



**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata L.*) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica

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

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Por

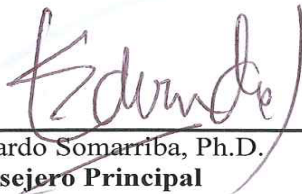
Wilson Antonio Calero Borge

Turrialba, Costa Rica, Junio del 2008

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

Magister Scientiae en Agroforestería tropical

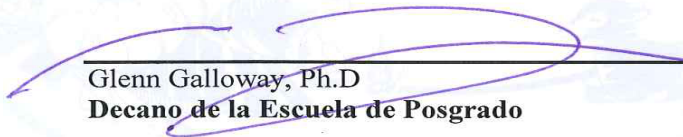
FIRMANTES:

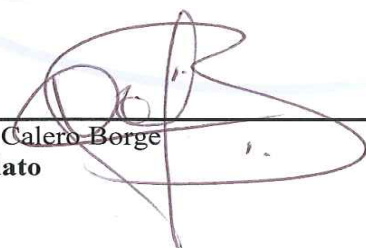


Eduardo Somarriba, Ph.D.
Consejero Principal



William Vásquez, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero

Hernán Andrade, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero

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

Wilson Calero Borge
Candidato

DEDICATORIA

A la personita que desde que vino a este mundo me ha transformado, al ser que con solo una mirada o un gesto me regresa a mi niñez, al ser que más amo en mi vida, a mi hija Itzel Samantha.

A la persona en la cual se apoya mi fortaleza que camina a mi lado y me guía cuando el camino me parece muy complicado, al ser que ha hecho suyos mis sueños de un mejor mañana, a mi esposa Zeneyda.

A Estela, mi madre por ser como es, por apoyarme en todo momento, a la memoria de mi padre por servirme de guía a lo largo de mi vida, a mis hermanas Ethel, Yurisan, Sandra, Ceira, Rosalía, Jacqueline, Raquel y a mi hermano y amigo Rudy, por estar conmigo en cada decisión trascendental en mi vida. A todos mis sobrinos y sobrinas por la alegría que despiertan en mi corazón. A mis cuñados por esas largas charlas, conversaciones y discusiones.

A la familia de mi esposa, por apoyarnos en la medida de lo posible con cariño y dedicación.

A Bismark Ríos Espinoza (q.e.p.d) por haber sido un buen amigo en los malos y buenos momentos.

A mi patria Nicaragua, nicaragüita, por gracia de Dios.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor PhD. Eduardo Somarriba, por su apoyo, consejos y sugerencias en este trabajo, por guiarme en esta jornada, al MSc. Wiliam Vásquez por el apoyo brindado durante la recolección de datos y durante la fase de análisis y elaboración del documento, al PhD. Hernán Andrade por sus consejos y ayuda prestada para la culminación de esta investigación, al profesor Gustavo López por su apoyo en el procesamiento estadístico.

A la Organización de Estados Americanos (OEA) por haberme financiado los estudios en el CATIE y contribuir a cumplir mis sueños, a las autoridades de la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN) en especial a Lic. Claribel Castillo por su apoyo y confianza.

A los colombianos Anderson Botina y Diego Chalaca, estudiantes de la Universidad de Nariño, quienes apoyaron esta investigación en la fase de recolección de datos y fueron buenos compañeros en las difíciles condiciones de trabajo en Talamanca.

A Alfonso Suárez por su asesoría y consejos para desarrollar este trabajo, a Ignacio Rodríguez indígena Bribri de Talamanca quien fue mi guía y traductor en las comunidades donde se desarrolló el trabajo, sin su ayuda esta investigación no hubiera sido posible, a Carlos Cascante por su apoyo en la medición de los anillos de crecimiento. A todos los agricultores de Talamanca que participaron en este estudio y que desinteresadamente compartieron conmigo sus conocimientos.

A Yesenia Benavides y Teresa Alfaro por su amistad y apoyo en todo momento, a mis compatriotas de generación Pedro, René, Mauricio, Isabel, Arlen, Dalia, Noelia y Marvin por su amistad, a Guillermo Guerrero amigo entrañable de siempre, a otras personas que le brindaron amistad sincera a mi familia en especial a Carolina, Norman y su hijito, a Angelita, Ney y sus hijas. A Dios nuestro señor por permitirme vivir este momento de felicidad y éxitos.

BIOGRAFÍA

El autor nació en la ciudad de Rama, Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS) de la República de Nicaragua el 23 de agosto de 1969. Se graduó de Ingeniero agrónomo en la Universidad de Ciencias Agropecuarias de la Habana (UCAH) en el año de 1997 en la Facultad de Agronomía.

Los principales trabajos desempeñados han sido como técnico de campo en el programa de rehabilitación arrocerá y desarrollo campesino (PRA-DC), subcoordinador del programa agrícola Auxilio Mundial, a partir del año 2001 trabaja como coordinador del área de Recursos naturales y Medio Ambiente de la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN). En el año 2004 obtiene una beca de la Organización de Estados Americanos (OEA) para realizar estudios de maestría en Agroforestería Tropical en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) al cual ingresa en el año 2005. Actualmente trabaja como coordinador de investigación, postgrado y educación continua en la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN).

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN	IX
SUMMARY	X
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
2 MARCO CONCEPTUAL	4
2.1 Ecología y botánica del laurel y cedro amargo	4
2.1.1 El laurel	4
2.1.2 El cedro amargo	4
2.1.3 El laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales (SAF).....	5
2.1.4 Regeneración y crecimiento del laurel y cedro amargo en SAF	6
2.2 Modelos de crecimiento	6
2.2.1 Definición general	7
2.2.2 Las cadenas de Markov	8
2.2.3 Las matrices de Usher	8
2.2.4 Aplicaciones de los modelos matriciales de Usher	8
2.3 Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono.....	10
2.3.1 Métodos para la estimación de carbono	10
2.3.1.1 Uso de modelos alométricos	10
2.3.2 Capacidad de almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales.....	11
2.4 Parcelas de muestreo	11
2.5 Conocimiento local.....	12
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Descripción del área de estudio.....	13
3.2 Población de estudio.....	14
3.3 Inventario de laurel y cedro	15

3.4	Rendimiento de madera y tasas de aprovechamiento de laurel y cedro amargo	16
3.4.1	Almacenamiento y rendimiento de madera, biomasa y carbono	16
3.4.2	Tasa de aprovechamiento de laurel y cedro amargo	18
3.4.3	Desperdicios de madera y emisión de carbono por aprovechamiento local del laurel.....	19
3.5	Modelación de la dinámica poblacional de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca.....	19
3.6	Estimación del crecimiento diamétrico	24
3.7	Caracterización del manejo tradicional del laurel y el cedro amargo en cacaotales y bananales	24
3.8	Manejo estadístico de la información.....	25
4	RESULTADOS	26
4.1	Existencias de madera de laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales de Talamanca.....	26
4.2	Incrementos de madera, carbono y biomasa de laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales de Talamanca	27
4.3	Emisión de carbono por aprovechamiento tradicional de madera de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca.....	29
4.4	Calidad y sanidad de la madera en los sistemas agroforestales de Talamanca	30
4.5	Crecimiento diamétrico del laurel en sistemas agroforestales de Talamanca	32
4.6	Aprovechamiento de madera de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca.....	33
4.7	Proyección de la densidad, rendimiento e incremento del volumen comercial de madera de laurel en los sistemas agroforestales de Talamanca.....	35
4.7.1	Análisis de escenarios	39
4.7.1.1	Sin aprovechamiento de individuos ≤ 45 cm de dap	39
4.7.1.2	Incrementos del 50% de reclutamiento de individuos	39
4.8	Manejo tradicional de la especie de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca	40
5	DISCUSIÓN.....	43
5.1	Producción e incrementos de madera de laurel y cedro amargo en los sistemas agroforestales de Talamanca	43
5.2	Sanidad y calidad de la madera de laurel	45
5.3	Producción e incrementos de biomasa y carbono de laurel y cedro amargo en los sistemas agroforestales de Talamanca.....	45

5.4	Liberación de carbono en el proceso de aprovechamiento de madera en las comunidades de Talamanca.....	47
5.5	Crecimiento diamétrico del laurel en sistemas agroforestales de Talamanca	48
5.6	Proyección del rendimiento e incremento de madera y aplicación del modelo	49
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1	Conclusiones.....	51
6.2	Recomendaciones	51
7	BIBLIOGRAFÍA.....	53
8	ANEXOS.....	64

Calero Borge, W. 2007. Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata L.*) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. 85 p.

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. Se remidieron 64 parcelas de cacao (C) y banano (B), para estimar el almacenamiento y el incremento de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata L.*) de regeneración natural en estos SAF. Se realizó inventario de laurel y cedro y se midieron árboles con $d \geq 4$ cm. El volumen comercial (V_c) ($d \geq 45$ cm) se proyectó con matrices de transición tipo Usher. El crecimiento diamétrico se estimó midiendo anillos de crecimiento de árboles aprovechados en valle (V) y ladera (L). Los incrementos de madera y carbono se obtuvieron considerando el periodo 2001-2005. Para estimar pérdidas de carbono se generó un modelo a partir de estimados de volumen aprovechado por sierreros, empleando 160 árboles en pié, el volumen fue transformado a carbono. Para caracterizar el manejo tradicional de laurel y cedro se realizaron 23 entrevistas a los agricultores de C y B en L y V.

No hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) para la densidad (d) y existencias totales de madera (V_t) en los SAF, la d es de 52,4 árboles ha^{-1} en C y 53,8 árboles ha^{-1} en B, contienen un volumen total de 55,4 $m^3 ha^{-1}$ en C y 52,6 $m^3 ha^{-1}$ en B. Las tasas de fijación de carbono son de 1,3 y 1,8 $t ha^{-1} año^{-1}$ en C y B respectivamente. Los 72 árboles de laurel aprovechados en cinco años con $dap \geq 40$ cm producen un volumen de 38,9 m^3 ; 18,2 t de biomasa y 8,5 t de carbono en madera aserrada, el 79% de carbono se pierde como desperdicios, liberando 38,3 t de carbono. El laurel crece más rápido en V que en L, alcanza el diámetro mínimo de corta $dap \geq 45$ cm a una edad de 19,4 años, con una diferencia de 9,6 años en relación al laurel en L. A cinco años de proyección los C producirán 52,0 ($m^3 ha^{-1}$) y los B 54,2 ($m^3 ha^{-1}$) de V_c con un $IPAV_c$ de 4,08 y 4,74 ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) en C y B respectivamente. Los agricultores aplican prácticas que favorecen la regeneración, controlan plagas, conocen de turnos de corta y distribución de sombra en los SAF. Se recomienda estudiar la inserción de los SAF de C y B de Talamanca en el mercado del carbono para beneficiar a los agricultores.

Palabras claves: sistemas agroforestales, regeneración natural, inventario, matrices de transición, diámetro de corta, turnos de corta.

SUMMARY

This research took place in the Indigenous Reserve of Talamanca, Costa Rica. And 64 cocoa (C) and banana plantations (B) were re-measured, to estimate the storage and increases of wood (timber) and laurel tree (*Cordia alliodora*) and bitter cedar tree carbon (*Cedrela odorata* L.) of natural regeneration in these SAF. It was made an Inventory about laurel and cedar trees and some trees were measured with $d \geq 4$ cm. The trade volume (V_c) ($d \geq 45$ cm) was projected with Usher type arrays of transition. The diameter growth was estimated by measuring growth rings of trees harvested in the valley (V) and hillside (L). The increases of wood (timber) and carbon were obtained by taking into account the period of time 2001-2005. It was generated a model based on estimated volume used by the men who saw the trees in order to estimate losses of carbon, by using 160 standing trees (timber), the volume was converted to carbon. To characterize the traditional handling of laurel and cedar trees were conducted 23 interviews with farmers from C and B in L and V.

