 90's no se puede decir que en Costa Rica se aplicaba el manejo forestal sostenible en los bosques, por el contrario lo que se realizaban eran extracciones madereras a pesar de que ya existía la ley forestal de 1969. El Estado promovió el cambio de uso de bosques a usos agropecuarios (Alfaro 1999b). Después de los 90's, se dan una serie de regulaciones para el sector forestal del país y se empieza a practicar el aprovechamiento mejorado, se inicia la aplicación de tratamientos silviculturales y se establecieron las parcelas permanentes de muestreo. Alfaro (1999b) menciona que la

incorporación del concepto de manejo forestal sostenible y la práctica al nivel de campo es reciente.

Sin embargo, estas regulaciones se aplicaron a los bosques que anteriormente habían sido sometidos a extracción maderera en los años anteriores. Por lo tanto, el buen manejo de estas áreas boscosas permitiría aumentar a largo plazo el volumen por unidad de área y por tanto, la cantidad de carbono almacenado. Estos bosques podrían clasificarse actualmente como bosques degradados en proceso de recuperación a través del manejo forestal sostenible ejecutado por FUNDECOR.

6.4. Análisis al nivel de fincas

6.4.1. Caracterización de las fincas privadas de las zonas de Tirimbina y Corinto

En la zona de Tirimbina y Corinto se entrevistó un total de 14 y 13 propietarios de bosque respectivamente. Todos son propietarios de fincas sometidas a PSA de protección absoluta y de bosques con manejo sostenible (Anexo 11).

De las fincas ubicadas en Corinto, la mayoría son de 34 a 200 ha, mientras que en el área de Tirimbina el tamaño de las fincas se concentra en la clase ≤ 100 ha, de las cuáles en su mayor parte tienen una superficie de 13 a 30 ha, siendo principalmente asentamientos agrarios otorgados por el Estado (Cuadro 19).

El tamaño de las fincas presenta un panorama general de las condiciones económicas de los propietarios y por ende, de las condiciones de los bosques. El tamaño de la finca como unidad productiva no está ligada al área de bosque, debido a que se presentaron casos en que el área total de la misma estaba cubierta de bosque o por el contrario el área del bosque corresponde a mucho menos del 50% del total de la finca.

Cuadro 19. Área de las fincas y del bosque sometidos a pago de servicios ambientales para manejo sostenible y protección absoluta para las zonas de Tirimbina y Corinto

Área de finca (ha)	Corinto		Tirimbina	
	Frec. Abs.	F. Rel. (%)	Frec. Abs.	F. Rel. (%)
≤100	6	46.2	12	85.7*
101 – 300	5	38.5	0	0.0
> 300	2	15.4	2	14.3
Total	13	100.0	14	100.0
Área de bosque (ha)				
Manejo sostenible				
≤30	2	28.6	9	81.8
30 – 100	4	57.1	1	9.1
≥ 100	1	14.3	1	9.1
Total	7	100.0	11	100.0
Protección absoluta				
≤30	1	14.3	1	25.0
30 – 100	2	28.6	3	75.0
≥ 100	4	57.1	0	0
Total	7	100.0	4	100.0

(*) Son fincas de 13 a 30 hectáreas; Frec. Abs.: Frecuencia absoluta; Frec. Rel. (%): Frecuencia relativa

En la zona de Corinto estas fincas se pueden clasificar en su mayoría de propietarios pequeños a grandes, ya que la finca con menor área tiene 34 ha. Solamente un 23% de éstas poseen otro tipo de actividades productivas como palmito y ganadería de carne (Anexo 12). Esto podría ser debido a que un 69% de las fincas se encuentran dentro de la zona de protección del Parque Nacional Braulio Carrillo (PNBC) (Figura 3). Lo cual significa que es poco probable que se pueda tener otra actividad que no sea la forestal. En la zona de Corinto las fincas con un área ≤100 ha tienen en promedio un área de bosque de 44 ha y para las fincas con áreas de 101-300 ha el promedio de bosque es de 118 ha (Anexo 12).

Se presentan diferencias entre zonas en cuanto a tamaño de bosque, en Corinto predominan las áreas boscosas de más de 30 ha (79%), mientras que en Tirimbina, son más comunes los bosques de menos de 30 ha (67%) (Cuadro 19).

En Corinto el 50% de los bosques se encuentra con PSA por manejo sostenible de bosques, y el restante reciben por protección absoluta de bosques. Es importante

mencionar que una finca en esta zona recibe pagos por manejo sostenible y por protección absoluta de bosques. En la zona de Tirimbina un 73% de los bosques reciben el pago por manejo sostenible, y el 23% lo reciben por protección absoluta (Cuadro 19, Anexo 12).

Por otra parte, estas fincas de la zona de Corinto se encuentran en una zona acuífera que abastece de agua al sector de Heredia y parte del Valle Central. Las fincas en su mayoría presentan altas pendientes, los suelos tienen poco drenaje y por lo general son suelos arcillosos. Estas fincas se encuentran más cerca del PNBC y tienen PSA de protección absoluta (67%) (Anexo 12 y Figura 3). Las restantes 33% de las fincas se encuentran dentro de la zona de amortiguamiento, aunque están bajo el pago por manejo sostenible del bosque, actualmente no pueden ser aprovechadas debido al estado de estos ecosistemas, ya sea por la escasez de árboles maderables que justifiquen una extracción o, por el contrario las condiciones topográficas no lo permiten.

En las fincas localizadas en Tirimbina se presenta una situación diferente, ya que por la presencia de un asentamiento humano "El Roble Alto", predominan las fincas que clasifican como pequeñas (85.7%) y dentro de éstas, se encuentran las denominadas "muy pequeñas" (≤ 30 ha). En esta categorización de muy pequeñas, el promedio del área de bosque es de 11 ha y para las áreas pequeñas (31 - 100 ha) el promedio del área de bosque es de 33 ha (Anexo 12). En esta zona, no son comunes las fincas grandes presentándose únicamente un 14.3% (Cuadro 19). Al presentarse en general una menor área de bosques por finca, existe un mayor riesgo de pérdida de cobertura boscosa en esta zona.

Por lo tanto, al tener fincas pequeñas con poca superficie de bosque y/o fincas medianas y grandes con menor área boscosa se tendrá por consiguiente menos volumen y menos carbono almacenado en la biomasa.

Contrariamente a Corinto, en Tirimbina un 29% de las fincas se encuentran dentro de la zona de amortiguamiento del PNBC (Figura 3). De éstas, un 80% se encuentra con PSA

de protección absoluta de bosques (Anexo 12). Así mismo, al menos un 90% de las fincas recibieron un fuerte aprovechamiento en la década de los 70's⁵.

En la zona de Tirimbina, un 64% de las fincas además de bosque tienen otras actividades agropecuarias, las más frecuentes son el cultivo de la pimienta y la producción de ganado de carne. Estas tierras presentan pendientes de medianas a altas, en ningún caso se observaron fincas con pendientes bajas. Los suelos se saturan fácilmente con pocos días de lluvia lo que repercute en el estado de los caminos y hace un difícil acceso a las fincas, el único medio de transporte en algunos casos es con tractor agrícola o vehículos doble tracción. En cuanto a la infraestructura se refiere, los puentes colgantes se encuentran en mal estado y en muchos casos no hay paso hasta la finca principalmente aquellas que se localizan cerca del parque.

La principal fuente de ingresos de los propietarios ubicados en Tirimbina depende de la producción de la finca, mientras que en Corinto más del 60% tienen ingresos de otras actividades fuera de la finca. Por otra parte, la mayoría de los propietarios en ambos sitios viven fuera de la finca (Cuadro 20).

En lo que concierne al PSA por parte del estado, las fincas de la zona de Tirimbina reciben más pagos por servicios ambientales que las de Corinto. De los pagos de servicio ambiental en convenio para Corinto, el 46% es para protección absoluta y manejo sostenible, el restante 8% para proyectos con los dos tipos de manejo. En Tirimbina el 71% de los pagos son para manejo sostenible y el 21% restante son de producción absoluta (Cuadro 21).

⁵ Comunicación personal. 1999. Propietarios de las fincas entrevistados.

Cuadro 20. Principal fuente de ingresos y tipo de propietario para las zonas de Corinto y Tirimbina

ZONA	TIRIMBINA		CORINTO	
	F. absoluta	F. relativa (%)	F. absoluta	F. relativa (%)
<i>Fuente de ingresos</i>				
Finca	8	57.1	5	38.5
Otros	6	42.9	8	61.5
<i>Total</i>	<i>14</i>	<i>100.0</i>	<i>13</i>	<i>100.0</i>
<i>Tipo de propietario</i>				
Vive dentro	6	42.9	3	23.1
Vive fuera	8	57.1	10	76.9
<i>Total</i>	<i>14</i>	<i>100.0</i>	<i>13</i>	<i>100.0</i>

En ambas zonas la mayoría de los propietarios manejan el bosque con el fin de recibir ingresos. En menor porcentaje los propietarios tienen sus bosques con el objetivo de conservar y por el valor que toma el recurso a través del tiempo (Cuadro 21).

Cuadro 21. Información del pago de servicio ambiental para los propietarios de las fincas en las zonas de Corinto y Tirimbina

Información del PSA	ZONAS	
	CORINTO (%)	TIRIMBINA (%)
Han recibido desembolsos:		
• SI	69	100
• NO	31	0
Tipo de manejo del bosque:		
• Protección absoluta	46	21
• Manejo sostenible de bosques	46	71
• Ambos	8	7
Objetivo del manejo del bosque:		
• Para recibir ingresos	46	64
• Proteger los recursos naturales	31	22
• Por conservar y por el valor que toma el recurso a través del tiempo	23	14

Fuente: Encuestas realizadas a propietarios de las fincas privadas

6.4.2. Actividades productivas de la finca

Las actividades que se desarrollan en las fincas de la zona de Corinto son: protección absoluta y manejo sostenible del bosque, ganadería de carne, palmito y otras como

plantación de bambú para la construcción de casas y muebles, producción de flores para exportación, centros turísticos y otras. La protección absoluta y el manejo sostenible del bosque son las principales actividades de la zona (62%), la ganadería y el cultivo de palmito no son comunes presentándose únicamente en un 4.4% (Figura 11, Anexo 12).

En el caso de Tirimbina, las principales actividades económicas son de protección absoluta y manejo sostenible del bosque, ganadería de carne, ganadería de leche y el cultivo de pimienta principalmente. La protección absoluta y el manejo sostenible del bosque se presentaron en menor escala (15%), mientras que la ganadería cubrió el 34.3% para la zona (Figura 11, Anexo 12).

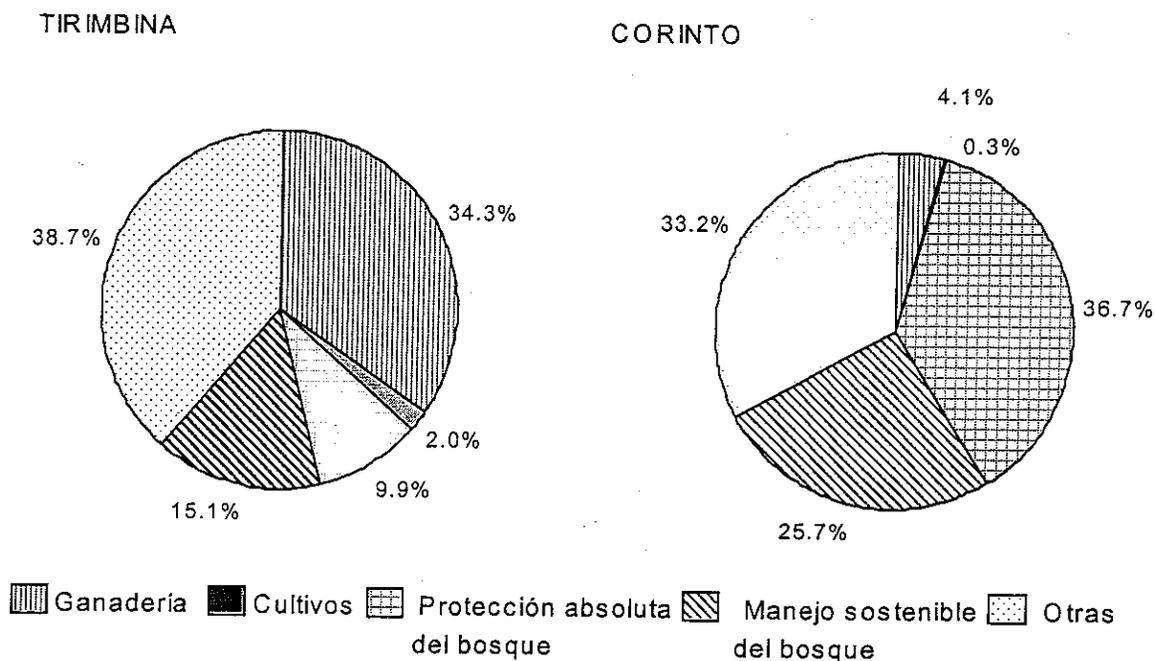


Figura 11. Distribución de las actividades que generan ingresos para las zonas de Corinto y Tirimbina

Un panorama general de las actividades agropecuarias de las zonas en estudio fue:

Ganadería de carne:

En la zona de Corinto esta actividad es poco frecuente (15%), es de tipo extensivo y no utilizan pastos mejorados, lo cual significa que el nivel tecnológico es bajo. La capacidad de carga es en promedio 0.85 UA ha⁻¹, el precio de carne es en promedio \approx 282.5 kg⁻¹

(\$ 0.96 kg⁻¹). El peso de venta es de aproximadamente 550 kg por animal y se comercializa en la subasta de Guápiles.