There were no significant differences ($P < 0.05$) for the density (d) and total stock of wood (V_t) in the SAF, the letter d stands for 52,4 trees ha^{-1} in C and 53,8 trees ha^{-1} in B, Containing a total volume of 55,4 $m^3 ha^{-1}$ in C and 52,6 $m^3 ha^{-1}$ in B. The carbon fixation rates are 1,3 and 1,8 $t ha^{-1} year^{-1}$ in C and B respectively. The 72 laurel trees used in five years with $dap \geq 40$ cm produce a volume of 38,9 m^3 ; 18,2 t of biomass and 8,5 t of carbon of sawn lumber, 79% of carbon is lost as waste releasing 38,3 t of carbon. Laurel trees grows faster in valleys(V) than in hillsides (L), laurel trees reach the minimum cutting diameter $dap \geq 45$ cm and an age of 19,4 years old, with a difference of 9,6 years compared to laurel trees harvested in hillsides (L). With a five-year projection the C will produce 52,0 ($m^3 ha^{-1}$) and the B 54,2 ($m^3 ha^{-1}$) of trade volume (V_c) with a $IPAV_c$ of 4,08 and 4,74 ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) in C and B respectively. Farmers put into effect practices that promote the regeneration, pest control, they know about cutting shifts and distribution of shade in the SAF. It is recommended to study the insertion of the SAF of C and B of Talamanca in the carbon market to benefit farmers.

Key words: agro-forestry systems, natural regeneration, inventory, arrays of transition, diameter of cutting, shifts of cutting.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Existencias de laurel y cedro amargo en los SAF de cacao y banano en condiciones de ladera y valle en Talamanca, Costa Rica, en el año 2005	27
Cuadro 2. Incrementos de laurel y cedro amargo en los SAF de cacao y banano en laderas y valles de Talamanca en el periodo 2001-2005.....	28
Cuadro 3. Madera aprovechada (m^3) y residuos de carbono (t) por aprovechamiento de madera ($dap \geq 40$ cm) de árboles de laurel de regeneración natural en los sistemas agroforestales de cacao y banano de Talamanca, Costa Rica.....	30
Cuadro 4. Calidad de la madera de las poblaciones de laurel y cedro amargo en los cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica.....	31
Cuadro 5. Sanidad de la madera de laurel y cedro amargo en los cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica.....	32
Cuadro 6. Tasas anuales de corta de madera de laurel ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) por clase diamétrica en cacaotales y bananales en zonas de laderas y valles de Talamanca, Costa Rica, en el periodo 2001-2005	34
Cuadro 7. Probabilidades de paso (e_{ij}) y de permanencia (r_{ii}) por categorías diamétricas para las poblaciones de laurel en cacaotales y bananales en valles y laderas de Talamanca ...	36
Cuadro 8. Proyección de las existencias ($m^3 ha^{-1}$) de madera comercial de laurel por cinco años en cacaotales y bananales en valles y laderas de Talamanca, Costa Rica.....	37
Cuadro 9. Proyección de los incrementos volumétricos de madera comercial ($dap \geq 45$ cm) de laurel por cinco años en cacaotales y bananales en valles y laderas de Talamanca, Costa Rica.....	38
Cuadro 10. Proyección de los incrementos volumétricos IPAvc de madera comercial de laurel por 5 años en cacaotales y bananales en valles y laderas sin aprovechamiento de $dap < 45$ cm en Talamanca, Costa Rica.....	39
Cuadro 11. Proyección de los incrementos volumétricos IPAvc de madera comercial de laurel por cinco años en cacaotales y bananales en zonas de valles y laderas con incrementos del 50% de las tasas de reclutamiento en Talamanca, Costa Rica.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio	14
Figura 2. Relación estimada entre volumen (pt) y dap (cm)	29
Figura 3. Crecimiento diamétrico de laurel a) valles, b) laderas en Talamanca, Costa Rica ...	33
Figura 4. Diámetros de árboles de laurel aprovechados anualmente en cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica.....	35
Figura 5. Proyección de la población de laurel para cinco años en a) cacao ladera, b) cacao valle, c) banano ladera y d) banano valle en Talamanca, Costa Rica.....	37
Figura 6. Comportamiento de la densidad de laurel a nivel de parcelas con una proyección a cinco años.	38

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) son formas de uso de la tierra que se caracterizan por contener en sus diversos componentes grandes cantidades de biomasa y abundantes acumulaciones de elementos como el carbono (Nair 1997). Así mismo, el componente arbóreo maderable presente en los SAF es un recurso valioso que brinda diferentes beneficios como sombra a cultivos y ganado, madera y leña, además de prestar servicios ambientales como la captura de carbono, protección del suelo, conservación de biodiversidad, entre otros (Pezo e Ibrahim 1999; Barrance *et al* 2003; Albertin y Nair 2004).

El cacao y banano son cultivos que las comunidades indígenas de Talamanca han cultivado de antaño, bajo diferentes doseles de sombra y constituyen sus principales actividades económicas. El laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) son las principales especies maderables en las fincas de indígenas de Talamanca. El laurel representa el 51 y 54% del área basal total del dosel de sombra en los cacaotales y bananales respectivamente (Guiracocha 2000; Suatunce 2002). Sin embargo la abundancia del cedro amargo en estas plantaciones es baja (Suárez 2001). Estas especies son muy apreciadas por su madera, abundante regeneración natural, rápido crecimiento, sombra rala, y autopoda, en el caso del laurel. Los agricultores obtienen ingresos económicos al aprovecharlas en épocas de baja producción o bajos precios del cacao (Duguma *et al* 1999; Albertin y Nair 2004; Russell y Francell 2004) tal como sucedió cuando la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) destruyó la cosecha del cacao, la madera de laurel y cedro constituyó el único ingreso de los agricultores (Beer 1980).

Los sistemas SAF tienen alto potencial para almacenar y fijar carbono en la biomasa aérea (Duguma *et al* 2001; Roshetko *et al* 2002; Tufekcioglu *et al* 2003; Sharrow and Ismail 2004). Estudios en África señalan que los SAF con cacao pueden contener el 66 % del total de biomasa del carbono que contiene un bosque primario (Duguma *et al* 2001) debido a la acumulación del carbono en los árboles (Pandey 2002; Montagnini y Nair 2004) y a su rápido crecimiento y productividad (Kurstén 2000). Isaac *et al* (2005) reportan valores de acumulación de carbono de 80,6 t C ha⁻¹ para cacaotales de 25 años, mientras que Kotto-Same *et al* (2000) encontraron valores de 89 t C ha⁻¹. Es necesario estimar las tasas de fijación y almacenamiento de carbono de los SAF con cacao y banano manejados tradicionalmente por

finqueros indígenas en Talamanca, cuantificar económicamente su valor y asignarles un pago por el servicio ambiental prestado (Ávila 2000; Márquez 2000).

Considerando lo anterior el presente trabajo estima las existencias y los incrementos de de madera y carbono en las especies de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata L.*) de regeneración natural en SAF de cacao y banano de indígenas de Talamanca, determina las emisiones de carbono por aprovechamiento tradicional de madera de laurel y documenta el manejo tradicional que de estas especies realizan los agricultores de Talamanca.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Estimar el almacenamiento e incremento de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata L.*) de regeneración natural en plantaciones de cacao y banano de indígenas de Talamanca, Costa Rica.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Cuantificar el rendimiento e incremento y tasas de aprovechamiento de madera y carbono de laurel y cedro amargo en los sistemas agroforestales de cacao y banano orgánico de indígenas de Talamanca.
- b) Estimar las pérdidas de carbono por aprovechamiento tradicional de madera en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca.
- c) Modelar la dinámica poblacional de la especie *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de banano y cacao en Talamanca
- d) Caracterizar el manejo tradicional de laurel y cedro amargo que realizan los indígenas en los sistemas agroforestales de cacao y banano de Talamanca.

1.2 Hipótesis

- a) El incremento del volumen de madera de laurel es mayor que las actuales tasas de aprovechamiento de madera que realizan los indígenas de Talamanca en los sistemas agroforestales de cacao y banano de Talamanca.
- b) El volumen de residuos de carbono producto del aprovechamiento tradicional es menor que el volumen de carbono convertido en productos duraderos en los sistemas agroforestales de cacao y banano de Talamanca.
- c) Los productores indígenas de Talamanca poseen un amplio conocimiento sobre el manejo adecuado de la regeneración natural de laurel en los sistemas agroforestales de cacao y banano.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Ecología y botánica del laurel y cedro amargo

2.1.1 *El laurel*

El laurel (*Cordia alliodora*) es una especie nativa de América tropical que se distribuye desde los 25° de latitud Norte en la costa del Pacífico en México, hasta los 25° Sur en Argentina (Johnson y Morales 1972). En la vertiente Atlántica de América Central, el laurel crece desde el nivel del mar hasta 800 m de altitud y hasta 1200 m en la vertiente del Pacífico (Boshier y Mesén 1989). El laurel alcanza su máximo desarrollo en el bosque húmedo tropical y muy húmedo tropical (Pérez 1954), con precipitaciones mayores de 2000 mm anuales, aunque puede crecer en zonas secas con alrededor de 1000 mm anuales. El laurel es típico del bosque secundario y se establece rápidamente en terrenos abiertos (Marinero 1962); tiene madera de alta calidad para ebanistería, siendo una de las de mayor importancia económica en la región (Cordero y Boshier 2003).

El laurel presenta un crecimiento inicial en altura muy rápido, con tasas de hasta 3 m año⁻¹ durante los primeros 5 años de edad en sitios óptimos. En condiciones menos favorables, los incrementos medios anuales son aproximadamente 1,5 m en altura y 1,4 cm de dap (diámetro a la altura del pecho) (CATIE 1994). En cafetales con densidades de laurel de 228 árboles ha⁻¹, este alcanza un crecimiento en volumen de hasta 13,3 m³ año⁻¹ a una edad de 15 a 17 años (Rosero y Gewald 1979). El crecimiento diamétrico de laurel es muy variable y depende del tipo de cultivo al cual se encuentra asociado. Somarriba y Beer (1986) obtuvieron los mayores incrementos diamétricos en poblaciones de laurel asociados a cacao (0,6-2,9 cm año⁻¹) y café (0,8-1,8 cm año⁻¹), mientras, los menores incrementos fueron en pastizales (0,4-0,7 cm año⁻¹). El laurel crece rápido en suelos de buena fertilidad, perdiendo sus hojas los dos meses posteriores a la producción de semillas (Boshier 1992).

2.1.2 *El cedro amargo*

Cedro amargo (*Cedrela odorata* L.) es un árbol del neotrópico, encontrándose en los bosques de las zonas de vida subtropical o tropical húmeda o estacionalmente seca y se

distribuye desde el norte de México hasta el norte de Argentina y en las Antillas (González 1992); desde cerca del nivel del mar en los bosques secos y húmedos de las planicies costeras, hasta una altitud de 3000 m en algunas zonas de Bolivia (Lamb 1968). Es un árbol heliófito de rápido crecimiento y puede alcanzar hasta 50 m de altura en condiciones óptimas de crecimiento con una elevada precipitación (Lamb 1969). Esta especie presenta copa amplia y follaje ralo; el sistema radicular es usualmente extendido y superficial, el fuste es cilíndrico y la corteza en la base del tallo es lisa y fibrosa, en árboles jóvenes raramente ocurre la ramificación hasta que alcanzan una altura de 5 o 10 m o son afectados en la parte apical por el barrenador del tallo (*Hypsiphyla grandella*) (López 1996).

2.1.3 El laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales (SAF)

El laurel tiene características apropiadas como árbol de sombra de café (*Coffea* sp) o cacao (*Theobroma cacao*); es de fuste recto y delgado de 15-30 m, con mínima bifurcación, de copa angosta, rala, abierta y notoria capacidad de autopoda, se puede propagar por pseudoestacas (Greaves y McCarter 1990; Boshier y Lamb 1997; Calvo y Meléndez 1999). En la zona de Talamanca (Costa Rica) y Bocas del Toro (Panamá), el laurel regenera profusamente en los cacaotales, constituyéndose en una de las especies principales del dosel de sombra (Somarriba 1994; Somarriba *et al* 2003).

El manejo del asocio cacao-laurel no está orientado exclusivamente a favorecer la producción de cacao más bien se busca un balance que permita la producción rentable de cacao y madera (Somarriba *et al* 1996). El ingreso por producción de cacao y venta de madera es un aspecto que el agricultor tiene en cuenta al seleccionar las especies para sombra, los análisis financieros favorecen el uso de maderables como sombra de cacao (Somarriba y Beer 1999); dado que el riesgo de este tipo de sistemas es menor comparado con plantaciones forestales en bloque (Ramírez *et al* 2001).