El grupo familiar no depende directamente de esta actividad. Sin embargo, algunos entrevistados manifestaron que anteriormente habían producido ganado y debido a las condiciones del terreno y por el difícil acceso a las fincas, no resultó rentable teniendo que eliminar la actividad.

Para Tirimbina, la actividad ganadera se presentó en un 29% y se da principalmente en las fincas que cuentan con buen acceso y con cercanía a la carretera principal. La capacidad de carga fue en promedio de 1.4 UA ha⁻¹. Los productores compran el ternero (≈ 35 000 UA⁻¹, es decir \$ 119 UA⁻¹) para luego engordarlo y venderlo, los propietarios de áreas pequeñas o muy pequeñas venden su ganado dentro de la misma finca a un precio aproximadamente de ≈100 000 UA⁻¹ (\$ 341 UA⁻¹). Un solo productor de la zona vende su ganado para la Cooperativa de Productores (COOPEMONTENCILLOS) a un precio de ≈ 265 kg⁻¹ (\$ 0.90 kg⁻¹) y el peso final es de aproximadamente 480 kg.

La ganadería es de tipo extensivo y al menos en dos fincas el nivel tecnológico fue alto, en las restantes propiedades utilizan lo mínimo requerido por los animales.

Ganadería de leche:

Se presentó en una sola finca (Tirimbina), combinado con la producción de terneros para la venta. La capacidad de carga promedio es de 0.90 UA ha⁻¹. Cada vaca produce en promedio 5.6 kg de leche por día, la cual es utilizada para alimento del ternero y para la producción de queso, que se vende a ≈600 kg⁻¹ (\$2 kg⁻¹) en panaderías. El nivel tecnológico es alto.

Palmito:

Esta actividad se da únicamente en la zona de Corinto. Actualmente el precio por planta (≈ 20 planta⁻¹ es decir, \$ 0.07 planta⁻¹) disminuyó en un 75% de su precio inicial (≈ 80 planta⁻¹ ó \$ 0.27 planta⁻¹). La densidad es de aproximadamente 5000 plantas por hectárea. Este cultivo requiere mayor inversión en mano de obra; al año se dan cuatro cosechas, sin embargo, su mercado no es bueno en la actualidad.

Pimienta:

Actividad exclusiva de la zona de Tirimbina, es un cultivo peculiar por su alta rentabilidad y requiere de poca superficie. Se dan dos cosechas al mes, en el mercado de la zona sólo existe un productor grande. El producto es utilizado para exportación a países europeos y los Estados Unidos. El rendimiento se presenta en tres períodos; en el primer año se produce 1 kg planta⁻¹, para el segundo año la producción es de 5 kg planta⁻¹, lo que significa un 30% del rendimiento y para el tercer año se alcanza su máxima producción, de 8 kg planta⁻¹ (100%). Se producen aproximadamente 2000 plantas ha⁻¹ y el precio es \approx 280 kg⁻¹ (\$ 0.97 kg⁻¹). Los meses de mayor producción son: febrero, y de mayo a agosto.

6.4.3. Costos operativos, beneficios brutos y beneficio neto familiar por finca y por actividad

La actividad más rentable en la zona de Corinto fue la de palmito, superando en un 137% a la actividad de ganadería de carne, que cuenta con la menor rentabilidad. Por otra parte, la actividad de ganadería de leche fue la más rentable en la zona de Tirimbina, superando en 13% a la ganadería de carne (de menor rentabilidad) (Cuadro 22). El cultivo de pimienta en esta zona no se tomó como referencia, ya que es un cultivo muy rentable, por lo que no puede ser un parámetro de comparación con respecto a las demás actividades. Además, no requiere de una alta inversión y su beneficio neto familiar (BNF) es más del 100%.

Sin embargo, la información que se presenta en el Cuadro 22, se refiere al sistema de manejo actual de la finca y éste no es necesariamente sostenible. Esto debido a que en el estudio no fue posible evaluar la calidad técnica, ambiental y social del manejo ganadero y agrícola. No obstante, el sistema de manejo forestal que reciben esos bosques sí considera la sostenibilidad del ecosistema.

Es importante indicar que la información del Cuadro 22 fue proporcionada por el productor de tal manera que podría haberse subestimado principalmente los costos, debido a que el productor tiene muy claro el ingreso que le genera las actividades en la finca, pero como

no lleva un registro detallado de los costos de la misma, podrían existir rubros no considerados como la mano de obra familiar y sus respectivas cargas sociales o seguros de riesgos del trabajo, transporte de insumos a la finca, entre otros.

Cuadro 22. Beneficio bruto, costos operativos y beneficio neto familiar de las actividades productivas de las zonas de Tirimbina y Corinto

ZONA		Beneficio bruto	Costos operativos	Beneficio neto familiar
ACTIVIDAD				
No. de finca		(colones constantes ha ⁻¹ año ⁻¹)		
CORINTO				
PALMITO				
	9	400 000	268 188	131 812
	10	400 000	206 325	193 675
	Promedio (z ha ⁻¹)	400 000	237 257	162 744
	Promedio (US \$ ha ⁻¹)	1 367	810	555
GANADERIA DE CARNE				
	5	89 833	21 174	68 659
	9	85 556	17 054	68 502
	Promedio (z ha ⁻¹)	87 695	19 114	68 580
	Promedio (US \$ ha ⁻¹)	299	65	234
TIRIMBINA / PIMIENTA				
Prod.	26*	546 000	-	546 000
Baja	27	546 000	115 200	430 800
	(z ha ⁻¹)	546 000	115 200	430 800
	(US \$ ha ⁻¹)	1 863	393	1 470
Prod.	15	2 750 000	39 450	2 710 550
Media	16	2 730 000	76 356	2 653 644
	19	2 750 000	19 200	2 730 800
	21	2 750 000	34 830	2 715 170
	Promedio (z ha ⁻¹)	2 745 000	52 926	2 692 074
	Promedio (US \$ ha ⁻¹)	9 369	180	9 188
Prod.	20	2 727 863	54 564	2 673 299
Alta	14	3 360 000	450 000	2 910 000
	Promedio (z ha ⁻¹)	3 043 931	252 282	2 791 649
	Promedio (US \$ ha ⁻¹)	10 389	861	9 528
GANADERIA DE CARNE				
	15	125 000	43 486	81 514
	16	100 000	34 796	65 204
	22	181 714	82 485	99 229
	14	85 714	31 964	53 750
	Promedio (z ha ⁻¹)	123 107	48 183	74 924
	Promedio (US \$ ha ⁻¹)	293	164	256
GANADERIA DE LECHE				
	14 (z ha ⁻¹)	155 733	71 217	84 516
	(US \$ ha ⁻¹)	532	243	288

(*) No se consideró en el promedio ya que no dio la información; Prod.: Productividad

6.5. Análisis financiero para las actividades productivas desarrolladas en las fincas

La actividad más rentable para el área de Corinto fue la producción de palmito, sin embargo, la relación B/C mostró que en la ganadería de carne los beneficios son mayores que los costos, mientras que en la actividad de palmito los BNF son menores que los costos operativos. Al comparar el manejo sostenible con la protección absoluta del bosque, el primero es más rentable superándolo en más del 100% (Cuadro 23). Esto es de esperar, ya que en las áreas con PSA de manejo sostenible éste es mayor y además reciben ingreso por concepto de madera.

En la zona de Tirimbina, la actividad con mayor BNF fue la de ganadería de leche, sin embargo, la relación B/C fue mayor en ganadería de carne, superando a la ganadería lechera en un 33%. Además, este indicador mostró una relación mayor que 1, lo que significa que los beneficios netos familiares son mayores que los costos operativos. Por otra parte, las actividades de manejo sostenible y protección absoluta del bosque presentaron igual comportamiento que en la zona de Corinto (Cuadro 23).

La ganadería de carne presentó mayores BNF en la zona de Tirimbina, superando en un 9% a la zona de Corinto. Sin embargo, la relación B/C fue mayor en la zona de Corinto siendo 125% más alto que la encontrada en Tirimbina. Esto podría ser a causa del nivel tecnológico utilizado en cada zona, lo que encarece los costos operativos, ya que en el área de Tirimbina la tecnología aplicada en algunas fincas es alta.

Por otra parte, el manejo sostenible del bosque fue un poco más rentable en la zona de Corinto, superando en un 5% a la zona de Tirimbina, esta diferencia se debe a los costos de mantenimiento de las áreas con PSA, reflejado principalmente en el costo de la mano de obra. Igual situación se presentó con las áreas de bosque que se encuentran con el PSA de protección absoluta, en donde los BNF de la zona de Corinto superó en un 10% a la zona de Tirimbina de menor rentabilidad. Esto se refleja claramente en la relación B/C donde los mayores se encontraron en la zona de Corinto, lo cual indica que los costos operativos (mano de obra) son más altos en la zona de Tirimbina (Cuadro 23).

Cuadro 23. Indicadores financieros para los cultivos y la ganadería e indicadores económicos para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques para Corinto y Tirimbina

Actividades	Zona	Indicadores financieros		
		BNF	VAN*	B/C
Corinto				
Ganadería carne	(¢ ha^{-1})	68 580	--	--
	(US \$ ha^{-1})	234	--	3.6
Palmito	(¢ ha^{-1})	162 744	--	--
	(US \$ ha^{-1})	555	--	0.7
Manejo sostenible de bosques	(¢ ha^{-1})	--	10 278	--
	(US \$ ha^{-1})	--	35	3.8
Protección absoluta de bosques	(¢ ha^{-1})	--	2 484	--
	(US \$ ha^{-1})	--	8	3.4
Tirimbina				
Ganadería carne	(¢ ha^{-1})	74 924	--	--
	(US \$ ha^{-1})	256	--	1.6
Ganadería leche	(¢ ha^{-1})	84 516	--	--
	(US \$ ha^{-1})	288	--	1.2
Manejo sostenible de bosques	(¢ ha^{-1})	--	9 787	--
	(US \$ ha^{-1})	--	33	3.4
Protección absoluta de bosques	(¢ ha^{-1})	--	2 263	--
	(US \$ ha^{-1})	--	8	2.8

(*) Incluye pago de servicios ambientales; BNF: Beneficio neto familiar (Ec. 27); B/C: Relación beneficio-costos (Ec. 28)

6.5.1. Estimación del valor de los servicios ambientales

En Costa Rica se han hecho y se continúan haciendo múltiples esfuerzos por valorar cada uno de los servicios ambientales que prestan los bosques y las plantaciones forestales. Sin embargo, Otárola y Venegas (1999) claramente exponen que esa valoración no es posible realizarla en forma separada dado que dentro de los ecosistemas no existe una separación entre los servicios que se producen, por el contrario, se da una serie de interacciones entre los elementos bióticos y abióticos que hacen física y económicamente imposible su valoración individual.

En este estudio, se eligió el método del costo de oportunidad para determinar el valor aproximado de los servicios ambientales que los bosques en estudio generan. Sin

embargo, la interrelación entre estos servicios dificulta la valoración individual del servicio de fijación y almacenamiento de carbono.

A diferencia de los otros servicios ambientales (protección de la biodiversidad, del agua y la belleza del paisaje entre otros), la fijación y almacenamiento de carbono puede ser cuantificada físicamente en forma detallada para cada uno de los componentes del ecosistema (árboles, suelo, mantillo). En este estudio, se determinó el carbono acumulado en la biomasa aérea considerando tanto los fustes como las ramas y el follaje. Sin embargo, aún con las cifras del carbono fijado, el problema de valoración persiste pues el método de valoración elegido (costo de oportunidad) refleja el valor de *"toda la producción de bienes y servicios del ecosistema"*.

En el caso de los bosques dedicados a la protección absoluta, ese costo de oportunidad puede utilizarse como la expresión del "valor de los servicios ambientales que brinda el ecosistema", suponiendo que estos bosques no son sujetos a un aprovechamiento extractivo.

Uno de los aspectos más interesantes de la utilización de este método, es que en Costa Rica la Ley Forestal 7575 en su artículo 19 prohíbe explícitamente el cambio de uso del suelo de bosques a cualquier otro uso. Por tanto, en teoría el productor no tiene libertad para elegir entre el uso más rentable de sus terrenos cubiertos de bosque. Sin embargo, en la práctica el riesgo de cambio de uso permanece pues los bosques generan ingresos por hectárea cada ciclo de corta (15 años mínimo según la reglamentación costarricense) y durante el período de crecimiento de la nueva masa en el bosque, el propietario no recibe ingresos. Por ello, Costa Rica ha desarrollado un sistema de PSA que incluye el pago por la protección de la biodiversidad, la protección de las fuentes de agua, el mantenimiento de la belleza escénica y, el tema de este trabajo, por la mitigación de gases de efecto invernadero, específicamente por la fijación y almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales.

Al igual que en esta investigación, en la actualidad existen diversas iniciativas a nivel nacional para valorar cada uno de esos servicios por separado. Sin embargo, ya se ha discutido sobre la dificultad de esta valoración individual. Según Alfaro (1999a), el enfoque de esta valoración debe ser diferente. Lo que a Costa Rica le interesa es

identificar a los beneficiarios de cada uno de los servicios ambientales para que se pueda establecer la compensación o el pago que éstos deben realizar para continuar disfrutando de los servicios que los bosques prestan a la sociedad. En el caso específico de la fijación y almacenamiento de carbono, lo que interesa es conocer en forma precisa las cantidades de carbono que los ecosistemas fijan anualmente, lo que permitirá ingresar a las negociaciones internacionales de carbono con proyectos creíbles desde el punto de vista de una oferta bien definida. Una vez que el Protocolo de Kyoto se reglamente en la COP 6 en el año 2000, se empezará a formar el mercado de emisiones de gases con efecto invernadero y serán la oferta y demanda las que determinen el precio de cada tonelada fijada, almacenada o evitada.

Otro mecanismo para determinar el valor de la tonelada de carbono fijada está relacionado con los costos adicionales de los proyectos de esta naturaleza. Según Alfaro (1999a), los proyectos forestales que incluyen el componente "carbono", deben considerar en el flujo de costos la inversión adicional que deben realizar para poder incorporar dentro del flujo de ingresos la venta de ese servicio. Estos costos adicionales son:

- Costos de transacción: Estos son los costos de gestionar el proyecto tanto a nivel nacional (en las oficinas de Implementación Conjunta de los países) como la gestión de identificación de compradores en países industrializados, la negociación y formalización de la venta.
- Costos de certificación: El Protocolo de Kyoto es claro en cuanto a que las emisiones evitadas o fijadas deben ser certificadas por un tercero, lo cual implica un costo para el proyecto.
- Costos de seguimiento: Los proyectos deberán invertir en monitorear los flujos de carbono en el ecosistema para poder comprobar que su ejecución cumple con lo proyectado.

Por ello, es importante que el ingreso que se genera por la venta de la reducción de emisiones, cubra los costos adicionales del proyecto ligados a la inclusión de este componente y que este ingreso impacte positiva y significativamente los indicadores financieros del proyecto. Por tanto, mientras no exista un mercado claramente establecido para este servicio ambiental, en cada proyecto particular deberá analizarse el rango en

que resulta aceptable vender el servicio de fijar o “evitar la emisión” de una tonelada de carbono a fin de recuperar los costos adicionales en que se incurre y generar un ingreso adicional significativo por la venta del servicio (Alfaro 1999).

Sin embargo, aún con todas las limitaciones del método, se optó por determinar en primera instancia el “valor de todos los servicios ambientales” y luego, utilizando información generada por Otárola y Venegas (1999) establecer un valor aproximado de la tonelada de carbono fijada. De acuerdo a la encuesta a expertos desarrollada por los autores, se consideró que para realizar el PSA a los bosques, el servicio de fijación de carbono debe aportar al monto total de pago un 18%, con relación a la importancia que los expertos le asignaron a este servicio a nivel del ecosistema. Con base en esa información, se estimó el valor monetario mínimo y máximo de los servicios ambientales que generan los ecosistemas en estudio.

Con la máxima rentabilidad encontrada en la zona de Corinto, se tiene que el monto mínimo a pagar para los servicios ambientales es de \$ 234 ha⁻¹ año⁻¹ siendo superior el monto mínimo encontrado en la zona de Tirimbina en un 9% con \$ 255 ha⁻¹ año⁻¹. Por otro lado, el monto máximo reportado para la zona de Corinto fue de \$ 555 ha⁻¹ año⁻¹ superando en un 93% al monto máximo encontrado en la zona de Tirimbina (\$ 288 ha⁻¹ año⁻¹) (Cuadro 24).

Utilizando como referencia la tasa de fijación de carbono en estos bosques (2.3 m³ ha⁻¹ año⁻¹) se tiene que para el servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono los montos mínimos y máximos a pagar por tonelada de carbono fijada son de \$ 18.3 y \$ 43.5 en la zona de Corinto. Para la zona de Tirimbina el monto mínimo reportado fue de \$ 20 tC⁻¹ y el monto máximo fue de \$ 22.6 tC⁻¹.

Cuadro 24. Montos mínimos y máximos del pago de servicios ambientales en las zonas Corinto y Tirimbina

Servicio ambiental	I.R. (%)	Corinto (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)		Tirimbina (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Protección recurso hídrico	41	96	228	105	118
Protección biodiversidad	24	56	133	46	52
Fijación y almacenamiento de carbono	18	42	100	46	52
Protección belleza escénica	17	40	94	43	49
Total del PSA		234	555	255	288

I.R.: Importancia relativa

Sin embargo, hay elementos importantes que deben ser tomados en cuenta a la hora de asignar estos valores. Por un lado, que en muchos casos los terrenos cubiertos con bosque únicamente son aptos para la producción y conservación del mismo, por lo que no existe un costo de oportunidad real. Son terrenos de clara vocación forestal. En estos casos el mejor uso económico y ambiental es la protección absoluta. En estos casos, la metodología de valoración de los servicios ambientales debe ajustarse a la realidad físico-biológica del área.

Otro aspecto importante a considerar es el tamaño de los bosques para las zonas en estudio, ya que muchos de éstos son áreas medianas, pequeñas y muy pequeñas. Aunque en el país es prohibido el cambio de uso de la tierra, si éste se diera, los terrenos serían dedicados posiblemente a la ganadería, cuyo beneficio neto familiar es bajo y sensible a aumentos en los costos o disminución en los ingresos.

Además, estos bosques desde el punto de vista de almacenamiento y fijación de carbono son poco productivos, ya que cuentan con tres veces menos carbono almacenado que lo característico de un bosque tropical húmedo en esta zona. Por lo tanto, tomar únicamente el pago por el servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono para mantener las áreas boscosas no disminuiría en forma real el riesgo de pérdida de estos ecosistemas, pues debe analizarse la finca como una unidad productiva que, en forma ideal, debe satisfacer las necesidades de los productores.

Según Quirós y Gómez (1998), asumiendo un valor de la canasta básica de US\$ 2 699 año⁻¹ y bajo estas condiciones, un propietario que aproveche un volumen de madera de

10.1, 14.4. 18.4 m³ ha⁻¹ requiere cortar un mínimo de 601, 368 y 271 ha, respectivamente para que una familia de 4.5 miembros pueda cubrir sus gastos básicos. Por lo tanto, bajo las condiciones que se encuentran estos propietarios y para promover la conservación de los bosques, el PSA debe contemplar todos los servicios ambientales que presta el ecosistema, con un monto por hectárea tal que haga la diferencia entre la decisión de cortar y la decisión de proteger. Eso significa tomar decisiones políticas que contribuyan al desarrollo familiar y no únicamente que cubran el servicio ambiental que aportan a la humanidad entera.

El impacto de los ingresos por PSA en el flujo de caja del productor para el mantenimiento de su familia debe ser realmente significativo. Es por ello que el sistema de PSA costarricense, además de contribuir con el manejo y protección de bosques tiene también una función social, que esta directamente relacionada con el bienestar de los productores y de la sociedad en general.

6.5.2. Análisis de sensibilidad

Escenario 1: Variaciones en la tasa de descuento

Las áreas de bosque con PSA son sensibles a cambios en la tasa de descuento, presentando mayores rentabilidades (VAN) con tasas de descuento menores (5%), este va decreciendo conforme la tasa de descuento utilizada aumente. La misma situación se presenta con la relación B/C para ambas zonas (Cuadro 25). Esto coincide con lo expuesto por Alfaro (1999a), en cuanto mayor sea la tasa de descuento, menores serán los beneficios brutos y más importancia tendrá los costos en el análisis.

Para las áreas de bosque con PSA de manejo sostenible en la zona de Corinto y Tirimbina, los VAN obtenidos con una tasa de descuento de 5%, superan en un 23% y 22%, respectivamente al menor VAN presentado con una tasa de descuento 12%. Por otra parte, en las áreas de protección absoluta de las zonas de Corinto y Tirimbina los VAN superaron en un 7% y 4% con una tasa de descuento de 5% y 12%, respectivamente (Cuadro 25).

La tasa de descuento tiene importancia en los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono en la medida que sea el principal instrumento analítico para comparar los efectos económicos que se producen a lo largo del ciclo de producción (Alfaro 1999).

Cuadro 25. Indicadores financieros para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques con diferentes tasas de descuento para Corinto y Tirimbina

Zona Tipo de manejo	Escenarios Tasa descuento (%)	Indicadores financieros		
		VAN ($\text{€ ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)	VAN (US\$ $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)	B/C
Corinto				
Manejo sostenible	5	11 077	38	3.9
	7	10 278	35	3.8
	10	9 410	32	3.7
	12	8 986	31	3.7
Protección absoluta	5	2 523	9	3.3
	7	2 484	8	3.4
	10	2 416	8	3.6
	12	2 367	8	3.7
Tirimbina				
Manejo sostenible	5	10 525	36	3.4
	7	9 787	33	3.4
	10	8 993	31	3.4
	12	8 607	29	3.3
Protección absoluta	5	2 275	8	2.7
	7	2 263	8	2.8
	10	2 228	8	3.0
	12	2 197	7	3.1

VAN: Valor actual neto; B/C: Relación beneficio-costos (Ec. 28)

Escenario 2: Variaciones en los costos de mantenimiento y la asistencia técnica

Tanto las áreas de bosque con manejo sostenible como las áreas de protección absoluta no presentaron sensibilidad con un aumento de 25% de los costos de mantenimiento y asistencia técnica a una tasa de descuento de 7% (Cuadro 26). Sin embargo, la rentabilidad de las actividades de manejo forestal y de protección absoluta fueron sensibles a las demás variaciones en los costos de mantenimiento y de asistencia técnica.

Cuadro 26. Indicadores financieros para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques variando los costos de mantenimiento y de asistencia técnica de Corinto y Tirimbina

Zona Tipo de manejo	Costos de mantenimiento	Asistencia técnica	Indicadores financieros		
			VAN ₡ ha ⁻¹ año ⁻¹	VAN US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹	B/C
Corinto					
Manejo sostenible	Aum 25%	Aum 25%	10 278	35	3.8
	Aum 50%	Aum 50%	8 452	29	2.5
	Dism 25%	Aum 25%	9 730	33	3.3
	Dism 25%	Igual	10 461	36	4.0
Protección absoluta	Aum 25%	Aum 25%	2 484	8	3.4
	Aum 50%	Aum 50%	1 971	7	2.3
	Dism 25%	Igual	2 633	9	4.0
	No hay M.O.	Igual	3 079	11	8.1
Tirimbina					
Manejo sostenible	Aum 25%	Aum 25%	8 752	30	2.7
	Aum 50%	Aum 50%	7 716	26	2.2
	Dism 25%	Aum 25%	9 362	32	3.1
	Dism 25%	Igual	9 787	33	3.4
Protección absoluta	Aum 25%	Aum 25%	1 952	7	2.3
	Aum 50%	Aum 50%	1 640	6	1.9
	Dism 25%	Igual	2 467	8	3.4
	No hay M.O.	Igual	3 079	11	8.1

VAN: Valor actual neto; B/C: Relación beneficio-costos (Ec. 28); Tasa descuento: 7%

Escenario 3: Con o sin pago de servicio ambiental para cinco años y todo el ciclo de corta

Al asumir que los propietarios recibirán el PSA para las áreas de bosque que se encuentran bajo la categoría de manejo sostenible de bosques el cual es de $\approx 94\ 000\ \text{ha}^{-1}$ distribuidos en un período de cinco años, la rentabilidad bajo el escenario de si el pago es dado para todo el ciclo de corta (15 años) en la zona de Corinto y Tirimbina aumenta en un 14% y 13% respectivamente, con respecto a si el PSA es dado solo por un período de cinco años.

Por otra parte, al asumir que recibirán sólo ingresos por concepto de madera (dos cortas una al inicio y otra al final del ciclo) en ambas zonas el VAN supera en un 142% y 126% al VAN de todo el ciclo de corta (Cuadro 27).

Para las áreas con PSA de protección absoluta, cuyo monto es de $\approx 60\ 000\ \text{ha}^{-1}$ distribuidos en cinco años, la mayor rentabilidad se presenta bajo el escenario de recibir pagos durante todo el ciclo de corta en las zonas de Corinto y Tirimbina superando en un 163% y 140%, respectivamente, al respecto de sólo recibir el pago por el período de cinco años (Cuadro 27).