La presencia del cedro en SAF es un sistema tradicional de producción campesina, bajo esta forma de producción alcanza rangos altos de crecimiento en diámetro y altura. En Colombia en asocio con frutales a los ocho años de edad tiene un incremento medio anual de 1,7 m año⁻¹ en altura y 2,6 cm año⁻¹ en dap (Guevara 1988), mientras Ford (1979) en asocio cedro-café reporta un incremento de 2,5 cm año⁻¹ en dap.

2.1.4 Regeneración y crecimiento del laurel y cedro amargo en SAF

El árbol de laurel produce grandes cantidades de semillas que son dispersadas por el viento y le permite formar rodales casi puros en áreas cercanas al árbol reproductor (CATIE 1994). Una planta adulta de laurel produce en promedio 1,3 kg año⁻¹ de semillas (40000 a 100000 semillas), las cuales son dispersadas en un radio de aproximadamente 20 a 40 m (Colán 1995; Boshier y Lamb 1997). Con esta información y proponiendo un promedio (70000 semillas) y una germinación del 50%, Somarriba (1999) estableció que un árbol reproductor potencialmente puede producir anualmente 145 plantas m² en su vecindad inmediata. En estudios de regeneración natural de laurel en sistemas silvopastoriles se han encontrado promedios de hasta 1120 plántulas ha⁻¹ (Camargo *et al* 2000).

El éxito del establecimiento de la regeneración natural de laurel depende de la protección contra animales que depredan las semillas, que el sitio sea bien drenado, que la competencia con las otras especies de plantas no sea muy fuerte y que las plántulas tengan exposición adecuada a la luz solar (Tschinkel 1965). En potreros, la regeneración natural está muy influenciada por los factores edáficos en sus primeras etapas y por el manejo y el uso anterior de la tierra en las sucesivas etapas de desarrollo de la planta (Camargo *et al* 2000).

El cedro es una especie que produce gran cantidad de semillas aladas en el área circundante, su germinación es alta en SAF, puesto que se han observado numerosas semillas germinadas en épocas de lluvias pero la alta humedad en el suelo ejerce un efecto negativo ya que germinan sobre el mantillo de hojarasca y son arrastradas por las corrientes de agua, por lo que la presencia de plantas en desarrollo en época lluviosa es muy baja (Grijpma 1976).

Vega (1987) encontró que el cedro tuvo mayor sobrevivencia (98%), mayor crecimiento en altura (2 m año⁻¹) y mayor incremento diamétrico (2 cm año⁻¹) en el SAF que en plantación pura. Guevara (1988) reporta que en Colombia, los mejores resultados se obtuvieron cuando el cedro amargo fue plantado en zonas de llanuras aluviales no inundables que en llanuras inundables, alcanzando hasta 3,3 m año⁻¹ en altura y hasta 2,2 cm año⁻¹ en dap.

2.2 Modelos de crecimiento

El crecimiento se define como el aumento en tamaño o unidad de peso (biomasa) de un organismo viviente o de una comunidad en un período de tiempo dado y su cuantificación se

denomina incremento. En la producción de madera el crecimiento generalmente se relaciona al fuste o parte utilizable del árbol y se expresa en volumen (Vincent 1980; Castillo 1997).

2.2.1 Definición general

Un modelo es una abstracción o una representación simplificada de algunos aspectos de la dinámica natural de un rodal y puede involucrar crecimiento, mortalidad y otros cambios en la estructura y composición. Un modelo puede predecir el crecimiento y rendimiento del rodal bajo diversas condiciones y se pueden agrupar en tres niveles (Vanclay 1994):

- 1) Modelos a nivel de rodal: emplean como unidad básica de modelación las existencias, área basal, volumen del rodal y parámetros que caracterizan la distribución diamétrica. Estos son más adecuados para rodales coetáneos y plantaciones, siendo las tablas y ecuaciones de rendimiento las técnicas más comunes.
- 2) Modelos de árboles individuales: emplean al árbol individual como unidad básica de modelación. Se requiere mucho detalle sobre el tamaño de cada árbol en el rodal, posición espacial, altura y tamaño de copa, vecindario y sitios. Este tipo de modelos ser tan complejos como aquellos que modelan ramas y características internas del fuste.
- 3) Modelos por clase de tamaño: es una transición entre los modelos de rodal y los de árboles individuales, emplean como unidad básica de modelación una clasificación de árboles, la cual puede ser por tamaño (el más común), predice la distribución diamétrica del rodal futuro a partir de la distribución diamétrica presente, sus incrementos y mortalidad (Vanclay 1994).

Como una extensión lógica del modelo de las tablas de proyección del rodal, surgen las matrices de transición (Vanclay 1994; Moscovich 2004). Inicialmente, estas matrices fueron empleadas en poblaciones animales agrupadas por edades; posteriormente, Letkovich (1965) las adaptó para ser empleadas en insectos agrupados en estados de desarrollo y más tarde fueron utilizadas en árboles agrupados en clases diamétricas. Existen tres variaciones de estas aproximaciones: las cadenas de Markov, las matrices de Usher y sus generalizaciones.

2.2.2 Las cadenas de Markov

En las cadenas de Markov, un árbol en una clase diamétrica, durante el próximo periodo puede permanecer en la clase, crecer y pasar a la siguiente clase, ser cosechado o morir. Las probabilidades de paso son expresadas como una matriz y son usadas para predecir cambios en un intervalo de tiempo o sobre varios intervalos de tiempo $V_n = M_t * V_0$; donde M_t es la matriz que contiene las probabilidades de movimiento y V_0 y V_n son los vectores que describen los estados inicial y final, respectivamente (Vanclay 1994).

2.2.3 Las matrices de Usher

Las matrices de Usher intentan reducir el largo número de parámetros requeridos para formar una cadena de Markov, seleccionando el intervalo de tiempo y una amplitud de clase en la que un árbol durante ese intervalo no pueda crecer más que una clase, permite una sustancial reducción en el número de parámetros a ser estimados, entonces, la matriz puede ser reducida a cuatro vectores: crecimiento, fecundidad, cosecha y mortalidad (Vanclay 1994)

Dado que la matriz M es constante, cualquier vector de distribución de edad inicial tenderá a una distribución constante (población estacionaria), donde cada clase permanece proporcionalmente constante en el tiempo con respecto a las demás pero la población total puede incrementarse, permanecer constante o decrecer. Alcanzado este punto, $M_n = \lambda_n$, donde λ es un escalar denominado “raíz latente de la matriz M ”. Entonces, después de que la población se hace constante, λ toma el lugar de M , esto es: $n_t = \lambda_t * n_0$ (Vandermeer 1981).

2.2.4 Aplicaciones de los modelos matriciales de Usher

Diversas aplicaciones de estos modelos matriciales para árboles en sistemas agroforestales han sido desarrolladas. Somarriba (1984) empleó un modelo de matrices de transición para describir y simular la dinámica de la población de *Goethalsia meiantha* y facilitar la interpretación sucesional de esta especie y del bosque en su conjunto. Para ello, utilizó diferentes coeficientes de transición, hasta alcanzar un estado estacionario de la población. La aplicación de este método permitió encontrar que la población actual de esta especie está decreciendo a una tasa constante.

Siendo el laurel una especie importante en los SAF, Somarriba (1990) desarrolló un modelo para estimar la producción de madera en poblaciones de regeneración natural de esta especie en cafetales. Para ello, empleó coeficientes de transición derivados de las ecuaciones de crecimiento desarrolladas previamente por Somarriba y Beer (1987). Con el modelo se logró estimar el tiempo en que las poblaciones estabilizan la cosecha de árboles de un determinado diámetro mínimo de corta.

Somarriba (2001) modeló la dinámica poblacional de *Acacia pennatula*. La ecuación empleada fue $n_{t+1} = M * n_t + z$, en donde n_t y n_{t+1} , denota los vectores de las distribuciones diamétricas en el periodo t y $t+1$, y z es el vector de reclutamiento. Los coeficientes de transición de la matriz M , e_{ij} y r_{ii} fueron calculados con base a la tasa anual de paso y tasa anual de permanencia, respectivamente, y ajustados por un factor de supervivencia por clase diamétrica. Empleando diferentes tasas de reclutamiento, supervivencia y crecimiento de brinzales y estableciendo un diámetro mínimo de corta, se simuló el comportamiento de la población iterando la ecuación hasta obtener una población estacionaria. Los diferentes escenarios resultantes permitieron entender el efecto de prácticas de manejo sobre la dinámica poblacional.

En la zona de Talamanca, Costa Rica, en sistemas productivos de cacao y banano, para la especie *Cordia alliodora* en condiciones de regeneración natural, Suárez (2001) desarrolló un modelo de matrices de transición modificada (Somarriba 2001) del tipo $n_{t+1} = M * n_t$, donde los vectores n_t y n_{t+1} , denotan la distribución diamétrica entre los años sucesivos t y $t+1$ y M es la matriz de los coeficientes de transición y de permanencia. Con este modelo se logró determinar que el aprovechamiento de madera de esta especie es sostenible (Suárez 2001) y proyectar para cinco años el volumen de madera de laurel.

Para evaluar el impacto del aprovechamiento de la especie *Euterpe predatoria* en un bosque alto en Bolivia, se emplearon matrices de transición utilizando tasas de reclutamiento, supervivencia y crecimiento para la modelación de las poblaciones. Se encontró que el aprovechamiento no era sostenible y al analizar diversos escenarios se concluyó que el aprovechamiento que se estaba haciendo era el menos indicado (Peña-Claros y Zuidema 2000). Otras aplicaciones del método en bosques mixtos son las que describe Modrego *et al*

(2003) para *Araucaria araucana* y *Nothofagus pomilio*, encontrando que las proyecciones se ajustaban muy bien a la dinámica de largo plazo de la especie.

En Jaguaríaiva, Venezuela, en rodales jóvenes de *Pinus taeda* se aplicaron matrices de transición, se realizó la proyección de la distribución de la población en clases diamétricas hasta los doce años de edad permitiendo planificar actividades de manejo (Sanqueta *et al* 1998).

2.3 Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono

La fijación y almacenamiento de carbono en los SAF son una alternativa para dar valor agregado a la producción que podría tener un gran potencial e importancia para los productores (Ávila *et al* 2001). En algunos casos, el carbono acumulado en estos sistemas es similar a aquellos encontrados en bosques secundarios, en este contexto son una opción para almacenar carbono (Montenegro y Abarca 1999). Los sistemas de producción agropecuaria que trasladen CO₂ de la atmósfera a un ciclo biológico y lo retengan por más tiempo dentro del agroecosistema serán más sostenibles y convenientes (Montenegro y Abarca 1999). El carbono se almacena en la biomasa viviente (arriba y bajo del suelo), materia orgánica muerta (desechos y madera muerta) y en la materia orgánica del suelo (IPCC 2003).

2.3.1 Métodos para la estimación de carbono

El almacenamiento de carbono puede ser estimado a través de métodos directos destructivos (Pérez y Kanninen 2002), que consumen mucho tiempo para su realización sobre todo cuando se va a medir follaje, raíces o ramas (Araújo *et al* 1999). Esta situación se complica aún más cuando son árboles maduros y el agricultor los considera un potencial ingreso económico. Para las estimaciones de biomasa en bosques tropicales, este método proporciona resultados más confiables que los estimados basados en cálculos de volumen (Brown *et al* 1989).

2.3.1.1 Uso de modelos alométricos

Utiliza modelos ya construidos considerando el ámbito de los parámetros de la ecuación (Andrade e Ibrahim 2003). En fincas cacaoteras y bananeras de Talamanca (Andrade *et al* en

preparación) desarrollaron diversos modelos alométricos que permiten cuantificar la biomasa en varias especies de sombra y maderas comunes (incluyendo el laurel) y para el cacao. En fincas cafetaleras con sombra de regeneración natural en Nicaragua se cuantificó el carbono almacenado en estos SAF, midiendo el diámetro de la planta de café a una altura de 30 cm y generando diversos modelos alométricos (Suárez 2002; Segura *et al* 2006).

2.3.2 Capacidad de almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales

El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas agrícolas y forestales (Brown y Lugo 1984). Este servicio se produce durante la fotosíntesis, por lo que la cobertura vegetal se convierte en un potencial sumidero de carbono (Cuellar *et al* 1999). Por almacenamiento de carbono se comprende al carbono que está contenido en determinado ecosistema vegetal y toma en cuenta criterios de tipo de vegetación y densidad de la madera (Segura 1997).