Cuadro 27. Indicadores financieros para el manejo sostenible y protección absoluta de bosques con o sin pago de servicios ambientales para Corinto y Tirimbina

Zona	PSA*	Indicadores financieros		
		VAN		B/C
		$\text{€ ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$	US\$ $\text{ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$	
Corinto				
Manejo sostenible	Con (5 años)	10 278	35	3.8
	Con (todo el cc)	11 666	40	3.3
	Sin	4 818	16	2.3
Protección absoluta	Con (5 años)	2 484	9	3.4
	Con (todo el cc)	6 534	22	5.2
	Sin	-1 026	-4	--
Tirimbina				
Manejo sostenible	Con (5 años)	9 787	33	3.4
	Con (todo el cc)	11 078	38	3.0
	Sin	4 328	15	2.0
Protección absoluta	Con (5 años)	2 632	8	2.8
	Con (todo el cc)	6 314	22	4.6
	Sin	-1 246	-4	--

VAN: Valor actual neto; B/C: Relación beneficio-costo (Ec. 28); (*) Tasa descuento: 7%; cc: ciclo de corta

6.6. Riesgos y oportunidades de los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono

6.6.1. Riesgos de los proyectos

Costa Rica ha desarrollado dos proyectos nacionales de mitigación de Gases con Efecto Invernadero (GEI), uno denominado Proyecto de Areas Protegidas (PAP), formulado desde 1997 y el Proyecto Forestal Privado (PFP), elaborado en 1999. En su conjunto, ambos proyectos abarcan todo el territorio nacional que puede destinarse a este tipo de actividades, por lo que la existencia de los proyectos es una muestra evidente de que el

país tiene la expectativa de comercializar a corto plazo el carbono fijado o no emitido en los ecosistemas forestales. Por ello, para Costa Rica, uno de los principales riesgos de los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono es que los mecanismos establecidos en el Protocolo de Kyoto para compensación de emisiones, tales como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y la Implementación Conjunta (IC), al igual que el mecanismo para el comercio de "reducción de emisiones" no entren en operación plena durante el período 2000-2002.

Desde 1998 existen diversos documentos como el del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y el de la Comisión de Servicios Ambientales, que establecen que el país espera reforzar financieramente el sistema de Pago de Servicios Ambientales (PSA) con la venta internacional del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales. La venta de este servicio es cada día más urgente, ya que el capital para el PSA ha disminuído drásticamente en los últimos dos años, debido a que el Gobierno ha desviado hacia otros sectores los fondos del tercio del Impuesto Selectivo de Consumo a los Combustibles que corresponde al PSA. Esta situación no parece mejorar en el futuro y por ello, si el sistema internacional de comercialización de créditos de carbono retrasa su entrada en operación, el sistema nacional tardará más tiempo en recibir esos fondos y la falta de recursos para PSA en el país podría afectar negativamente a los dueños del recurso. Además, esto podría tener consecuencias graves para las áreas boscosas, ya que algunos propietarios enfrentarían la tentación de cambiar el uso del bosque a otras actividades, principalmente agropecuarias, afectando por ende la cantidad de carbono acumulado en los ecosistemas.

Un segundo riesgo está dado por las expectativas de precio que se han generado a nivel nacional. Costa Rica logró comercializar un proyecto de carbono en US\$ 10 tC⁻¹ y este ha sido el punto de partida para que los formuladores de muchos otros proyectos estén bajo el supuesto de que este será el precio de comercialización del carbono. Sin embargo, algunos especialistas opinan que cuando el mercado opere plenamente, será difícil un precio mayor a US\$ 5 tC⁻¹. De ser así, muchas de las proyecciones financieras realizadas sobre los posibles ingresos a obtener en estos proyectos serán superiores a la realidad comercial.

Más que un riesgo, un reto importante es mantener los costos de transacción, de certificación y seguimiento de proyectos, y de esta forma, no consumir un alto porcentaje de los ingresos que generan éstos.

Otro aspecto importante es la capacidad y habilidad negociadora de los “dueños de los proyectos”. Un buen negociador debe asegurar la venta del carbono fijado o no emitido en un proyecto a lo largo de la vida útil del mismo. Sin embargo, el riesgo en las negociaciones iniciales será el de tener proyectos con una vida útil de 30 años que solo logren vender el carbono correspondiente a una parte del mismo, dejando pendiente la venta del resto del proyecto. Esto es un riesgo pues los compradores de este tipo de proyectos buscarán solamente adquirir créditos de carbono para el primer período de cumplimiento establecido en el Protocolo de Kyoto, o sea, del 2008 al 2012.

6.6.2. Oportunidades de los proyectos

Existe una gran gama de oportunidades que se presentan para los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono tanto a nivel nacional como internacional, y la cual se presentaría en caso de darse una apertura y consolidación del mercado para la venta de estos proyectos.

Uno de los principales beneficios que el país esperaría con estos acuerdos internacionales es el acceso a una entrada importante de inversión extranjera, asegurándose así un flujo de negociación a largo plazo. A los países en desarrollo se les presenta una gran oportunidad de orientar los nuevos flujos de capital a sectores económicos prioritarios promoviendo así un desarrollo sostenible. Estas inversiones tienen la gran ventaja productiva de que todos los beneficios ambientales y sociales formarán directamente parte integral del proyecto.

Los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono en el sector forestal, puede generar muchos otros beneficios ambientales tales como la reducción de la erosión del suelo, protección de cuencas hídricas, mejora en la calidad del aire y del agua, conservación de la biodiversidad, entre otros.

Según la filosofía de los acuerdos de los proyectos de mitigación tanto las tecnologías como el "know-how" transferidos a los países en desarrollo, deberán responder a criterios adecuados desde el punto de vista ambiental. Esta introducción de tecnologías nuevas y mejores traerá consigo el desarrollo de las fuentes de energía renovables como por ejemplo la energía de la biomasa; también permitirá desarrollar el manejo forestal sostenible de bosques y plantaciones, así como la conservación y preservación de los bosques.

Se presentaría un aumento en la capacitación dirigida principalmente a la concientización de la protección y conservación, así como la adecuada planificación de los diferentes ecosistemas productivos.

El sistema actual de manejo forestal sostenible y otros sistemas sostenibles como los sistemas agroforestales, las plantaciones forestales entre otros, podrán generar ingresos al flujo de caja del proyecto. Por su parte la industria forestal buscaría una utilización eficiente de los productos, aumentando el rendimiento en el proceso de aserrío a través del manejo de residuos en campo, aprovechamiento de diámetros menores, ramas y puntas. Tanto el manejo forestal sostenible como la utilización eficiente de los productos y residuos maderables a nivel industrial, deberán ser integrales con el objetivo de mostrar mayor credibilidad de los proyectos y obtener así un ingreso a largo plazo.

Este desarrollo forestal promoverá a la vez nuevos empleos en este sector como también tendrán gran importancia el aprovechamiento de los productos no maderables.

7. CONCLUSIONES

No se presentaron diferencias en la fracción de carbono en la biomasa de las especies forestales estudiadas. La cual varió entre 0.43 a 0.47, siendo similar a los resultados de otras investigaciones y a los tomados cuando no se cuenta con información.

Los modelos que mejor ajustaron la biomasa total fueron los que están en función del dap, volumen y biomasa de fuste. Todos tienen transformaciones logarítmicas. Mientras que los modelos que estiman la biomasa total en función de la altura comercial no ajustaron los datos. Las ecuaciones para estimar biomasa aérea reportados por la literatura subestiman en árboles grandes y para este tipo de bosques. El ajuste de las ecuaciones alométricas a los datos de estimación de biomasa total son más adecuados y predicen mejor para clases diamétricas entre 60 y 105 cm de dap y entre 15 a 44 m de altura total.

El factor de expansión de biomasa (FEB) y la cantidad de biomasa total para las especies en estudio coincide con los reportados por la literatura de 1.6 y de 172 t ha⁻¹ para los bosques húmedos tropicales.

El modelo para estimar volumen total en función del dap ajusta mejor en las clases diamétricas entre 60 y 105 cm de dap. Debido a que éste tiende a subestimar, en clases menores a 60 cm de dap, aunque no en tanta proporción. Las ecuaciones para estimar el carbono almacenado en función del dap fueron significativos y los coeficientes de determinación explicaron de un 65 a 71% la variabilidad de los datos.

No se presentaron diferencias significativas en los incrementos volumétricos para las PPM de las áreas experimentales de Corinto y Tirimbina. La cantidad de biomasa total para las PPM varió entre tratamientos y entre zonas. Las parcelas que no recibieron ningún tratamiento presentaron las mayores cantidades de biomasa total. Se presentaron diferencias en la cantidad de biomasa total y carbono almacenado entre los sitios de estudio, siendo mayor en Corinto que en Tirimbina.

La cantidad de biomasa total en las fincas privadas de Corinto fue mayor que en las fincas de Tirimbina. El contenido de carbono almacenado entre fincas de la misma zona varió según el manejo que haya recibido. La tasa de fijación anual de carbono varió entre fincas

(1.9 a 2.6 tC ha⁻¹ año⁻¹), dependiendo de la gravedad específica y de la fracción de carbono de las especies.

La biomasa total y el carbono almacenado en las PPM superaron en más del 100% a la encontrada en las fincas. Indicando que éstas últimas se ha dado una fuerte explotación maderera en años anteriores.

La determinación precisa del carbono en bosques privados que han sido sujetos al pago de servicio ambiental (PSA) permite conocer la cantidad de carbono almacenado para la venta internacional.

La gran mayoría de los propietarios dependen de las actividades que se desarrollan en la finca, por lo que consideran que el PSA es muy bajo y tienen que dedicarse a otras actividades como la ganadería o cultivos agrícolas los cuales en muchas ocasiones no son adecuados para los tipos de suelo, o no son rentables debido a su nivel económico. Además, existe una impresión general de que las instituciones no se han desempeñado satisfactoriamente en el cumplimiento de las responsabilidades para desarrollar la empresa forestal como una actividad rentable y atractiva.

La actividad agropecuaria que generan mayores beneficios netos familiares (BNF) es el palmito en la zona de Corinto y la ganadería lechera en Tirimbina. El manejo sostenible del bosque es rentable cuando se incluye al flujo de caja el PSA. La zona de Corinto presentó la mayor rentabilidad para áreas de bosque con manejo sostenible y con protección absoluta, debido principalmente a los menores costos de mantenimiento.

El PSA debería de ser al menos lo que obtendrían si invirtieran en otra actividad dentro de la finca. El costo de oportunidad en la zona Corinto fue mayor que en la Tirimbina, presentando rangos de \$ 234 a \$ 555 ha⁻¹ año⁻¹ en las áreas de manejo sostenible y de \$ 255 a \$ 288 ha⁻¹ año⁻¹ en las áreas de protección absoluta. Este método de valoración está fuertemente ligado a las condiciones de los bosques, en cuanto a características edáficas, topográficas y de accesibilidad a las mismas.

Deben tomarse decisiones políticas que contribuyan al desarrollo familiar y no únicamente que cubran los servicios ambientales. Destacando el valor del recurso y de los beneficios que proporciona a la humanidad entera.

Las áreas de bosque con PSA de manejo sostenible y protección absoluta son sensibles a cambios en la tasa de descuento, presentando mayores rentabilidades conforme disminuye la misma. Sin embargo, al aumentar los costos de mantenimiento y de asistencia técnica en un 25%, los bosques con manejo sostenible y protección absoluta no mostraron sensibilidad. Pero si mostraron sensibilidad a incrementos y decrecimientos en los costos de mantenimiento y asistencia técnica a partir del 50% principalmente. La actividad forestal para que sea rentable debe incluir un aporte por concepto de PSA.

8. RECOMENDACIONES

En futuras estimaciones de biomasa total para estos bosques se recomienda utilizar el modelo desarrollado en esta investigación, el cual está en función del dap; además, es una variable de fácil medición y los inventarios forestales cuentan con esta información.

Se recomienda utilizar ecuaciones para estimar biomasa aérea específicas para cada área boscosa, dependiendo de sus características ecológicas. Además de incluir árboles con dap menores a 60 cm, con el objetivo de obtener modelos que ajusten con mayor confiabilidad en estas clases diamétricas.

En estudios de estimaciones de carbono, se recomienda dar prioridad a las mediciones de biomasa en campo dado que la determinación precisa de esta asegura una estimación real de la cantidad de carbono acumulado. En segundo lugar, la determinación de la fracción de carbono y la gravedad específica de las especies dominantes del ecosistema en estudio.

Es importante realizar valoraciones que incluyan todos los servicios ambientales que producen los bosques con el fin de atribuir al propietario un monto atractivo para que maneje sosteniblemente su bosque o lo conserve.

El sistema de PSA costarricense requiere de una evaluación en cuánto a los montos de pagos establecidos por ley, ya que no refleja el costo mínimo de la actividad productiva rentable. El PSA no refleja el verdadero valor del recurso. Por lo tanto, es necesario investigar más sobre los montos a pagar para cada uno de los servicios ambientales que ofrece el bosque; agua, biodiversidad, captación de carbono y belleza escénica.

Brindar una mayor información a los productores del manejo forestal sostenible, no solo con el fin de obtener mayor producción de madera del bosque sino de los diversos servicios ambientales.

9. BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, R., ALLEN, M., CHERIAN, A., GRANICH, S., MINTZER, I., SUAREZ, A., AND VON HIPPEL, D. 1997. Climate Change Information Kit. United Nations Environment Programme's Information Unit for Conventions. 65 p.
- ALFARO, M. 1999a. Algunos elementos para la evaluación financiera de proyectos forestales que incluyen la mitigación de GHG. Resumen de la presentación realizada en el Seminario/Taller "Formulación y desarrollo de proyectos de cambio climático", realizado del 23 al 25 de junio de 1999 en Ciudad de Guatemala, Guatemala. 8 p.
- ALFARO, M. 1999b. La aplicación de indicadores para el buen manejo forestal en Costa Rica: Perspectivas del sector forestal privado. Charla presentada en la "Conferencia y Taller Internacional sobre indicadores para el manejo forestal sostenible en el neotrópico: *Fomento de acciones multisectoriales en el desarrollo e implementación de indicadores con base científica*". CATIE, Turrialba, Costa Rica. 9-12 de noviembre de 1999. 6 p.
- ALPIZAR, W. 1997. Venta de servicios ambientales a través de proyectos de implementación conjunta. *Ambien-tico* No. 53. Revista mensual del proyecto Actualidad Ambiental en Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Costa Rica. p 1-4.
- ANDRADE, H. 1999. Dinámica productiva de Sistemas Silvopastoriles en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- ARAUJO, T. M.; HIGUCHI, N.; DE CARVALHO JUNIOR, J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 117: 43-52
- BANCO MUNDIAL. 1994. Glosario anotado de términos utilizados en el análisis económico de proyectos agrícolas. Tomado de J. Price Gittinger, 1982. *Análisis Económico de Proyectos Agrícolas*. John Hopkins University Press, Baltimore. Glosario IICA del Banco Mundial. 134 p.
- BROWN, K.; ADGER, N. W. 1994. Economic and politic feasibility of international carbon offsets. *Forest Ecology and management*. 68: 217-229
- BROWN, S. 1990. Volume expansion factors for tropical forest. Report, prepared for the Tropical Forest Resource Assesment 1990 Project, FAO, Rome, Italy.

- BROWN, S. 1995. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. IPCC. 24. p 776-797
- BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO, Montes134. Roma. 55 p.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 35(4): 381-902
- BROWN, S.; LUGO, A. E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*. 14(3): 161-187.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*. 223: 1290-1293
- BROWN, S.; LUGO, A. E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*. 17(1): 8-27
- BROWN, T.; LeMAY, E. 1987. Química. La Ciencia Central. Tercera Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 898 p.
- CAIRNS, M. A.; MEGANCK, R. A. 1994. Carbon sequestration, biological diversity, and sustainable development: Integrated Forest Management. *Environmental management*. 18(1): 13 - 22
- CAMACHO, M.; FINEGAN, B. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica. El crecimiento diamétrico con énfasis en el rodal comercial. Unidad de Bosques Naturales. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico no. 295. Turrialba, Costa Rica. 54 p.
- CARPIO, I. 1992. Maderas de Costa Rica: 150 especies forestales. Editorial de la U.C.R. 338 p.
- CARRANZA, C. F.; BRUCE, A. A.; ECHEVERRIA, J., TOSI, J.; MEJIAS, R. 1996. Valoración de los Servicios Ambientales de los Bosques de Costa Rica. Centro Científico Tropical/ODA/MINAE. San José, Costa Rica. 77 p.
- CIESLA, W. M. 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudios FAO Montes 126. Roma. 147 p.
- CLINE, W.R. 1992. The Economics of Global Warming. Institute for International Economics. Washington D.C.
- COMISION DE SERVICIOS AMBIENTALES. 1998. Informe Final. Comisión de Servicios Ambientales del Proceso de Concertación: Consenso para un futuro Compartido. 25 de septiembre de 1998. San José, Costa Rica. 40 p.

- COSTA RICA, 1996. Ley Forestal No. 7575. Asamblea Legislativa. San José, Costa Rica.
- DELGADO, L. 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. 96 + anexos.
- DELGADO, L. D.; FINEGAN, B.; ZAMORA, N.; MEIR, P. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica: Cambios en la riqueza y composición de la vegetación. Serie Técnica. Informe Técnico No. 298. Unidad de Manejo de Bosques Naturales, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 43 p.
- EDUARTE, E.; SEGURA, M. A. 1999. Determinación de carbono utilizando la calorimetría. Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 15:54-55
- FONAFIFO. 1998. Una visión sobre la política de financiamiento forestal. *In* Foro nacional sobre análisis de políticas forestales y de recursos naturales de Costa Rica. ONF/UPA. San José, 8-9 de octubre de 1998. 19 p.
- GONZALEZ J. E. AND FISHER, R. F. 1998. Variation in selected wood properties of *Vochysia guatemalensis* from four sites in Costa Rica. *Forest Science*. 44(2):185-191.
- GONZALEZ, M.; GONZALEZ, G. 1973. Propiedades físicas, mecánicas, usos y otras características de algunas maderas comerciales importantes en Costa Rica. Laboratorio de Productos Forestales, Costa Rica.
- HIPKINS, M. F. 1984. Photosynthesis. *In* Plant Physiology. Malcolm b. Wilkins (De). Great Britain. pp: 219-248
- HOLDRIDGE, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- IPCC, 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Mexico city, 11 – 13 september 1996.
- JIMENEZ, J. 1967. Los árboles más importantes de la región de Upala Costa Rica. FAO-ITCO.
- JI ONLINE. 1996. Center for sustainable development in the americas. Joint Implementation in Costa Rica. ICCPF. International Climate Change. (http://www.ji.org/jinews/ji_cr.html) 6 p.

- JUSTIN, J. D.; STUART, M. D. 1994. Evolución de las políticas relativas a las emisiones de carbono. OIMT. (EE.UU). 2(5).
- KRAMER, R.; SHARMA, N. MUNASINGHE, M. 1995. Valuing tropical forests, methodology and case study of Madagascar. World Bank environment paper. No. 13. 67 p.
- KUKACHKA, B.F. 1968. Propiedades seleccionadas de 52 especies de madera del departamento del Petén, Guatemala. Proyecto de Evaluación Forestal –FAO– FYDEP. Boletín No. 2. Guatemala. 88 p.
- LA GACETA. 1998. Sistema Integral de retribución por Servicios Ambientales. Foro Nacional de la Concertación. Julio de 1998. Alcance No. 50 a La Gaceta No. 155. Martes 11 de agosto de 1998. pp: 25-29
- LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas –posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido- A. Carrillo (Trad.). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). República Federal de Alemania. 335 p.
- LOESTCH, F.; HALLER, K.E. 1973. Forest inventory. Volume II. English by K.F. Panzer. BLV Verlagsgesellschaft Munsen Bren Wrien, Germany. 458 p.
- LOPEZ, J.A.; LITTLE, E.L.; RITZ, G.F. 1987. Árboles comunes del Paraguay. Cuerpo de Paz. 150 p.
- MANTA, M. 1998. Análisis silviculturales de dos tipos de bosque húmedo de bajura en la vertiente atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 150 p.
- MIRANDA, R., CARRASCO, A., ALVAREZ, G., RUIZ, R. 1999. Expansión de FUNDECOR al Área de Conservación Tortuguero. Trabajo de campo. 151 p.
- NISKANEN, A., SAASTAMOINEN, O., RANTALA, T. 1996. Economic Impacts of Carbon Sequestration in Reforestation: Examples from Boreal and Moist Tropical Conditions. Research Articles. *Silva Fennica* 30 (2-3): 269-278.
- OCIC. 1998. Actividades de Implementación Conjunta en Costa Rica. Oficina Costarricense de Implementación Conjunta. San José, Costa Rica. 6 p.
- OFI. 1997. Prospect for Windows Oxford Forestry Institute. Versión 2.1 University of Oxford. Oxford, U.K.
- ORTIZ, E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Serie de Apoyo Académico No. 16. Cartago, Costa Rica. 71 p.

- ORTIZ, E. 1997a. Relaciones alométricas entre altura y diámetro en árboles de un bosque húmedo tropical. Instituto Tecnológico de Costa Rica. p: 22-24. In III Congreso Forestal Nacional (1997, San José, Costa Rica). Morales, E. y Cartín, F. (Editores). Resúmenes de Ponencias. San José, Costa Rica. 318 p.
- ORTIZ, E. 1997b. Desarrollo de ecuaciones para estimar biomasa arriba del suelo en árboles de un bosque húmedo tropical. Instituto Tecnológico de Costa Rica. p: 28-30. In III Congreso Forestal Nacional (1997, San José, Costa Rica). Morales, E. y Cartín, F. (Editores). Resúmenes de Ponencias. San José, Costa Rica. 318 p.
- OTAROLA, M.; VENEGAS, I. 1999. Propuesta de un sistema de compensación de servicios ambientales para los robledales de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Licenciatura. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 173 p.
- PACHAURI, R. K. 1996. El cambio climático en Europa central y oriental. Boletín Cambio Climático. Edición 12. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, PNUMA/OMM y la PNUMA. Suiza. 8 p.
- PANSHIN, A. J. AND DE ZEEUW, C. 1970. Textbook of wood technology. Structure, Identification, Defects, and uses of the commercial woods of the United States. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. Vol 1. 705 p.
- PARDE, D. R. 1980. Forest Biomass. Review article. Forestry Abstracts. 41(8): 343-362.
- PEARCE, D.; TURNER, R. 1991. Economics of Natural Resources and the Environmental Harvest, Wheatsheaf. Hertfordshire.
- PEDRONI, L. 1999. Implementación conjunta y desarrollo limpio: Antecedentes a nivel mundial. Manejo Forestal Tropical. No. 10. Unidad de Manejo de Bosques Naturales. CATIE. 12 p.
- PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; NUÑEZ, P. V.; VASQUEZ, R. M.; LAURANCE, S. G.; FERRERIA, L. V.; STERN, M.; BROWN, S.; GRACE, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots. Science. 282: 439-442
- QUIRÓS, D. 1998. Prescripción de un tratamiento silvicultural en un bosque primario intervenido de la zona atlántica de Costa Rica. Unidad de Manejo de Bosque Natural. Nota Técnica No. 5. Unidad de Manejo de Bosques Naturales, CATIE. 9 p.

- QUIRÓS, D.; FINEGAN, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica: definición de un plan operacional y resultados de su aplicación. Programa manejo Integrado de Recursos Naturales. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico no. 225. 26 p.
- QUIROS, D.; GÓMEZ, M. 1998. Manejo sustentable de un bosque primario intervenido en la zona Atlántica Norte de Costa Rica: análisis financiero. Serie Técnica. Informe Técnico no. 33. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales no. 13. Turrialba, Costa Rica. 22 p.
- ROJAS, I.; SALAZAR, L.; VALVERDE, A. 1995. Control de Proyectos para el Manejo de Recursos Naturales. Caso: Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central. Memoria de Graduación. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Administración de Negocios. Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio". 242 p.
- RUTHENBERG, H. 1980. Farming systems in the tropics. Tercera edición. Clarendon, Oxford. p. 1-18, 382-389.
- SEGURA, M. M. A. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Licenciatura. Escuela Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Costa Rica, Heredia. 147 p.
- SIMEONOVA, K. 1996. El cambio climático en Europa central y oriental. Boletín Cambio Climático. Edición 12. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, PNUMA/OMM y la PNUMA. 8 p.
- SMITH, J.; MOURATO, S.; VENEKLAAS, E.; LABARTA, R.; REATEGUI, K.; SANCHEZ, G. s.f. Willingness to pay for environmental services among slash-and burn farmers in the Peruvian Amazon: implications for deforestation and global environmental markets. 7 p.
- SOLIZ, S, B. G. 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 113 p + anexos.
- UNFCCC. 1998. Cuarto período de sesiones de las Partes de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Conversaciones de Buenos Aires relativas al Protocolo de Kyoto para promover la reducción de emisiones. Comunicado de prensa. 2 al 13 de noviembre de 1998. Buenos Aires, Argentina. (<http://www.cop4.org/sp/index>).



UNFCCC. 1999. Glossary of climate change acronyms and jargon. United Nations Framework Convention on Climate Change. 6 p.

(<http://www.unfccc.de/siteinfo/glossary.html>)

USIJI. 1995. About USIJI. U.S. Initiative on Joint Implementation.

WHRC. 1998. Global Carbon Cycle. The Woods Hole Research Center.