El almacenamiento de carbono potencial en los SAF depende de la especie arbórea, densidad de individuos, materia orgánica en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y del manejo silvicultural (Cubero y Rojas 1999).

Los rangos de almacenamiento de carbono son variables. Kursten y Burshel (1993) encontraron de 3 a 25 t C ha⁻¹; mientras Dixon (1995) encontró un rango entre 12 y 228 t C ha⁻¹ en los sistemas agroforestales incluyendo el carbono del suelo. A la vez, Márquez (1997) en SAF con café en Guatemala, encontró para todo el sistema (árboles, hojarasca, vegetación herbácea, suelo) 115 t C ha⁻¹, mientras que Alvarado *et al* (1999) estimaron para un sistema agroforestal de café un promedio de 91 t C ha⁻¹ para todos los componentes. Segura (2005) en Talamanca (Costa Rica), encontró que los SAF de cacao acumulan 123 t C ha⁻¹, mientras que los SAF de banano almacenan 81 t C ha⁻¹.

2.4 Parcelas de muestreo

Las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son áreas debidamente delimitadas y ubicadas geográficamente para registrar datos ecológicos y dasométricos con la finalidad de obtener resultados sobre incrementos, mortalidad, reclutamiento u otro tipo de información

necesaria (Pinelo 2000). Generalmente, todos los árboles en estas parcelas son marcados, medidos e identificados individualmente (John y Tschinkel 1971). Estas parcelas permiten evaluar eficientemente los flujos de carbono (Segura y Kanninen 2002), siendo herramientas estadísticas importantes, por que proveen datos más reales y de fácil comprobación de los cambios en el crecimiento de la vegetación (MacDicken 1997).

La forma, tamaño y número de las PPM son importantes en el monitoreo de carbono. La forma depende de la distribución espacial de los árboles de sombra, si éstos tienen distribución uniforme se recomienda emplear parcelas rectangulares o cuadradas, mientras si se disponen de manera no uniforme (al azar) se recomienda emplear parcelas circulares o realizar un censo total si la densidad es muy baja para reducir el error. La densidad arbórea determina el tamaño de la parcela si es alta se recomiendan parcelas pequeñas, si es baja se deben emplear parcelas de mayor tamaño (Andrade e Ibrahim 2003).

2.5 Conocimiento local

En un sentido amplio, el conocimiento local se define como el cúmulo de experiencias, creencias, costumbres, prácticas que son relacionadas entre si y además lógicas, se trasmite a través de las generaciones y se basa en las observaciones diarias y la experimentación con formas de vida, sistemas productivos y ecosistemas naturales (Farrington y Martin 1988; Montecinos 1999).

Al incrementarse los problemas ambientales, el interés en el conocimiento tradicional ecológico ha aumentado, puesto que contribuye a la conservación de los ecosistemas y biodiversidad (Berkes et ál. 2000). Es este conocimiento el que influye en la toma de decisiones del agricultor sobre el manejo adecuado de los SAF (Sain 1997). Suárez (2001) encontró que el manejo tradicional de la regeneración natural del laurel tiene grandes potencialidades en la zona de Talamanca.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en la Reserva Indígena de Talamanca, la cual está ubicada al sudeste de Costa Rica, en la provincia Limón, distrito Bratsi entre los 9° 21' 38'' y 9° 31' 30'' N y 82° 54' 40'' y 83° 50' 40'' O (Figura 1). En esta zona no existe una época seca definida, aunque las lluvias tienden a disminuir en los meses de marzo a abril y de septiembre-octubre. Se identifican las siguientes zonas de vida: bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo premontano bajo y bosque muy húmedo tropical (Holdridge 1967). En las lomas bajas de la cordillera, los suelos se clasifican como Oxic palehumults y Aeric tropaquepts; mientras que en los valles de Sixaola y Talamanca (sobre las terrazas fluviales) como Typic troprothent (Kapp 1989). La altitud del área de estudio varía en las zonas aluviales desde 40 hasta 150 m, mientras que en las partes más alta alcanza los 400 m.

El valle de Talamanca está asentado en un abanico aluvial, formado por una compleja red hidrográfica compuesta por los ríos que bajan por la vertiente oriental de la cordillera: Telire, Lari, Urén y Coén. En las zonas altas predominan las pendientes fuertes (Borge y Villalobos 1995). Las precipitaciones varían en un rango de 1900 a 2740 mm año⁻¹ y con una temperatura promedio de 22 a 27 °C (Kapp 1989).

La población de la Reserva Indígena de Talamanca pertenece en su mayoría (80%) a la etnia Bribri, ubicada en la parte sudeste y norte del Valle, así como en las partes montañosas de Alto Lari, Alto Duri, Duriñak, Namuwoki, Alto Urén y Alto Coen. Los Cabécares representan el 15% de la población y habitan la parte occidental, en las partes más montañosas. El 3% de la población son afrobribris, quienes habitan principalmente la ribera izquierda del río Telire, mientras que el resto de la población (2%) tiene diversos orígenes culturales y nacionales (Borge y Castillo 1997).

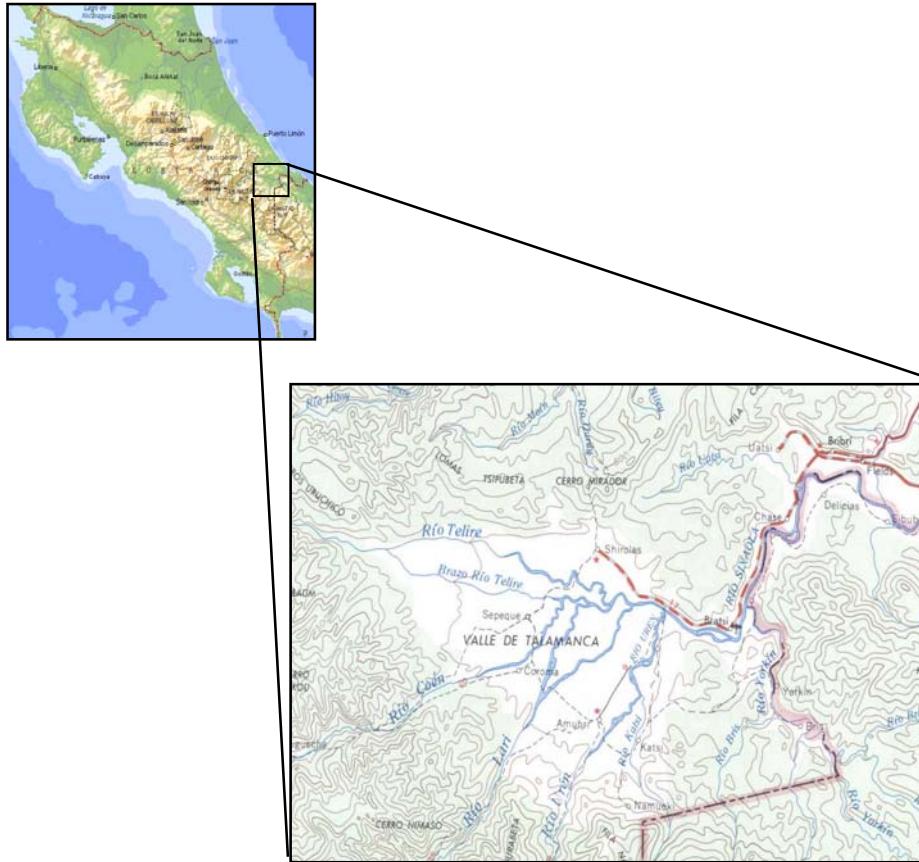


Figura 1. Localización del área de estudio

3.2 Población de estudio

La población de estudio consistió en los cacaotales y banales de indígenas Bribri y Cabécar afiliados a la Asociación de Pequeños Productores de Talamanca (APPTA). En 20 comunidades de Talamanca se remidieron 64 parcelas (de 68 que fueron establecidas en el año 2000 ya que cuatro resultaron destruidas por las inundaciones del año 2005). La parcela de medición correspondió a la plantación de cacao o banano que maneja el agricultor en la finca por lo que éstas fueron de tamaño y forma variable. Los atributos descriptivos de la población fueron el volumen de madera y el almacenamiento de carbono. Los detalles sobre definición del tamaño de muestra, agricultores participantes, intensidad de muestreo, procedimiento para establecimiento de las parcelas se encuentran en Suárez (2001).

Se realizó la georeferenciación de cada parcela (plantación de cacao o banano) utilizando un GPS marca Garmin® modelo etrex LEGEND. Los ángulos principales de las parcelas fueron marcados con estacas de madera enterradas en el suelo. La identificación de los agricultores que participaron en el estudio se realizó usando la información generada durante la medición de Suárez (2001).

3.3 Inventario de laurel y cedro

Los sistemas agroforestales en Talamanca son diversos conteniendo numerosas especies que los agricultores cultivan con diferentes fines (árboles para sombra y madera, frutales, medicinales, palmas, alimenticios, además del cultivo principal) en el presente estudio solamente se evaluaron las dos especies principales del dosel de sombra en cacaotales y bananales de Talamanca (Guiracocha 2000) como lo son las especies de laurel y cedro amargo.

Todos los árboles de laurel y cedro amargo con diámetro a la altura del pecho (dap) ≥ 4 cm presentes en la parcela fueron medidos con cinta diamétrica y marcados con pintura 5 cm por debajo del punto de medición del dap mediante numeración continua para cada parcela en dirección al norte y en sentido de las manecillas del reloj. Se trazó una línea recta sobre el punto donde fue medido el dap. Se considera a árboles con dap ≥ 4 cm como una regeneración natural en la plantación de cacao o banano que ya han sobrevivido a las actividades de manejo tradicional que realizan los agricultores.

Se evaluó la forma del fuste de los laureles y cedros, clasificándolos en seis clases: R: recto; P: poco sinuoso; Rb: recto bifurcado; Pb: poco sinuoso bifurcado; M: muy sinuoso y Mb: muy sinuoso bifurcado. El estado fitosanitario de cada árbol se clasificó en cuatro clases: S: sano; Cr: copa rota; PE: con plaga o enfermo y Ma: matapalo en laurel (*Phoradendrum sp.*).

Se designó como cacaotal (C) las plantaciones puras de cacao y a las que tenían cacao combinado con banano (siendo el cacao el cultivo predominante) y se designó como bananales (B) a las plantaciones puras de banano y a las que tenían banano combinado con cacao (siendo el banano el cultivo dominante). Se realizó una diferenciación de las parcelas permanentes de muestreo de acuerdo a unidades fisiográficas de valle (V) y ladera (L).

3.4 Rendimiento de madera y tasas de aprovechamiento de laurel y cedro amargo

3.4.1 Almacenamiento y rendimiento de madera, biomasa y carbono

Los datos de dap del inventario del 2005 de la población de laurel (anexo 1) y cedro amargo (anexo 3) fueron la base para la construcción de la distribución diamétrica de los sistemas SAF. Se definieron 17 clases diamétricas con un ancho de clase de 5 cm (Anexo 2) y (Anexo 4). Para el cálculo de los diferentes parámetros dasométricos (volumen comercial, volumen total, densidad y área basal) así como también la determinación de la biomasa y carbono se siguió el procedimiento siguiente:

1. El volumen del fuste para árboles individuales de laurel se estimó utilizando la ecuación de Somarriba y Beer (1987):

$$V = e^{-9,62+2,697 \ln(d)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

V : Volumen del fuste con corteza (m^3)

e : Base de los logaritmos naturales

d : Diámetro a la altura del pecho (cm)

2. El volumen comercial del fuste de cedro amargo en árboles individuales se estimó con la ecuación de Ford (1979) con $dap \geq 22.4$ cm.

$$V_c = 0,21245(d^2) - 77,02212 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

V_c : Volumen comercial con corteza (pmt)

d : Diámetro a la altura del pecho (cm)

1 pulgada maderera tica (pmt)= 0.0028 m^3

3. El volumen total de madera para las dos especies en estudio se obtuvo del producto de multiplicar el volumen de la marca de clase (*vmc*) por la frecuencia en cada clase diamétrica.

$$Vt = \Sigma(fcd * vmc) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Vt : Volumen de la especie (m³)

vmc : Volumen en la marca de clase (m³)

fcd : Frecuencia de clase diamétrica

- Para determinar el área basal de las especies de cedro amargo y laurel en los SAF evaluados se empleó la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{1}{4} \pi * dap^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

AB : Área basal (m²)

dap : Diámetro a la altura del pecho (m)

4. El cálculo de la biomasa de laurel y cedro amargo se realizó a partir del volumen y la gravedad específica (Ecuación 5).

$$B_t = V * ge * feb \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

B_t : Biomasa total arriba del suelo (kg)

V : Volumen del árbol (m³)

feb : Factor de expansión de la biomasa

5. El carbono se estimó asumiendo un valor de contenido de 0,46 (Ecuación 6), obtenido para laurel (anexo 5) en evaluaciones de carbono en SAF de Talamanca (Segura 2005). En el caso de cedro amargo se asumió una fracción de carbono de 0,50 (IPCC 2003).

$$C = Bt * 0,46 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

C: Carbono (kg)

Bt : Biomasa (kg)

6. Los incrementos anuales de biomasa y carbono fueron calculados en base a los inventarios realizados por Suárez (2001) y el de este estudio (2005). Así, se determinaron las diferencias entre los dos períodos para cada parámetro y se dividió para 5 años, obteniéndose las tasas anuales de cambio para la población de laurel y cedro amargo en los SAF evaluados.