(<http://www.whrc.org/carbon/carbon.html>)

Anexo 1. Especies seleccionadas según el criterio de área basal, por tratamiento para las parcelas permanentes de muestreo del área experimental de Los Laureles de Corinto, Guápiles

Tratamiento	Especie	Clasificación de la especie	AB _{total} (m ²)	AB (m ² ha ⁻¹)
APROVECHAMIENTO				
1	<i>Pentaclethra macroloba</i>	C	37.64	12.55
2	<i>Micropholis crotonoides</i>	N.C.	1.99	1.99
3	<i>Cecropia insignis</i>	N.C.	0.66	0.66
Subtotal			40.28	15.19
Total del tratamiento			70.72	29.61
APROVECHAMIENTO MÁS TRATAMIENTO SILVICULTURAL				
1	<i>Pentaclethra macroloba</i>	C	25.36	8.45
2	<i>Carapa guianensis</i>	C	3.72	1.24
3	<i>Tapirira guianensis</i>	C	2.01	1.00
4	<i>Pouteria campechiana</i>	N.C.	1.92	0.64
5	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	C	0.95	0.95
6	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	C	0.82	0.82
7	<i>Calophyllum brasiliense</i>	C	0.76	0.76
8	<i>Hasseltia floribunda</i>	N.C.	0.75	0.75
Subtotal			36.29	14.62
Total del tratamiento			65.80	29.96
SIN MANEJO				
1	<i>Pentaclethra macroloba</i>	C	40.40	13.47
2	<i>Tapirira guianensis</i>	C	3.74	1.87
3	<i>Maranthes panamensis</i>	N.C.	3.06	1.02
4	<i>Micropholis crotonoides</i>	N.C.	2.94	1.47
5	<i>Pouteria campechiana</i>	N.C.	1.75	0.88
Subtotal			51.89	18.70
Total del tratamiento			86.90	36.81

C: Comercial; N.C.: No comercial; AB: Area basal

Anexo 2. Especies seleccionadas según el criterio de área basal, por tratamiento para las parcelas permanentes de muestreo del área experimental de La Tirimbina, Sarapiquí

Tratamiento	Especie	Clasificación de la especie	AB _{total} (m ²)	AB (m ² ha ⁻¹)
TESTIGO				
1	<i>Laetia procera</i>	C	21.94	7.31
2	<i>Qualea paraensis</i>	C	2.48	0.83
3	<i>Conceveiba pleiostemona</i>	N.C.	1.66	0.55
4	<i>Macrobium costaricense</i>	N.C.	1.61	0.54
5	<i>Croton smithianus</i>	N.C.	1.51	0.50
6	<i>Hernandia didymantha</i>	N.C.	1.44	1.44
7	<i>Tetragastris panamensis</i>	C	1.41	0.47
8	<i>Ferdinandusa panamensis</i>	N.C.	1.38	1.38
9	<i>Vochysia ferruginea</i>	C	1.10	0.55
10	<i>Dendropanax arboreus</i>	C	0.99	0.49
11	<i>Pentaclethra macroloba</i>	C	0.75	0.75
Subtotal			36.28	14.82
Total del tratamiento			66.88	29.58
TRATAMIENTO DOSEL PROTECTOR				
1	<i>Pouteria reticulata</i>	N.C.	22.22	7.41
2	<i>Vochysia ferruginea</i>	C	3.15	1.05
3	<i>Vitex cooperi</i>	C	1.50	0.50
4	<i>Casearia arborea</i>	N.C.	1.26	0.42
5	<i>Protium ravenii</i>	N.C.	1.20	0.40
6	<i>Qualea paraensis</i>	C	1.17	0.39
7	<i>Tapirira guianensis</i>	C	1.15	0.58
8	<i>Inga coruscans</i>	N.C.	1.12	0.37
9	<i>Tetragastris panamensis</i>	C	0.80	0.40
10	<i>Laetia procera</i>	C	0.75	0.38
11	<i>Pentaclethra macroloba</i>	C	0.40	0.40
Subtotal			34.74	12.30
Total del tratamiento			62.50	24.70
TRATAMIENTO LIBERACIÓN PARCIAL				
1	<i>Minguartia guianensis</i>	C	16.14	5.38
2	<i>Vochysia ferruginea</i>	C	2.01	0.67
3	<i>Pentaclethra Macroloba</i>	C	1.56	0.52
4	<i>Lecythis ampla</i>	C	1.47	0.74
5	<i>Protium ravenii</i>	N.C.	1.36	0.68
6	<i>Qualea paraensis</i>	C	1.31	0.44
7	<i>Tabebuia rosea</i>	C	1.16	0.39
8	<i>Cordia bicolor</i>	C	1.15	0.38
9	<i>Terminalia amazonia</i>	C	1.13	0.38
10	<i>Humiriastrum diguense</i>	C	1.07	0.36
11	<i>Balizia elegans</i>	C	0.60	0.60
12	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	C	0.52	0.52
13	<i>Carapa guianensis</i>	C	0.41	0.41
Subtotal			29.89	11.46
Total del tratamiento			51.31	22.81

C: Comercial; N.C.: No comercial; AB: Area basal

Anexo 3. Modelos genéricos utilizados para estimar la biomasa total y volumen total a partir de la biomasa de fuste, volumen de fuste, dap, altura total y altura comercial

Autor	Modelo genérico
<i>Variable: Diámetro, altura total, altura comercial, biomasa de fuste, volumen de fuste.</i>	
Berkhout	$B = a + b \cdot V$
Kopecky	$B = a + b \cdot V^2$
Hohenadl - Krenn	$B = a + b \cdot V + c \cdot V^2$
Husch	$\ln B = a + b \cdot \ln V$

Variable: Diámetro y altura

Spurr (1952)	$B = a + b \cdot d^2 \cdot h$
Stoate	$B = a + b \cdot d^2 + c \cdot d^2 \cdot h + d \cdot h$
Meyer (1953)	$B = a + b \cdot d^2 + c \cdot d \cdot h + d \cdot d^2 \cdot h$
Bruce y Schumacher (1949)	$\ln B = a + b \cdot \ln d + c \cdot \ln h$

Donde: d: Diámetro a la altura de pecho (cm); h: altura comercial o total (m); v: dap, altura total y comercial, biomasa de fuste (t), volumen de fuste (m³); a, b, c: parámetros del modelo

Encuesta para la recolección de información de los propietarios de las fincas

I. **Presentación:**

Estimado/a señor/a:

El propósito de esta encuesta es dar una idea más clara del valor real del servicio ambiental de fijación de carbono que ofrece el bosque a la humanidad; además, se identificarán las actividades productivas de la finca con el fin de poder tener un parámetro de comparación con el servicio ambiental de carbono como una actividad productiva más del sistema. Este estudio se desarrollará en las fincas localizadas a un radio de 10 km de las Áreas Experimentales de las fincas La Tirimbina y Los Laureles de Corinto las cuales son administradas por el CATIE. La información generada será estrictamente confidencial y será utilizada para fines académicos y científicos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y, de la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR).

Encuesta No.: _____ Finca número: _____
Fecha: _____ Distrito: _____ Cantón: _____
Provincia: _____
Dirección: _____
Ubicación geográfica: _____ Altitud: _____msnm

II. **Información general:**

- 2.1. Nombre del propietario: _____
- 2.2. Nacionalidad: _____
- 2.3. Área de la finca total: _____ ha
- 2.4. Cuál es su principal fuente de ingresos: Finca: _____ Otros (Cuál): _____
- 2.5. Posee otras fincas en el área: SI _____ NO _____
- 2.6. Vive usted en la finca? SI _____ NO _____

III. **Información de la finca:**

- 3.1. Cuáles son las actividades productivas existentes en la finca?
___ Ganadería ___ Agricultura ___ Forestal ___ No tradicionales ___ Otras
- 3.2. Cuánta superficie (ha) tiene de cada una de las actividades en caso de existir más de una.
___ Ganadería ___ Agricultura ___ Forestal ___ No tradicionales ___ Otras
- 3.3. Cuál es su producción más importante, en orden de prioridad cuáles serían:
1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____
- 3.4. Contratan mano de obra: SI _____ NO _____
- 3.5. Hay disponibilidad: SI _____ NO _____ Ocasional _____
- 3.6. Cuántos jornales al año: _____
- 3.7. Qué precio tiene el jornal: _____
- 3.8. Mencione los gastos mensuales ó anuales de la finca:

Cuadro 1. Listado de insumos que se utilizan dentro de la finca.

Insumo	Cantidad (±)
Planilla	
Fertilizante	
Agroquímicos	
Medicinas	
Suplementos	
Gasolina	
Diesel	
Electricidad	
Otros...	

IV. Información por actividad

4.1. Ganadería

4.1.1. Ganadería de leche

Cuadro 2. Información de ganadería de leche

Tipo de animal	Raza	Cantidad	Producción		Venta		Autoconsumo	
			(lt/día)	(lt/día)	(lt/día)	(lt/día)	(lt/día)	(lt/día)
			> Prod.	< Prod.	> Prod.	< Prod.	> Prod.	< Prod.
Vacas ordeño								
Vacas secas								
Terneros								
Toretas								
Toros								

- 4.1.1.1. Cuántas veces por día ordeña : _____
- 4.1.1.2. Obtiene algún otro producto derivado de la leche:
SI ___ NO ___ Cuáles _____
- 4.1.1.3. A qué precio vende la leche: _____ Otros productos _____
- 4.1.1.4. Meses de mayor producción: _____
- 4.1.1.5. Qué cantidad vende de los productos?
Leche _____ Queso _____ Natilla _____
- 4.1.1.6. Cómo comercializa los productos? _____
- 4.1.1.7. Si los vende fuera de la finca, como los transporta:
Vehículo propio: SI _____ NO _____
Paga flete: SI _____ NO _____ Cuánto? _____
Otro: _____
- 4.1.1.8. Cuál es el valor aproximado del transporte, si es propio?
Gasolina _____
- 4.1.1.9. Manejo del hato:
 - Cómo es la alimentación de los animales:
 - Pastoreo _____ Estabulado _____ Semiestabulado _____
 - Suministra concentrados: SI _____ NO ___ Cuánto ___ Precio _____
 - Pasto de corte _____
 - Suministra suplementos: SI ___ NO ___ Cuánto? ___ Precio _____
 - Suministra melaza: SI ___ NO ___ Cuánto? ___ Precio _____
 - Suministra sal: SI _____ NO ___ Cuánto? _____ Precio _____
 - Otros gastos: _____
- 4.1.1.10. Manejo sanitario:
 - Limpieza del ordeño:

- Prevencción del aseo del ordeño: SI ____ NO ____
 Qué productos utiliza? _____ Cantidad ____ Precio ____
- Baño del ganado:
 Frecuencia: ____ Productos _____ Cantidad ____ Precio ____
 - Vacunación:
 Vacuna _____ Productos _____ Dosis ____ Frecuencia ____ Precio ____
 - Otros gastos: _____

4.1.2. Ganadería de carne

Cuadro 3. Información para ganadería de carne

Tipo de animal	Raza	Cantidad	Peso al inicio (kg)	Peso a la venta (kg)	Tiempo	Precio carne (col)
Novillos cebados						
Terneros						

- 4.1.2.1. Comercialización:
 Dónde vende? _____
 Paga fletes: SI ____ NO ____
 Otros: _____
- 4.1.2.2. Manejo:
- Suministra concentrados: SI ____ NO ____ Cuánto? ____
 Precio ____ (col)
 - Suministra pasto de corte: SI ____ NO ____ Cuánto? ____
 - Suministra suplementos: SI ____ NO ____ Cuánto? ____ Precio ____ (col)
 - Suministra melaza: SI ____ NO ____ Cuánto? ____
 Precio ____ (col)
 - Suministra sal: SI ____ NO ____ Cuánto? ____ Precio ____ (col)
 - Otros gastos: _____
- 4.1.2.3. Manejo sanitario:
- Limpieza:
 Prevencción del aseo: SI ____ NO ____
 Qué productos utiliza? _____ Cantidad ____
 Precio ____ (col)
 - Baño del ganado:
 Frecuencia: ____ Productos _____ Cantidad ____
 Precio ____ (col)
 - Vacunación:
 Vacuna _____ Productos _____ Dosis ____
 Frecuencia ____ Precio ____ (col)
 - Asistencia técnica: SI ____ NO ____ Precio ____ (col)
 - Otros gastos: _____

4.2. Agricultura

4.2.1. Qué cultivos tiene en su finca? _____, _____, _____.

Cuadro 4. Información para cultivos (ingresos brutos)

Tipo de Cultivo	Area (ha)	Rendimiento	
		Cantidad	Precio (colones)

Cuadro 5. Información para cultivos (Costos de producción).

Producto	Cantidad	Precio (colones)
1. Fertilizantes		
2. Herbicidas		
3. Mano de Obra		

4.2.2. Cómo comercializa los productos? _____ Finca _____ CENADA _____ Otros _____

4.2.3. Cuánto produjo el año anterior de cada uno de los cultivos? _____

4.2.4. Paga transporte: SI _____ NO _____

4.2.5. Tipo de transporte: _____ Precio: _____

4.2.6. Cuáles son los meses de mayor venta:

E _ F _ M _ A _ M _ J _ J _ A _ S _ O _ N _ D _ Cantidad: _____

4.2.7. Cuáles son los meses de menor venta:

E _ F _ M _ A _ M _ J _ J _ A _ S _ O _ N _ D _ Cantidad: _____

4.3. Forestal

4.3.1. Si tiene bosque, lo tiene bajo manejo forestal: SI _____ NO _____

Porqué? _____

4.3.2.Cuál es el objetivo del manejo de su bosque? _____

4.3.3. Si el gobierno le permitiera cortar el bosque lo haría? SI _____ NO _____ Porqué? _____

4.3.4. Cuenta con plantaciones forestales: SI _____ NO _____

4.3.5. Tiene árboles aislados en la finca? SI _____ NO _____

Cuadro 6. Ingresos brutos de la actividad forestal

Actividad	Producto o Especies	Producción o Cantidad	Objetivo		Precio (colones)
			Venta	Autoc*	
1. Bosque					
a) Manejo					
b) Conservación					
c) Protección					
d) Otros					
2. Plantaciones					
a) Madera					
b) Leña					
c) Otros					
3. Árboles en potrero					
a) Leña					
b) Madera					
c) Abono					
d) Frutos					
e) Cerca vivo					
f) Forraje					
4. Sistemas Agroforestales					
a) Madera					
b) Leña					
c) Forraje					
d) Otros					
Autoc: Autoconsumo					

4.3.6. Reciba incentivos forestales? SI ____ NO ____ Cuál? _____

Cuadro 7. Costos de producción de la actividad forestal

Actividad	Cantidad	No. Jornales	Precio/jornal
1. Bosque			
a) Chapea			
b) Mantenimiento de cercas			
c) Eliminación de lianas			
d) Visita técnica			
e) Vigilancia			
2. Plantaciones			
a) Chapea			
b) Mantenimiento de cercas			
c) Visita técnica			
d) Otros			
3. Árboles en potrero			
a) Chapea			
b) Mantenimiento de cercas			
c) Abono			
4. Sistemas Agroforestales			
a) Fertilización			
b) Chapea			
c) Mantenimiento de cercas			
d) Otros			

4.4. Otras actividades que se desarrollan en la finca.

Cuadro 8. Información de otras actividades que se desarrollen en la finca.

Animal	Número	Producción	Venta (#)		Precio/unidad (colones)
			Venta	Consumo	
Cerdos					
Gallinas					
Cabras					
Chompipes					
Otros					

4.5. A su criterio, cuál de las actividades que desarrolla actualmente le resulta más rentable?

_____ Porqué? _____

4.6. Si pudiera invertir en cual actividad lo haría? _____

4.7. Con cuánta mano de obra cuenta (hombres y/o mujeres) actualmente:

4.8. Cuáles son los meses de mayor cantidad de mano de obra:

E_F_M_A_M_J_J_A_S_O_N_D_ Cantidad: _____

4.9. Cuáles son los meses de menor cantidad de mano de obra:

E_F_M_A_M_J_J_A_S_O_N_D_ Cantidad: _____

Anexo 5. Gravedad específica de ramas y fuste de los árboles muestreados

Arbol muestreado	Especie	Sección del árbol	Dap (cm)	Diámetro de rama (cm)	G.E (t m ⁻³)
1	<i>C. guianensis</i>	Rama	85.0	16.0	0.67
1	<i>C. guianensis</i>	Rama	85.0	5.0	0.60
1	<i>C. guianensis</i>	Fuste	85.0		0.58
2	<i>C. guianensis</i>	Rama	94.0	5.6	0.68
2	<i>C. guianensis</i>	Rama	94.0	32.8	0.69
2	<i>C. guianensis</i>	Fuste	94.0		0.63
3	<i>I. coruscans</i>	Rama	90.5	4.6	0.72
3	<i>I. coruscans</i>	Rama	90.5	19.4	0.72
3	<i>I. coruscans</i>	Fuste	90.5		0.72
4	<i>I. coruscans</i>	Rama	67.0	5.6	0.58
4	<i>I. coruscans</i>	Rama	67.0	15.1	0.67
4	<i>I. coruscans</i>	Fuste	67.0		0.69
5	<i>I. coruscans</i>	Rama	63.3	17.7	0.64
5	<i>I. coruscans</i>	Rama	63.3	5.5	0.59
5	<i>I. coruscans</i>	Fuste	63.3		0.69
6	<i>L. procera</i>	Rama	94.0	27.0	0.65
6	<i>L. procera</i>	Fuste	94.0		0.71
7	<i>L. procera</i>	Rama	65.0	22.0	0.72
7	<i>L. procera</i>	Rama	65.0	5.1	0.61
7	<i>L. procera</i>	Fuste	65.0		0.73
8	<i>M. guianensis</i>	Fuste	66.0		0.69
8	<i>M. guianensis</i>	Rama	66.0	15.0	0.70
9	<i>M. guianensis</i>	Fuste	75.0		0.71
9	<i>M. guianensis</i>	Rama	75.0	5.0	0.68
10	<i>P. macroloba</i>	Rama	95.0	18.2	0.68
10	<i>P. macroloba</i>	Fuste	95.0		0.46
11	<i>P. macroloba</i>	Rama	100.0	17.25	0.57
11	<i>P. macroloba</i>	Fuste	100.0		0.60
12	<i>P. macroloba</i>	Rama	80.0	15.75	0.56
12	<i>P. macroloba</i>	Fuste	80.0		0.58
13	<i>P. macroloba</i>	Rama	77.0	19.0	0.61
13	<i>P. macroloba</i>	Rama	77.0	5.0	0.60
13	<i>P. macroloba</i>	Fuste	77.0		0.72
14	<i>S. microstachyum</i>	Fuste	67.0		0.60
14	<i>S. microstachyum</i>	Rama	67.0	21.0	0.60
14	<i>S. microstachyum</i>	Rama	67.0	7.5	0.56
15	<i>T. guianensis</i>	Rama	67.0	7.5	0.57
15	<i>T. guianensis</i>	Fuste	67.0		0.63
16	<i>T. guianensis</i>	Rama	76.5	13.2	0.48
16	<i>T. guianensis</i>	Fuste	76.5		0.58
17	<i>T. guianensis</i>	Rama	66.7	4.5	0.65
17	<i>T. guianensis</i>	Rama	66.7	22.3	0.43
17	<i>T. guianensis</i>	Fuste	66.7		0.65
18	<i>V. ferruginea</i>	Fuste	82.0		0.57
18	<i>V. ferruginea</i>	Rama	82.0	18.1	0.62
19	<i>V. ferruginea</i>	Fuste	86.0		0.47
20	<i>V. ferruginea</i>	Rama	84.0	16.4	0.64
20	<i>V. ferruginea</i>	Fuste	84.0		0.47

Anexo 6. Fracción de carbono en fustes y ramas para los árboles muestreados

Arbol No.	Nombre común	FUSTE		Rama	
		Dap (cm)	F.C. (%)	Diámetro (cm)	F.C. (%)
1	<i>C. guianensis</i>	85.0	44.78	16.0	44.82
1	<i>C. guianensis</i>	85.0		5.0	44.64
2	<i>C. guianensis</i>	94.0	43.18	5.6	45.80
2	<i>C. guianensis</i>	94.0		32.8	44.21
3	<i>C. guianensis</i>	105.0	46.77	18.6	42.79
3	<i>C. guianensis</i>	105.0		< 2.0	44.40
3	<i>C. guianensis</i>	105.0		23.2	46.75
4	<i>I. coruscans</i>	63.3	48.86	17.7	46.48
4	<i>I. coruscans</i>	63.3		5.5	45.07
5	<i>I. coruscans</i>	67.0	48.08	5.6	44.90
5	<i>I. coruscans</i>	67.0		15.1	45.00
6	<i>I. coruscans</i>	90.5	45.56	4.6	44.05
6	<i>I. coruscans</i>	90.5		19.4	43.80
7	<i>L. procera</i>	65.0	49.67	5.1	46.42
7	<i>L. procera</i>	65.0		22.0	45.53
8	<i>L. procera</i>	94.0	47.53	27.0	44.94
9	<i>M. crotonoides</i>	50.0	39.42		
10	<i>M. crotonoides</i>	77.5	43.90		
11	<i>M. crotonoides</i>	90.0	45.08		
12	<i>M. guianensis</i>	66.0	49.77	16.6	44.96
13	<i>P. macroloba</i>	77.0	46.15	19.0	45.55
13	<i>P. macroloba</i>	77.0		5.0	46.11
14	<i>P. macroloba</i>	80.0	45.14	15.8	46.53
15	<i>P. macroloba</i>	95.0	49.00	18.2	49.39
16	<i>P. macroloba</i>	100.0	48.93	17.3	46.11
17	<i>S. microstachyum</i>	67.0	45.50	21.0	43.90
17	<i>S. microstachyum</i>	67.0		7.5	45.80
18	<i>T. guianensis</i>	66.7	48.44	4.5	43.77
18	<i>T. guianensis</i>	66.7		22.3	40.92
19	<i>T. guianensis</i>	67.0	49.38	7.5	47.52
19	<i>T. guianensis</i>	67.0		35.6	45.40
19	<i>T. guianensis</i>	67.0		< 2.0	47.62
20	<i>T. guianensis</i>	76.5	42.33	13.2	46.13
21	<i>V. ferruginea</i>	82.0	41.90	< 1.0	45.03
21	<i>V. ferruginea</i>	82.0		18.1	46.10
22	<i>V. ferruginea</i>	84.0	48.58	4.9	47.46
22	<i>V. ferruginea</i>	84.0		16.4	48.34
23	<i>V. ferruginea</i>	86.0	49.21	< 2.0	42.57
23	<i>V. ferruginea</i>	86.0		16.6	42.71

F.C.: Fracción de carbono; (*) Árboles en pie

Anexo 7. Diámetro, altura comercial y total, volúmenes y cantidad de biomasa para todas las especies

Especies	dap (cm)	hc (m)	ht (m)	Vc (m ³)	Vtnc (m ³)	Vtc (m ³)	Vrg (m ³)	Bc (t)	Btnc (t)	Btc (t)	Brg (t)	Brp (t)	Bt (t)
<i>C. guianensis</i>	85	22.7	44	7.42	0	4.19	2.86	4.45	0	2.51	1.89	0.26	9.11
<i>C. guianensis</i>	94	18.5	26	7.51	0	2.10	2.89	4.50	0	1.26	1.91	0.08	7.76
<i>C. guianensis</i>	105	12.6	28	9.31	1.24	0.71	7.51	5.59	0.74	0.43	4.96	0.27	11.98
<i>I. coruscans</i>	63	11.8	20	2.74	0	0.55	2.52	1.92	0	0.38	1.64	0	3.94
<i>I. coruscans</i>	67	17.6	29	4.37	0	0.71	2.24	3.06	0	0.50	1.46	0.07	5.09
<i>I. coruscans</i>	91	14.3	30	6.65	0	1.62	4.43	4.65	0	1.13	2.88	0.19	8.86
<i>L. procera</i>	65	21	35	4.09	0.42	0.70	1.82	2.95	0.30	0.50	1.20	0.29	5.25
<i>L. procera</i>	94	16.8	43	7.82	2.04	2.78	5.51	5.63	1.47	2.00	3.64	0.27	13.02
<i>P. macroloba</i>	77	12.6	15	3.87	0	0.74	2.45	2.28	0	0.43	1.49	0.06	4.26
<i>P. macroloba</i>	80	16.8	25	5.15	0.82	2.63	2.57	3.04	0.48	1.55	1.57	0.07	6.71
<i>P. macroloba</i>	95	10.1	20	3.42	0.56	1.99	4.49	2.02	0.33	1.17	2.74	0.20	6.46
<i>P. macroloba</i>	100	14.3	18	5.11	2.26	1.66	5.79	3.02	1.00	0.98	3.53	0.14	9.00
<i>S. microstachyum</i>	67	20	31	3.50	0.57	0.36	3.45	2.10	0.34	0.21	2.07	0.10	4.82
<i>T. guianensis</i>	67	12.6	24	3.16	0	0.28	2.70	1.96	0	0.18	1.43	0.20	3.76
<i>T. guianensis</i>	67	13	20	1.79	0	0.51	2.92	1.11	0	0.32	1.55	0.13	3.10
<i>T. guianensis</i>	77	12.6	36	3.77	0	2.28	2.29	2.34	0	1.42	1.21	0.20	5.16
<i>V. ferruginea</i>	82	19.3	28	6.41	1.07	0.44	1.52	3.21	0.54	0.22	0.96	0.33	5.25
<i>V. ferruginea</i>	84	20.2	27	6.68	0.40	.65	3.05	3.34	0.20	0.32	1.92	0.30	6.08
<i>V. ferruginea</i>	86	15.1	32	6.03	0.95	1.57	4.47	3.01	0.47	0.78	2.82	0.14	7.23

dap: Diámetro a la altura de pecho; hc: Altura comercial real; ht: Altura total; Vc: Volumen comercial; Vtnc: Volumen de troza no comercial; Vtc: Volumen de tocón; Vrg: Volumen de ramas grandes; Bc: Biomasa comercial; Btnc: Biomasa de troza no comercial; Btc: Biomasa de ramas grandes; Brp: Biomasa de ramas pequeñas; Bt: Biomasa de tocón; Bt: Biomasa total.

Anexo 8. Modelos para determinar biomasa total a partir de la biomasa y volumen de fuste, dap y altura total.