3.4.2 Tasa de aprovechamiento de laurel y cedro amargo

El volumen de madera aprovechado anualmente en las parcelas se estimó mediante recorridos por la parcela, el propietario indicó los tocones aprovechados y el año de extracción. Se midió la altura de corte y el diámetro a todos los tocones aprovechados a partir del año 2001. El diámetro se midió en dos direcciones tratando de encontrar los puntos intermedios del tocón debido a la presencia de aletones. Posteriormente, el volumen se estimó empleando las ecuaciones descritas anteriormente (Ecuación 1 y Ecuación 2). Debido a que las alturas de corte son variables, se estandarizó el diámetro de los tocones a una altura de corte de 1,3 m (dap) con la ecuación de Pérez (1954) y Suárez (2001):

$$d = -136,90622 + 37,51902 \ln(dt) + 8,15199 \ln(ht) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

dt : Diámetro a la altura del tocón (cm)

ht : Altura del tocón (cm)

d : Diámetro del tocón a 1,30 m de altura (cm)

3.4.3 Desperdicios de madera y emisión de carbono por aprovechamiento local del laurel

Se seleccionó una muestra de 160 árboles en pie de laurel distribuidos en las clases diamétricas a partir de 40 cm de dap en diversas parcelas. Tres experimentados aserradores de madera de la zona (Walberto Romero Torres, Rubén Mórales Mórales y Abel Pita Pita) de forma independiente (en secreto) estimaron visualmente el volumen de madera tablar (1m³= 423 pies tablares) que podía obtener de cada árbol (en tablas, tablillas y mampostería). Con los datos estimados por los sierreros y el dap conocido se construyó una ecuación para estimar el volumen (pié tablares) de madera que se aprovecha de árboles con dap ≥ 40cm.

El volumen de madera estimado visualmente por cada sierrero fue convertido a biomasa empleando la gravedad específica de laurel de 0,47 (Segura 2005) y a carbono a través de la Ecuación 6.

Con el dap conocido (≥ 40cm) de los 72 árboles (tocones) de laurel aprovechados en 5 años en las parcelas medidas y ajustados (dap=1,30 m) con la Ecuación 7, se calculó el volumen total empleando la Ecuación 1; la biomasa y carbono total fueron calculados empleando las Ecuaciones 8 y 6 respectivamente. El carbono y biomasa en forma de residuos producto del aprovechamiento fue determinada restando al carbono y biomasa total del fuste del árbol en pie la cantidad que sale en forma de madera aserrada estimada por los sierreros.

$$B_t = 10^{(-0,51 + 2,08 * \log(dap))} \quad \text{Ecuación 8}$$

3.5 Modelación de la dinámica poblacional de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca

Se proyectó la dinámica poblacional desarrollando un modelo de matrices de transición tipo Usher que proponen Somarriba (2001) y Suárez (2001). La población fue dividida en clases diamétricas de 5 cm, tal como el usado en estudios semejantes (Somarriba 1990; Suárez 2001). El diámetro mínimo de corta fue establecido en 45 cm, siendo el más utilizado por los agricultores de Talamanca.

La iteración se realizó por periodos de un año hasta una proyección de cinco años para determinar la capacidad de producción de madera y comportamiento de la población de laurel de los SAF en estudio. La ecuación matricial empleada fue la siguiente:

$$n_{t+1} = M * n_t + R \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde los vectores n_{t+1} y n_t denotan la distribución diamétrica (árboles ha⁻¹) entre los años sucesivos t y $t+1$, M es la matriz de coeficientes de transición y R es el reclutamiento de individuos en el periodo que se analiza. La ecuación $n_{t+1} = M * n_t + R$ devuelve en cada iteración en la clase diamétrica superior la densidad de árboles que alcanzan el diámetro mínimo de corta.

Suponiendo una población de z clases diamétricas (z_1, z_2, \dots, z_l) en el año t , en donde z_l es la clase diamétrica de los árboles de cosecha, la proyección de la población en el año $t+1$ con la ecuación $n_{t+1} = M * n_t + R$ en forma matricial es:

$$\begin{pmatrix} a \\ z_{1,t+1} \\ z_{2,t+1} \\ . \\ . \\ z_{l,t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ e_{ij} & r_{ii} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_{ij} & r_{ii} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & . & . & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{ij} & r_{ii} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} a \\ z_{1,t} \\ z_{2,t} \\ . \\ . \\ z_{l,t} \end{pmatrix} + R$$

Donde:

- e_{ij} : Coeficientes de transición del periodo i al periodo j

$$e_{ij} = p_{ij} \cdot S_i \quad \text{Ecuación 10}$$

- r_{ii} : Coeficientes de permanencia en el periodo i

$$r_{ii} = q_{ii} \cdot S_i \quad \text{Ecuación 11}$$

El cálculo de estos coeficientes fue derivado de la estimación de una tasa anual de paso (p_{ij}) de clase i a clase j y una tasa anual de permanencia (q_{ii}) en la misma clase i ajustados por un factor de supervivencia anual por clase (S_i), entonces:

$$p_{ij} = \frac{i_d}{K_i} \quad \text{Ecuación 12}$$

-Donde i_d denota el incremento corriente anual en diámetro en la clase i estimado con la primera derivada de la ecuación de crecimiento de Chapman Richards (Suárez 2001) y K_i el intervalo de clase (5 cm).

$$i_d = a * b * c * e^{-bt} (1 - e^{-bt})^{c-1} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$a; b; c$: Parámetros de la ecuación de regresión

e : Base de los logaritmos

t : Edad para alcanzar la categoría diamétrica

- Entonces la tasa anual de permanencia se calculó de la siguiente manera:

$$q_{ii} = 1 - p_{ij} \quad \text{Ecuación 14}$$

q_{ii} : Tasa anual de permanencia

p_{ij} : Tasa anual de paso de la clase i a la clase j

La supervivencia anual por clase (S_i) se estimó con base en la distribución diamétrica del inventario del 2005 (Anexo 5) y las tasas de aprovechamiento anual por clase diamétrica para laurel tomando en cuenta que durante el inventario actual no se reportaron individuos muertos por otra razón diferente al aprovechamiento. La ecuación que se empleó fue la siguiente:

$$S_i = \frac{(N_i - T_i)}{N_i} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde S_i es la supervivencia en la clase i , N_i es el número de individuos en la clase diamétrica i y T_i es la tasa de aprovechamiento anual para la clase diamétrica i .

El reclutamiento anual se estimó con base en la comparación de las curvas de distribución diamétrica de los inventarios del 2001 (Suárez 2001) y el del 2005. La diferencia entre ambas

curvas permitió obtener el número de individuos que se incorporaron a las clases diamétricas en los diferentes sistemas agroforestales, la ecuación empleada fue la siguiente:

$$R_i = \frac{(N_{i2005} - N_{i2001})}{5} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

R_i : Tasa anual de reclutamiento (árboles ha⁻¹ año⁻¹)

N_{i2005} :Número de individuos en la clase diamétrica i por hectárea en el inventario del 2005

N_{i2001} :Número de individuos en la clase diamétrica i por hectárea en el inventario del 2001.

El análisis de la dinámica poblacional de laurel se realizó a dos niveles: a nivel de poblaciones de SAF cacao en valle (CV), cacao en ladera (CL), banano en valle (BV) y banano en ladra (BL) y a nivel de parcelas individuales.

Para evaluar el efecto en la dinámica poblacional del laurel como resultado de cambios en las prácticas de manejo, se simuló para cinco años el comportamiento de la población con diferentes tasas de sobrevivencia y reclutamiento. Los escenarios fueron: 1) proyección a cinco años con los datos observados de la distribución diamétrica (árboles ha⁻¹), 2) 100% de sobrevivencia en las clases diamétricas inferiores (dap < 45 cm) y 3) incrementos del 50% en las tasas de reclutamiento.

La proyección del rendimiento de madera se realizó a partir de la distribución poblacional en clases diamétricas, con la Ecuación 1 se estimó la producción de madera (m³ ha⁻¹ año⁻¹) para cada sistema agroforestal.

Se asumió lo siguiente (para la población): si el incremento corriente anual del volumen comercial ($ICAVc$) es mayor que cero el aprovechamiento es sostenible, si es igual a cero está en equilibrio con el crecimiento de la población, si el $ICAVc$ es menor que cero el aprovechamiento no es sostenible. También se determinó el incremento periódico anual del volumen comercial $IPAVc$. Las ecuaciones fueron:

$$ICAVc = Vc_{i+1} - Vc_i \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$ICAVc$: Incremento corriente anual del volumen comercial ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

Vc_{i+1} : Volumen comercial proyectado en el año siguiente ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

Vc_i : Volumen comercial proyectado en el año actual ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

$$IPAVc = \frac{(Vc_f - Vc_i)}{5} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$IPAVc$: Incremento periódico anual del volumen comercial proyectado ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Vc_f : Volumen comercial ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) al final del periodo proyectado de cinco años.

Vc_i : Volumen comercial al inicio del periodo proyectado ($m^3 \text{ ha}^{-1}$).

El análisis a nivel de parcelas se realizó de la siguiente manera: las tasas de sobrevivencia y reclutamiento anual fueron calculadas mediante las Ecuaciones 15 y 16 respectivamente, la distribución diamétrica fue la encontrada en cada parcela en este estudio.

Se realizaron iteraciones para cinco años y se encontraron los incrementos en densidad (Ecuación 19) si el incremento fue positivo se consideró que hay crecimiento de la población, si es negativo entonces hay disminución de la población, se encontraron las tasas anuales de incremento considerando el periodo de proyección (Ecuación 20).

$$\Delta N = N_{2010} - N_{2005} \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

ΔN : Cambio en la densidad de árboles en el periodo 2005-2010(árboles ha^{-1})

N_{2010} : Densidad de árboles a cinco años de proyección (árboles ha^{-1})

N_{2005} : Inventario base en la parcela (árboles ha^{-1})

$$IPAN = \frac{\Delta N}{5 \text{ años}} \quad \text{Ecuación 20}$$

Dónde:

$IPAN$: Incrementos periódicos anuales de la densidad (árboles $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

ΔN : Cambios en la densidad de árboles en el periodo 2005-2010(árboles ha^{-1})

3.6 Estimación del crecimiento diamétrico

Diversos estudios indican que el laurel tiene un crecimiento diamétrico estacional lo cual origina anillos distinguibles (Somarriba y Beer 1986; Suárez 2001). Se estimó el crecimiento anual diamétrico a partir de mediciones de anillos de crecimiento de 30 discos recolectados de árboles aprovechados (15 discos por Suárez (2001) y 15 en el año 2005). Se discriminaron dos unidades fisiográficas (valle y laderas), se midieron 15 discos para cada unidad fisiográfica.

Los discos recolectados fueron cuidadosamente seleccionados. Desechando aquellos que presentaban pudriciones en el centro del disco y los que tenían aletones (gambas) muy grandes que los deformaran. Para contar los anillos de crecimiento, la superficie de los discos fue pulida con cepillos manuales y lijada, luego se aplicó agua para distinguir mejor los anillos. Se trazaron dos rectas perpendiculares (formando una cruz) que tocaran el centro del disco y luego se marcaron y numeraron los anillos, utilizando lupa y regla graduada, los datos se anotaron en el formulario elaborado para tal fin.(Anexo 8)

Se tomaron dos medidas para cada anillo de crecimiento y posteriormente se obtuvo la media de ambas mediciones, con estos datos y conociendo la edad de cada uno de los anillo se calcularon los incrementos corrientes anuales y los incrementos periódicos anuales de cada individuo.