Modelo	R ²	R ² -ajust	CV (%)	Pr > F
BIOMASA DE FUSTE:				
1. Ln(BT) = 0.70** + 0.81**Ln(bfuste)	0.92	0.91	6.4	**
2. Ln(BT) = 0.98** + 0.19**(bfuste)	0.91	0.90	6.7	**
3. BT = 0.79 ^{NS} + 1.35**(bfuste)	0.91	0.91	12.4	**
4. BT = -0.72 ^{NS} + 5.34**Ln(bfuste)	0.82	0.81	17.5	**
VOLUMEN DE FUSTE:				
5. Ln(BT) = 0.94** + 0.12**(vfuste)	0.90	0.89	7.1	**
6. Ln(BT) = 0.37* + 0.78**Ln(vfuste)	0.87	0.86	8.1	**
7. BT = 0.67 ^{NS} + 0.84**(vfuste)	0.85	0.84	16.4	**
8. BT = -2.70 ^{NS} + 5.01**Ln(vfuste)	0.75	0.73	21.1	**
DIAMETRO:				
9. Ln(BT) = 0.77** + 2x10 ⁻⁴ ** ² (d ²)	0.73	0.71	11.5	**
10. Ln(BT) = -0.27 ^{NS} + 0.02**(d)	0.73	0.71	1.5	**
11. Ln(BT) = 0.26 ^{NS} + 0.012 ^{NS} (d) + 8x10 ⁻⁵ ^{NS} (d ²)	0.73	0.69	11.8	**
12. Ln (BT) = -7.28** + 2.07**Ln(d)	0.72	0.71	11.6	**
13. BT = 7.03 ^{NS} - 0.19 ^{NS} (d) + 0.002 ^{NS} (d ²)	0.70	0.66	23.8	**
14. BT = -0.52 ^{NS} + 0.001**(d ²)	0.69	0.67	23.3	**
15. BT = -7.45** + 0.17**(d)	0.68	0.66	23.8	**
16. BT = -54.13** + 13.86**Ln(d)	0.66	0.64	24.3	**
ALTURA TOTAL:				
17. BT = 2.12 ^{NS} + 0.16*(ht)	0.22	0.18	37.0	*

Modelo	R ²	R ² -ajust	CV (%)	Pr > F
Altura total y diámetro:				
18. $BT = 22.19^* + 0.003^*d^2 - 0.002^{NS}(d^*ht) - 0.51^*(1/d^2) + 5 \times 10^{-5NS}(d^{2*}ht)$	0.94	0.92	11.7	**
19. $BT = 3.48^{NS} - 8 \times 10^{-5NS}(d^2) - 0.004^{NS}(d^*ht) + 7 \times 10^{-5*}(d^{2*}ht)$	0.91	0.89	13.3	**
20. $BT = 1.62^{NS} + 2 \times 10^{-4}(d^2)^{NS} + 3 \times 10^{-5NS}(d^{2*}ht) - 0.08^{NS}(ht)$	0.90	0.88	14.0	**
21. $\ln(BT) = -6.93^{**} + 1.87^{**}\ln(d) + 0.005^{**}\ln(d)ht$	0.88	0.87	7.7	**
22. $\ln(BT) = -8.77^{**} + 2.01^{**}\ln(d) + 0.54^{**}\ln(ht)$	0.88	0.86	7.9	**
23. $BT = -4.45^{**} + 0.001^{**}(d^2) + 0.15^{**}(ht)$	0.87	0.86	15.3	**
24. $BT = -10.96^{**} + 0.15^{**}(ht) + 0.17^{**}(d)$	0.85	0.83	16.6	**
25. $BT = 0.95^{NS} + 3 \times 10^{-5**}(d^{2*}ht)$	0.83	0.82	17.2	**
26. $BT/d^2 = 5 \times 10^{-5NS} + 2.29^{NS}(1/d^2) - 0.002^{NS}(ht/d) + 5 \times 10^{-5NS}(ht)$	0.63	0.55	14.1	**
Altura comercial y diámetro:				
26. $\ln(BT) = -8.80^{**} + 2.13^{**}\ln(d) + 0.46^*\ln(hc)$	0.80	0.77	10.3	**
27. $\ln(BT) = -7.57^{**} + 2.04^{**}\ln(d) + 0.006^{**}\ln(d)hc$	0.79	0.76	10.4	**
28. $BT = 21.49^{NS} + 0.004^*d^2 - 0.001^{NS}(d^*hc) - 0.55^*(1/d^2) + 5 \times 10^{-5NS}(d^{2*}hc)$	0.77	0.70	22.2	**
29. $BT = -3.54^{NS} + 0.001^{**}(d^2) + 0.17^{NS}(hc)$	0.74	0.71	21.9	**
30. $BT = -2.77^{NS} + 9 \times 10^{-4NS}(d^2) + 8 \times 10^{-6NS}(d^{2*}hc) - 0.12^{NS}(hc)$	0.74	0.69	22.6	**
31. $BT = -0.46^{NS} - 7 \times 10^{-4NS}(d^2) + -8 \times 10^{-4NS}(d^*hc) + 4 \times 10^{-5*}(d^{2*}hc)$	0.74	0.69	22.6	**
32. $BT = -10.38^{**} + 0.16^{NS}(hc) + 0.18^{**}(d)$	0.73	0.69	22.6	**
33. $BT = 0.60^{NS} + 5 \times 10^{-5**}(d^{2*}hc)$	0.60	0.58	26.5	**

R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; C.V.(%): Coeficiente de Variación; Pr > F: Probabilidad del modelo; * Significativo; ** Altamente significativo; NS: No significativo; BT: Biomasa total (t); bfuste: Biomasa de fuste (t); vfuste: Volumen de fuste (m³); d: dap (cm); hc: Altura comercial (m); ht: Altura total (m).

Anexo 9. Modelos para determinar el volumen de total, volumen de fuste y cantidad de carbono almacenado en función del dap

Modelo	R ²	R ² -ajust	CV (%)	Pr > F
Volumen total:				
1. $\text{LnVTOT} = -7.16^{**} + 2.16^{**}\text{Ln}(d)$	0.82	0.81	7.24	**
2. $\text{LnVTOT} = 0.14^{\text{NS}} + 0.03^{**}(d)$	0.81	0.80	7.33	**
3. $\text{VTOT} = -0.78^{\text{NS}} + 0.002^{**}(d^2)$	0.79	0.78	17.90	**
4. $\text{VTOT} = -11.96^{**} + 0.28^{**}(d)$	0.79	0.78	18.01	**
5. $\text{VTOT} = -2.81^{\text{NS}} + 0.05^{\text{NS}}(d) + 0.001^{\text{NS}}(d^2)$	0.79	0.76	18.45	**
6. $\text{VTOT} = -87.4^{**} + 22.38^{**}\text{Ln}(d)$	0.78	0.76	18.42	**
Volumen de fuste:				
7. $\text{LnVFUSTE} = -8.71^{**} + 2.41^{**}\text{Ln}(d)$	0.68	0.66	14.66	**
8. $\text{VFUSTE} = -29.97^{\text{NS}} + 0.73^{\text{NS}}(d) - 3 \times 10^{-3\text{NS}}(d^2)$	0.68	0.64	24.95	**
9. $\text{VFUSTE} = -59.62^{**} + 15.22^{**}\text{Ln}(d)$	0.67	0.65	24.67	**
10. $\text{LnVFUSTE} = -0.51^{\text{NS}} + 0.03^{**}(d)$	0.65	0.63	15.19	**
11. $\text{VFUSTE} = -8.01^{**} + 0.19^{**}(d)$	0.65	0.63	25.23	**
12. $\text{VFUSTE} = -0.39^{\text{NS}} + 1 \times 10^{-3^{**}}(d^2)$	0.63	0.61	26.00	**
Carbono almacenado:				
13. $\text{Ln}(CA) = -1.02^{**} + 0.03^{**} d$	0.71	0.69	20.76	**
14. $\text{Ln}(CA) = -7.97^{**} + 2.06^{**}\text{Ln}(d)$	0.70	0.68	20.91	**
15. $CA = -3.32^{**} + 0.08^{**}d$	0.67	0.65	23.96	**
16. $CA = -24.56^{**} + 6.30^{**}\text{Ln}(d)$	0.65	0.63	24.46	**

Donde: R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CV(%): Coeficiente de Variación; Pr > F: Probabilidad del modelo; * Significativo; ** Altamente significativo; NS: No significativo; VTOT: Volumen total (m³); VFUSTE: Volumen de fuste (m³); d: dap (cm); CA: Carbono almacenado (t).

Anexo 10. Análisis de variancia para las variables de incremento volumétrico, biomasa total y carbono almacenado de las parcelas permanentes de muestreo, Tirimbina y Corinto

Fuente de variación	Grados de libertad	Pr > F		
		Incremento volumétrico	Biomasa total	Carbono almacenado
<i>Corinto</i>				
Bloque	2	0.7960 ^{NS}	0.5648 ^{NS}	0.5643 ^{NS}
Tratamiento	2	0.7012 ^{NS}	0.0046 ^{**}	0.0046 ^{**}
<i>Tirimbina</i>				
Bloque	2	0.0860 ^{NS}	0.2278 ^{NS}	0.2280 ^{NS}
Tratamiento	2	0.9619 ^{NS}	0.0476 [*]	0.0475 [*]
Pr > T				
Corinto/Tirimbina	16	0.9100 ^{NS}	0.0067 ^{**}	0.0067 ^{**}

Anexo 11. Lista de nombres de propietarios, localización y tipo de manejo forestal

No. Finca	Propietario	Tipo de manejo
ZONA		
CORINTO		
1	Adonay Cubero Vargas	Protección absoluta
2	Arsenio Bolaños Herrera	Protección absoluta
3	Edwin Vargas Rojas	Manejo sostenible
4	Johnny Vargas Arrieta	Manejo sostenible
5	José Ml. Salazar Navarrette	Manejo sostenible
		Protección absoluta
6	Jovel Flores Valverde	Manejo sostenible
7	Luís Diego Mora Rodríguez	Protección absoluta
8	Luís Guillermo Garita Hernández	Manejo sostenible
9	Miguel Angel Hernández Hernández	Manejo sostenible
10	Pedro Luciano Vega Figueroa	Protección absoluta
11	Santos Sanchez Figueroa	Protección absoluta
12	Víctor Manuel Mora Mesén	Protección absoluta
13	Victor Varela Mora	Manejo sostenible
TIRIMBINA		
14	Alberto Quintana	Protección absoluta
15	Ana Núñez y Ricardo Durán	Manejo sostenible
16	Ana Saborío y Víctor Jiménez	Manejo sostenible
17	Bernardo Gómez y Eduvino Ferrer	Protección absoluta
18	Claudio del Valle Aguilar	Manejo sostenible
19	Eida Molina y Edgar Umaña	Manejo sostenible
20	Emilia Carmona y Carlos Zamora	Manejo sostenible
21	Flor González y Genaro Hernández	Manejo sostenible
22	Gonzalo Ramírez Guier	Manejo sostenible
23	Leona Wellington-Kenneth Upcraft	Protección absoluta
24	Marvin Rojas Vega	Manejo sostenible
25	Rosibel Rodríguez y Juan Huertas	Manejo sostenible
26	Sarita Corrales y Marvin Zamora	Manejo sostenible
27	Teresa Acuña y José Muñoz	Manejo sostenible

Anexo 12. Área total de la finca, áreas destinadas a la actividad ganadera, agrícola, áreas sometidas al pago de servicios ambientales y el área efectiva del plan de manejo por finca y por zona

Finca No.	Área total (ha)	Ganadería		Cultivo		Área sometida a PSA							
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	Protección absoluta		Producción		Área efectiva*		Otros	
						(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
CORINTO													
Palmito													
1	34					27.0	79-					7	21
2	300					199.6	67	57.0	19			43	14
3	92.6							70.6	60	62.6		37	40
4	242							128.0	53			114	47
5	390	40.0	10			101.1	26	75.6	19	18.3		173	44
6	40							25.9	58	22.0		17	43
7	50					48.7	100		-			-	-
8	101			2				50.0	50	50.0		51	50
9	80	36.0	45	4	3			29.7	37			12	15
10	76				5	76.2	91		-			4	5
11	131					130.9	76		-			31	24
12	158.7					117.8	85		-	83.4		21	15
13	155.8			6				52.3	35	52.3		98	65
Total	1 833	76.0	4					37	471.0	26		608	33
TIRIMBINA													
Pimienta													
14	425	60	14	20	5	73.5	17					272	64
15	29	12	41	0.2	1			7.1	24			10	33
16	30	9	31	1.0	3			10.4	36			9	30
17	44					35.2	80					9	20
18	80					7.7		31.6	40	31.6		48	61
19	13			4.0	31			2.7	21			6	49
20	28			1.5	5			8.1	29			18	66
21	28							8.1	29			20	71
22	580	400	69					101.4	17	71.1		79	14
23	30					30	100					-	-
24	27.8							11.4	41	11.4		16	59
25	29							9.0	31			20	69
26	30			1.0	3			10.6	35			18	61
27	30			0.3	1			11.5	38			18	61
Total	1 402	481	34.3	28	1.9	139	9.9	212	15.1			543	38.7

(*) Área efectiva en donde se realizó el plan de manejo; No. de finca: Corresponde al propietario según la numeración del Anexo 11