El crecimiento diamétrico del laurel, en función de la edad se modeló con la ecuación de Chapman Richards empleando los datos de las mediciones de los diámetros (d) y la edad (t) de los discos recolectados para valles y laderas.

3.7 Caracterización del manejo tradicional del laurel y el cedro amargo en cacaotales y bananales

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas (Anexo 7) (Karremans 1994), a dos tipos de agricultores (cacao y banano) en dos unidades fisiográficas (valle y ladera), para un total de cuatro grupos o estratos. Se seleccionaron aleatoriamente y se entrevistaron 23 productores (16 hombres y 7 mujeres) correspondiendo 5 a productores de banano en laderas y 6 productores para cada estrato de cacao en ladera, banano valle y cacao en valle. Estos productores fueron entrevistados en sus viviendas y a través de recorridos por sus parcelas, lo que permitió confrontar situaciones relativas al manejo que realizan de la regeneración natural

del laurel. Además, se realizaron entrevistas abiertas a aserradores de madera y autoridades relacionadas con los permisos de aprovechamiento de madera en los territorios indígenas.

Las respuestas de los entrevistados fueron anotadas en un formulario (Anexo 6); las entrevistas duraron en un rango de 45 a 70 minutos. Posteriormente, fueron transcritas a un procesador de texto y luego impresas y transformadas a enunciados unitarios. Seguidamente fueron incorporadas a una base de conocimiento a través del Software AKT-5, el cual permite documentar el conocimiento local a través de enunciados unitarios y hallar la relación lógica.

Se consideró manejo adecuado al conjunto de prácticas tradicionales que realizan los agricultores en los sistemas agroforestales de cacao y banano que permiten un incremento de la densidad poblacional y un aumento de la producción de madera, a través de mantener tasas de aprovechamiento de madera inferiores a las tasas de crecimiento.

3.8 Manejo estadístico de la información

Los datos del inventario y procesamiento de datos para obtención de los estimadores de los parámetros dasométricos fueron realizados en tablas de Excel. En el análisis estadístico, los datos fueron agrupados en sistemas agroforestales (cacao o banano) y la unidad fisiográfica (valle o ladera), así se tuvieron cuatro tratamientos (cacao en valle, cacao en ladera, banano en valle y banano en ladera). Se realizó la prueba de normalidad para cada variable y cuando no se cumplió entonces los datos fueron transformados a raíz cuadrada para realizar nuevamente la prueba de normalidad, se realizó análisis de varianza y comparación de medias con la prueba Duncan, utilizando el Software INFOSTAT. Para resolver las matrices de transición se utilizó el software Cientific Work Place®. Las curvas de crecimiento fueron generadas con el software Sigma-Plot®.

4 RESULTADOS

4.1 Existencias de madera de laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales de Talamanca

La especie laurel es la más abundante en relación al cedro amargo en los sistemas agroforestales de cacao y banano en Talamanca (Cuadro 1). No hubo diferencias significativas entre las densidades de laurel en V y las densidades de laurel en L, siendo estas de 54,84 y 54,43 árboles ha^{-1} respectivamente, sin embargo las densidades de laurel en V tienen un área basal mayor un 22% que las L, presentan un área basal en diámetros aprovechables superior en un 39% con relación a las L, así mismo el volumen total del V es superior en un 34% que el volumen que contienen los árboles en L y los árboles en V almacenan un 22% de carbono más que las poblaciones de laurel en L, siendo estas de 21,15 y 16,87 t ha^{-1} de carbono para V y L respectivamente.

Cuando se comparó la densidad de laurel en C y B no hubo diferencias significativas, sin embargo las densidades de laurel en C determinan que estos tengan un área basal superior en un 8% en relación a los B, así mismo las poblaciones de laurel en C acumulan un 12% de carbono más en relación a la población de laurel en B, siendo estas de 20,14 y 17,88 t ha^{-1} para C y B respectivamente. En sentido general los SAF de C en V presentan las mayores existencias de madera, biomasa y carbono de laurel.

Las densidades de cedro amargo son bajas en relación a las presentadas por el laurel en los SAF de C y B, en relieve de V y L. No hubo diferencias entre las densidades de cedro amargo en C y B, sin embargo las densidades de cedro en B presentan un área basal superior en un 30% a la presentada por los C, poseen un volumen superior en un 27% a los C y almacenan un 26% de carbono más que los C, siendo estas de 1,5 y 1,4 t ha^{-1} para C y B respectivamente.

Cuando se compararon las densidades de cedro por condición de crecimiento V y L, no hubo diferencias entre las mismas, sin embargo las densidades de cedro en V presentan un área basal mayor en un 20% que las densidades de cedro en L, poseen un 37% de área basal aprovechable superior a las L, el volumen comercial es un 35% mayor al volumen comercial que presentan las L y almacenan un 31% de carbono más que el almacenado por las L, siendo estas de 1,4 y 1,1 t ha^{-1} para C y B respectivamente. En sentido general los SAF de B en V presentaron las mayores existencias de madera, biomasa y carbono de cedro amargo.

Cuadro 1. Existencias de laurel y cedro amargo en los SAF de cacao y banano en condiciones de ladera y valle en Talamanca, Costa Rica, en el año 2005

Cultivo principal	Cacao		Banano	
Unidad fisiográfica	Valle	Ladera	Valle	Ladera
Variable	Laurel			
densidad (árboles ha ⁻¹ dap ≥4cm)	55,77a±7,0	49,11a±6,7	53,91a±14,8	53,76a±16,5
densidad (árboles ha ⁻¹ dap ≥45cm)	10,83a±2,0	6,83a±1,6	10,19a±4,0	5,45a±2,8
Área basal ≥ 4cm (m ² ha ⁻¹)	5,59a±0,8	3,87a±0,4	4,604a±1,2	4,18a±1,2
Área basal ≥ 45cm (m ² ha ⁻¹)	2,67a±0,5	1,63a±0,4	2,56a±1,02	1,60a±0,7
Vt ≥4 cm (m ³ ha ⁻¹)	66,76a±10,1	44,10a±6,6	56,02a±17,1	49,23a±16,4
Vc ≥45 cm (m ³ ha ⁻¹)	38,52a±7,6	23,56a±6,5	37,32a±15,1	25,06a±12,0
Biomasa (t ha ⁻¹)	49,70a±7,0	35,50a±4,9	40,20a±11,8	35,90a±11,4
Carbono (t ha ⁻¹)	23,40a±3,3	16,88a±2,3	18,90a±5,5	16,87a±5,3
	Cedro amargo			
densidad ≥4cm (árboles ha ⁻¹)	3,03a±1,4	3,39a±1,9	4,49a±1,3	5,54a±3,2
densidad ≥45cm (árboles ha ⁻¹)	0,82a±0,3	0,47a±0,2	0,89a±0,3	0,34a±0,3
Área basal ≥4cm (m ² ha ⁻¹)	0,38a±0,1	0,29a±0,1	0,46a±0,1	0,40a±0,2
Área basal ≥45cm (m ² ha ⁻¹)	0,30a±0,1	0,14a±0,1	0,30a±0,1	0,24a±0,2
Vc ≥45cm (m ³ ha ⁻¹)	2,07a±0,9	0,96a±0,5	2,07a±0,9	1,77a±1,7
Biomasa (t ha ⁻¹)	3,00a±1,2	2,10a±0,8	3,50a±1,3	2,80a±1,9
Carbono (t ha ⁻¹)	1,30a±0,5	1,00a±0,4	1,60a±0,6	1,30a±0,8

CV: cacao en valle; CL: cacao en ladera; BV: banano valle; BL; banano ladera

±: indica el error estándar; Vt: volumen total; Vc: volumen comercial

Letras iguales no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) entre tratamientos

4.2 Incrementos de madera, carbono y biomasa de laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales de Talamanca

El laurel alcanzó mayores incrementos que el cedro amargo en el periodo 2001-2005 en los SAF de C y B evaluados (Cuadro 2). No hubo diferencias entre los incrementos de densidades de laurel en C y los incrementos de densidades de laurel en B, sin embargo los incrementos de área basal son mayor un 44% en los B con respecto a los incrementos en C, asimismo presentan incrementos de un 50% en área basal con respecto a los C, los B poseen incrementos de volumen comercial mayor en un 82% que los C y tienen una tasa de fijación de carbono superior en un 33% a las tasas de fijación de los C, siendo estas de 1,3 y 1,8 t c ha⁻¹ año⁻¹ para C y B respectivamente.

Cuando se compararon los incrementos de la densidad de laurel en V y L no hubieron diferencias, sin embargo las densidades de laurel en V tienen un incremento en área basal

superior en un 40% en relación a las L, así mismo el incremento de volumen total de los V es superior en un 29% a la de los incrementos en L, las tasas de fijación de carbono son mayores en un 15% en los V con respecto a las L. En sentido general los SAF de B en V presentan los mayores incrementos de madera, biomasa y carbono de laurel.

Los incrementos de las densidades de cedro amargo son bajas en relación a los incrementos presentados por el laurel. No hubo diferencias entre los incrementos de las densidades de cedro amargo en C y B, sin embargo las densidades de cedro en B presentan un incremento en área basal superior en un 50% a la presentada por los C, poseen un incremento en volumen comercial superior en un 50% a los C y tienen una tasa de fijación de carbono superior a la de los C, siendo estas de 0,1 y 0,2 t c ha⁻¹ año⁻¹ para C y B respectivamente.

Cuadro 2. Incrementos de laurel y cedro amargo en los SAF de cacao y banano en laderas y valles de Talamanca en el periodo 2001-2005

Cultivo principal	Cacao		Banano	
Unidad fisiográfica	Valle	Ladera	Valle	Ladera
Variables	Laurel			
densidad ≥ 4 cm (árboles ha ⁻¹ año ⁻¹)	1,90a \pm 1,2	1,20a \pm 0,7	3,10a \pm 2,1	2,40a \pm 1,5
densidad ≥ 45 cm (árboles ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,60a \pm 0,4	0,40a \pm 0,3	1,00a \pm 0,4	0,10a \pm 0,1
Área basal ≥ 4 cm (m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,30a \pm 0,1	0,20a \pm 0,1	0,40a \pm 0,1	0,30a \pm 0,1
Área basal ≥ 45 cm (m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,10a \pm 0,1	0,10a \pm 0,1	0,30a \pm 0,1	0,10a \pm 0,1
Vt (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	3,80a \pm 1,7	2,60a \pm 1,5	5,80a \pm 2,2	4,80a \pm 2,5
Vc (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	2,10a \pm 1,5	1,80a \pm 1,3	4,60a \pm 2,2	2,50a \pm 2,0
Biomasa (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	3,10a \pm 0,7	2,70a \pm 0,6	4,20a \pm 0,7	3,60a \pm 0,7
Carbono (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	1,50a \pm 0,8	1,20a \pm 0,5	1,90a \pm 0,5	1,70a \pm 0,6
	Cedro amargo			
densidad ≥ 4 cm (árboles ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,37a \pm 0,3	0,40a \pm 0,2	0,02a \pm 0,3	0,10a \pm 0,7
densidad ≥ 45 cm (árboles ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,10a \pm 0,1	0,03a \pm 0,01	0,01a \pm 0,08	0,07a \pm 0,07
Área basal (m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,04a \pm 0,03	0,04a \pm 0,02	0,07a \pm 0,03	0,07a \pm 0,06
Área basal ≥ 45 cm (m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,03a \pm 0,02	0,01a \pm 0,01	0,05a \pm 0,03	0,05a \pm 0,05
Vc (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,20a \pm 0,1	0,10a \pm 0,05	0,30a \pm 0,1	0,30a \pm 0,3
Biomasa (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,20a \pm 0,2	0,20a \pm 0,1	0,50a \pm 0,2	0,50a \pm 0,4
Carbono (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	0,10a \pm 0,1	0,10a \pm 0,05	0,20a \pm 0,1	0,20a \pm 0,1

±: indica el error estándar; Vc: volumen comercial; Vt: volumen total
 Letras iguales no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) entre tratamientos

•

4.3 Emisión de carbono por aprovechamiento tradicional de madera de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca

La predicción de los sierreros del volumen de madera aprovechable en función del diámetro a la altura del pecho (dap) fue lineal (Figura 2). Las pendientes de las tres regresiones (una por sierrero) no difirieron ($p > 0,05$) entre si por lo que se ajustó una sola ecuación de regresión, con los datos de los tres sierreros juntos. Esta ecuación predice el rendimiento volumétrico en pié tablares de los árboles de laurel en pié con $40 \text{ cm} \leq \text{dap} \leq 80 \text{ cm}$ ($1 \text{ m}^3 = 425 \text{ pié tablares}$) en las condiciones del aprovechamiento tradicional de madera que realizan los agricultores en Talamanca.

$$V_c = 9,18 * \text{dap} - 227,74$$

$$R^2 = 0.58$$

Dónde:

V_c : Volumétrico en pié tablares (pt) por árbol

dap: diámetro a la altura del pecho (cm)

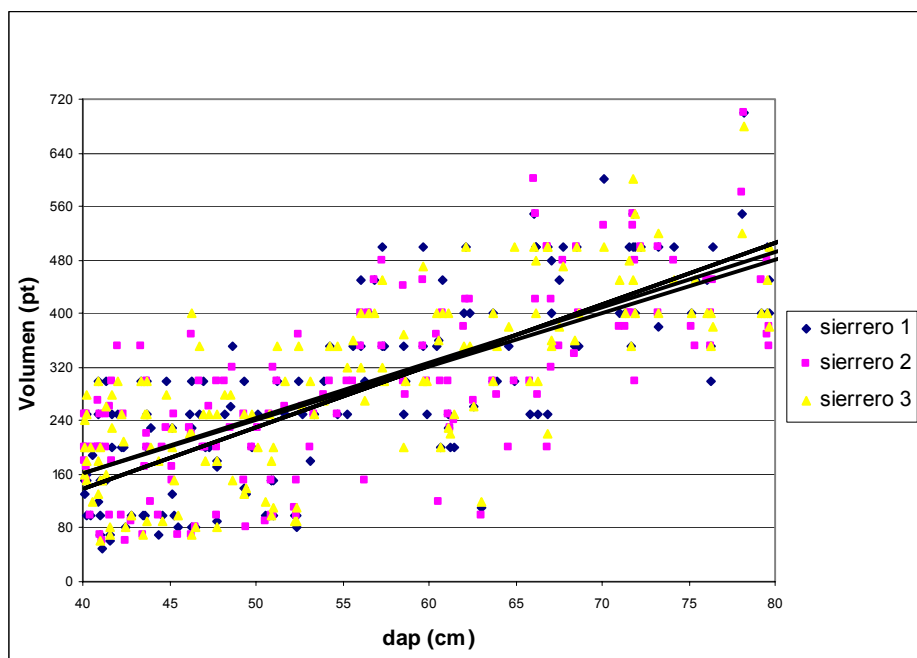


Figura 2. Relación estimada entre volumen (pt) y dap (cm)

Se estimó que 72 árboles de laurel aprovechados en 47 hectáreas en 5 años en Talamanca con $dap \geq 40$ cm producen como promedio (Cuadro 3) un volumen de 38,9 m³; equivalente a 18,2 t de biomasa y 8,5 t de carbono en madera aserrada (tablas, tablillas y mampostería), se estimó que en promedio el 79% de carbono se pierden como desperdicios, liberando 38,3 t de carbono a la atmósfera por efecto del aprovechamiento tradicional que realizan los agricultores de Talamanca. Cuando el análisis se realiza por clases proporción (%) en pérdidas de carbono es mayor a medida que el diámetro de los árboles aumenta.

Cuadro 3. Madera aprovechada (m³) y residuos de carbono (t) por aprovechamiento de madera ($dap \geq 40$ cm) de árboles de laurel de regeneración natural en los sistemas agroforestales de cacao y banano de Talamanca, Costa Rica.

Cd (cm)	N	Árboles en pie			Aprovechamiento estimado por sierreros			Residuos de aprovechamiento			Emisión
		Vt (m ³)	B (t)	C (t)	Vt (m ³)	B (t)	C (t)	Vt (m ³)	B (t)	C (t)	C (%)
40-45,9	24	41,8	37,0	17,4	9,1	4,3	2,0	32,6	32,7	15,3	88
46-50,9	14	32,7	13,8	6,5	6,7	3,1	1,5	25,9	10,6	5,0	77
51-55,9	18	54,7	21,8	10,3	10,6	4,9	2,3	44,2	16,9	7,9	77
56-60,9	7	27,1	10,2	4,8	4,8	2,2	1,0	22,2	7,9	3,7	77
61-65,9	6	28,9	10,4	4,9	4,7	2,2	1,0	24,2	8,1	3,8	79
66-70,9	2	11,8	4,0	1,9	1,7	0,8	0,3	10,0	3,2	1,5	80
71-75,9	1	7,17	2,3	1,1	0,9	0,4	0,2	6,1	1,8	0,8	80
Total	72	204,4	99,9	47,0	38,9	18,2	8,5	165,5	81,6	38,3	79

Cd: clase diamétrica; Vt: volumen total; B: biomasa; C: carbono; N: número de árboles

4.4 Calidad y sanidad de la madera en los sistemas agroforestales de Talamanca

La calidad de los fustes de laurel fue muy buena en los cacaotales y bananales (Cuadro 4) predominando los fustes rectos, el porcentaje de fustes con características aserrables (rectos y poco sinuosos) fue alta (82 en cacaotales y 81% en los bananales). Los valles producen madera de laurel de mejor calidad que las laderas (85 y 78% en valles y laderas respectivamente). En cedro amargo, la calidad aserrable (fustes rectos y poco sinuosos) es inferior con respecto al laurel, en los cacaotales la frecuencia es de 57% y en los bananales fue de 56%, en los valles se produce madera de mejor calidad que en las laderas (63 y 49% en

valles y laderas respectivamente). Se observa una alta frecuencia de fustes muy sinuosos y rectos bifurcados en cacaotales y bananales.

Cuadro 4. Calidad de la madera de las poblaciones de laurel y cedro amargo en los cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica.

Cultivo principal	Cacao		Banano	
Unidad fisiográfica	Valle	Ladera	Valle	Ladera
Parámetros de calidad	Laurel			
Árboles rectos (%)	57,3	56,7	57,4	39,3
Poco sinuosos (%)	22,6	28,7	33,0	32,1
Muy sinuosos (%)	11,6	9,1	2,6	3,0
Rectos bifurcados (%)	4,8	1,8	4,8	8,6
Muy sinuosos bifurcados (%)	3,2	2,1	1,3	9,6
Poco sinuosos bifurcados (%)	0,4	1,6	0,9	6,6
	Cedro amargo			
Árboles rectos (%)	35,7	42,1	36,8	30,0
Poco sinuosos (%)	21,4	15,8	36,8	10,0
Muy sinuosos (%)	14,3	10,5	5,3	6,0
Rectos bifurcados (%)	14,3	5,3	26,3	14,0
Muy sinuosos bifurcados (%)	7,1	15,8	10,5	20,0
Poco sinuosos bifurcados (%)	7,1	10,5	5,3	20,0

El estado sanitario de la población de laurel fue buena (Cuadro 5), la mayor frecuencia son los árboles sanos, siendo mayor en los cacaotales (78%) y menor en los bananales (73%). Hay una infestación considerable de matapalos (*Phoradendrum* sp.) tanto en bananales como en cacaotales las que son mayores en los individuos adultos. La proporción de individuos sanos es similar tanto en valles como en laderas (75 y 76% respectivamente). La población de cedro amargo presentó buen estado sanitario siendo la mayor frecuencia los árboles sanos tanto en cacaotales como en bananales. La frecuencia de árboles enfermos es considerable aunque esta se refiere mayormente a la incidencia del barrenador del tallo (*Hypsiphila grandella*) sobre todo en individuos jóvenes, siendo mayor en las laderas (28%) que en los valles (20%).

Cuadro 5. Sanidad de la madera de laurel y cedro amargo en los cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica.

Cultivo principal	Cacao		Banano	
Unidad fisiográfica	Valle	Ladera	Valle	Ladera
Parámetros de sanidad	Laurel			
Árboles sanos (%)	66,0	89,5	84,1	63,3
Matapalos (%)	31,0	7,1	10,9	26,7
Copa rota (%)	1,3	0,9	3,3	3,3
Árboles enfermos o plagas (%)	1,6	2,4	1,7	6,6
	Cedro amargo			
Árboles sanos (%)	57,1	72,2	70,0	60,0
Matapalos (%)	14,3	11,1	5,0	0,0
Copa rota (%)	7,1	0,0	5,0	0,0
Árboles enfermos o plagas (%)	21,4	16,7	20,0	40,0

4.5 Crecimiento diamétrico del laurel en sistemas agroforestales de Talamanca

Se determinó que el crecimiento es mayor en las zonas de valle alcanzando el diámetro mínimo de corta a la edad de 19,4 años con un incremento medio anual (ima) de 2,31 cm año⁻¹ y un máximo a la edad de siete años con 2,94 cm año⁻¹ (Figura 3). El máximo incremento corriente anual (ica) es de 3,70 cm año⁻¹ a la edad de cinco años.

En las zonas de laderas el diámetro mínimo de corta se alcanza a los 29 años con un ima de 1,55 cm año⁻¹ y un máximo de 2,49 cm año⁻¹ a la edad de ocho años (Figura 3). El máximo ica es de 2,96 cm año⁻¹ a los ocho años de edad.

La diferencia de tiempo en alcanzar el diámetro mínimo de corta ($dap \geq 45$ cm) en zonas de valle y laderas es de 9,6 años, lo que implica que los árboles de regeneración natural en SAF de valle se aprovecharán más rápidamente que los establecidos en zonas de laderas.

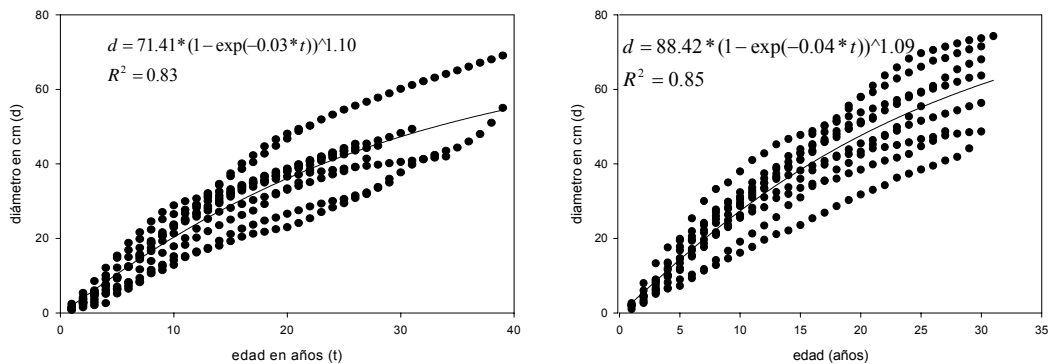


Figura 3. Crecimiento diamétrico de laurel a) laderas, b) valles en Talamanca, Costa Rica

4.6 Aprovechamiento de madera de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca

Las tasas anuales de corta de laurel (Cuadro 6) son mayores en los cacaotales; en los bananales se extrae el 38% de madera en relación a los cacaotales. En las laderas se extrae menos madera que en los valles (26% con relación al valle). El volumen comercial representó el 84% del volumen total anual extraído en los valles y el 80% en las laderas.

Los agricultores están aprovechando $0,92 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ lo que equivale a una extracción de 216 m^3 en cinco años en 47 hectáreas (16 parcelas de banano y 48 de cacao), las tasas de extracción en los SAF de cacao y banano son de $1,16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $0,67 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente, las que son superiores a las tasas de extracción reportadas por Suárez (2001) para SAF de cacao y banano siendo estas de $0,89$ y $0,11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente.

Cuadro 6. Tasas anuales de corta de madera de laurel ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) por clase diamétrica en cacaotales y bananales en zonas de laderas y valles de Talamanca, Costa Rica, en el periodo 2001-2005

Clase diamétrica (cm)	Cacao		Banano	
	Valle	Ladera	Valle	Ladera
	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$
4-10,9	0,00	0,00	0,00	0,00
11-15,9	0,00	0,00	0,02	0,00
16-20,9	0,01	0,04	0,02	0,00
21-25,9	0,00	0,01	0,00	0,00
26-30,9	0,02	0,01	0,02	0,00
31-35,9	0,00	0,00	0,00	0,00
36-40,9	0,18	0,02	0,03	0,12
41-45,9	0,07	0,07	0,05	0,00
46-50,9	0,20	0,01	0,09	0,00
51-55,9	0,33	0,00	0,05	0,25
56-60,9	0,18	0,00	0,00	0,61
61-65,9	0,34	0,00	0,09	0,00
66-70,9	0,32	0,00	0,00	0,00
71-75,9	0,14	0,00	0,00	0,00
76-80,9	0,21	0,00	0,00	0,00
81-85,9	0,00	0,00	0,00	0,00
>86	0,17	0,00	0,00	0,00
Volumen total	2,17	0,16	0,37	0,98
V comercial (\geq 45 cm de dap)	1,89	0,01	0,23	0,86

Hay mayor extracción de árboles en los cacaotales, las mayores frecuencias de extracción correspondieron a individuos con $\text{dap} \geq 35$ cm en cacaotales y bananales. La extracción de individuos jóvenes ($\text{dap} \leq 15$ cm) es alta y similar en ambos sistemas agroforestales, lo que indica que su aprovechamiento es para satisfacer necesidades de madera de pequeño porte en las viviendas como reparaciones o pequeñas infraestructuras, siendo estos sistemas una fuente alternativa de madera o bien para regulación de sombra en los cultivos principales o para apuntalar las plantas de banano en cosecha (Figura 4).

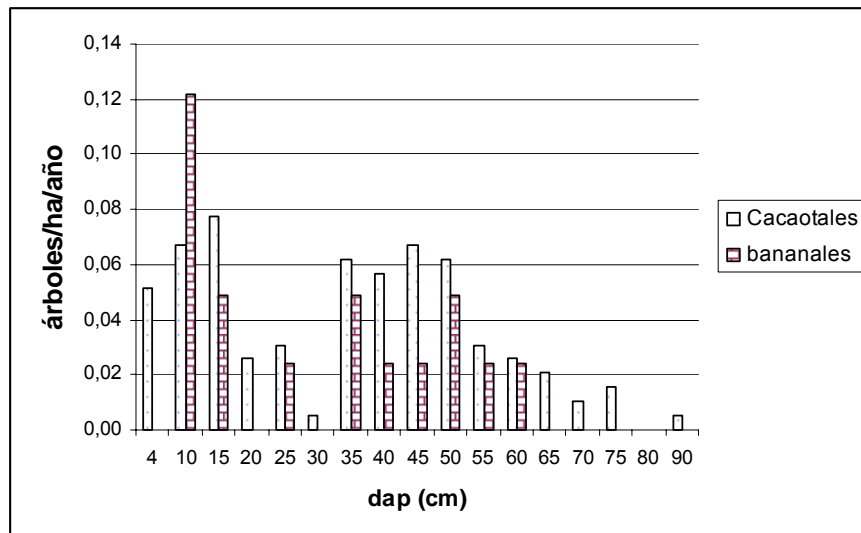


Figura 4. Diámetros de árboles de laurel aprovechados anualmente en cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica

4.7 Proyección de la densidad, rendimiento e incremento del volumen comercial de madera de laurel en los sistemas agroforestales de Talamanca

Se observa que las probabilidades de paso son muy semejantes para valle o ladera, ya sea cacao o banano (Cuadro 7). Utilizando el modelo propuesto (Anexo 6) se realizaron las proyecciones de la densidad poblacional, rendimiento e incrementos de madera. Las tasas de aprovechamiento se consideraron como las únicas fuentes de disminución de la población de laurel y fueron de 0,52 y 0,26 árboles ha^{-1} año $^{-1}$ para los cacaotales y bananales respectivamente; el reclutamiento fue de 3,26 y 1,80 árboles ha^{-1} año $^{-1}$ para bananales y cacaotales respectivamente, en general los bananales tienen los mejores resultados en estas dos variables, puesto que presenta las menores tasas de aprovechamiento (50% respecto a los cacaotales) y las mayores tasas de reclutamiento (55% mayor con respecto a los cacaotales).

Cuadro 7. Probabilidades de paso (e_{ij}) y de permanencia (r_{ii}) por categorías diamétricas para las poblaciones de laurel en cacaotales y bananales en valles y laderas de Talamanca

Clase diamétrica (cm)		Cacao				Banano			
		Valle		Ladera		Valle		Ladera	
I	j	e_{ij}	r_{ii}	e_{ij}	r_{ii}	e_{ij}	r_{ii}	e_{ij}	r_{ii}
4	10	0,54	0,37	0,39	0,52	0,49	0,50	0,42	0,57
10	15	0,55	0,41	0,40	0,57	0,54	0,40	0,39	0,55
15	20	0,53	0,44	0,38	0,60	0,54	0,45	0,38	0,61
20	25	0,50	0,47	0,35	0,63	0,51	0,48	0,35	0,64
25	30	0,47	0,50	0,32	0,65	0,47	0,50	0,32	0,66
30	35	0,44	0,54	0,29	0,70	0,44	0,55	0,29	0,70
35	40	0,39	0,55	0,24	0,70	0,38	0,55	0,24	0,69
40	45	0,35	0,58	0,21	0,72	0,35	0,59	0,21	0,74
45	50	0,30	0,60	0,17	0,73	0,31	0,62	0,17	0,76
50	55	0,25	0,60	0,13	0,72	0,27	0,64	0,14	0,78
55	60	0,22	0,65	0,10	0,77	0,22	0,66	0,10	0,78
60	65	0,19	0,68	0,06	0,80	0,18	0,67	0,06	0,78
65	70	0,13	0,61	0,03	0,71	0,17	0,82	0,04	0,95
70	75	0,11	0,74	0,02	0,86	0,13	0,86	0,01	0,99
75	80	0,07	0,72			0,09	0,90		
80	85	0,05	0,94			0,05	0,94		

e_{ij} : coeficientes de paso; r_{ii} : coeficientes de permanencia; i: clase diamétrica de permanencia; j: clase diamétrica de paso

Bajo las actuales tasas de aprovechamiento y reclutamiento anual en las poblaciones de laurel y para una proyección de cinco años la densidad se incrementará en todos los sistemas agroforestales evaluados ocurriendo los mayores incrementos en los bananales, esto puede deberse a las menores tasas de aprovechamiento que ocurren en estos sistemas y a las tasas de reclutamiento más altas (Figura 5).

En todas las poblaciones la curva se desplazará hacia la derecha haciendo moda en diámetros de 30 a 35 cm (Figura 5), lo que indica que no se producirán incrementos considerables en las clases diamétricas inferiores, esto puede provocar una distribución poblacional donde las clases diamétricas inferiores tengan muy pocos individuos para mantener una adecuada estructura de individuos jóvenes y diámetros aprovechables.

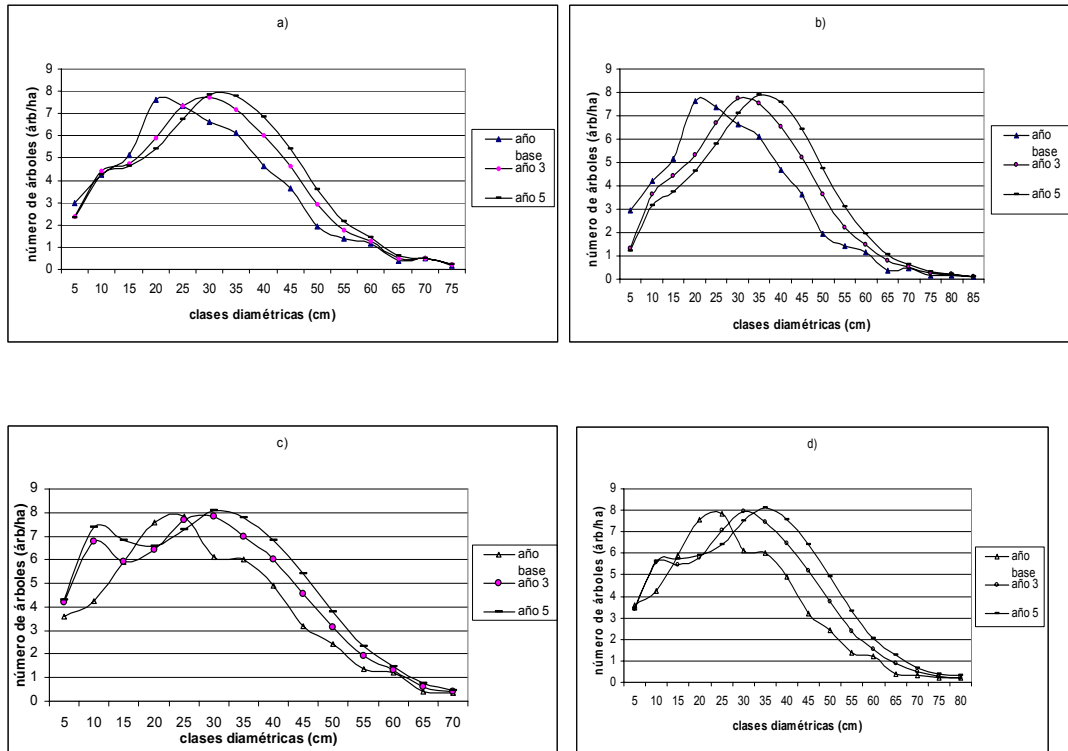


Figura 5. Proyección de la población de laurel para cinco años en a) cacao ladera, b) cacao valle, c) banano ladera y d) banano valle en Talamanca, Costa Rica

La proyección del rendimiento de madera en volumen comercial a nivel de poblaciones fue creciente en todos los sistemas agroforestales, los mayores rendimientos se producirán en los sistemas agroforestales en valle, a cinco años de proyección los SAF en laderas estarán produciendo un 30% de madera menos en relación a los SAF en valle (Cuadro 8).

Cuadro 8. Proyección de las existencias ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de madera comercial de laurel por cinco años en cacaotales y bananales en valles y laderas de Talamanca, Costa Rica.

SAF	2005 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2006 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2007 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2008 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2009 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2010 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
CL	30,40	33,80	35,09	37,96	41,02	44,31
CV	33,11	34,89	40,15	46,07	52,64	59,85
BL	28,70	31,34	34,39	37,59	41,14	44,86
BV	32,80	35,52	41,50	48,15	55,50	63,65

CV: cacao en valle; CL: cacao en ladera; BV: banano valle; BL; banano ladera
SAF: sistemas agroforestales; año: reflejan el volumen comercial ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) en el año de proyección.

El ICAVc fue creciente en todos los sistemas agroforestales a excepción del cacao en ladera que disminuyó en el tiempo, los BV fueron los que presentaron los mayores ICAVc. El incremento periódico anual del volumen comercial (IPAVc) será mayor en los sistemas

agroforestales en valle (Cuadro 9). A nivel de población en cacaotales y bananales el aprovechamiento es sostenible puesto que hay incrementos en la producción de madera.

Cuadro 9. Proyección de los incrementos volumétricos de madera comercial ($dap \geq 45$ cm) de laurel por cinco años en cacaotales y bananales en valles y laderas de Talamanca, Costa Rica.

SAF	ICAVc 2006 ($m^3 ha^{-1}$)	ICAVc 2007 ($m^3 ha^{-1}$)	ICAVc 2008 ($m^3 ha^{-1}$)	ICAVc 2009 ($m^3 ha^{-1}$)	ICAVc 2010 ($m^3 ha^{-1}$)	IPAVc ($m^3 ha^{-1}$)
CL	3,40	1,29	2,87	3,06	3,29	2,78
CV	1,78	5,26	5,92	6,58	7,21	5,38
BL	2,64	3,05	3,20	3,55	3,72	3,23
BV	3,14	5,98	6,65	7,35	8,15	6,25

CV: cacao en valle; CL: cacao en ladera; BV: banano valle; BL; banano ladera

SAF: sistemas agroforestales; ICAVc: incremento corriente anual en volumen comercial ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$); IPAVc: incremento periódico anual del volumen comercial ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$)

La densidad de laurel disminuirá en el 40 y 50% de las parcelas de banano y cacao respectivamente. Mientras que el 14 y el 17% de las parcelas de banano y cacao respectivamente tendrán altos incrementos de densidad; este resultado sugiere que el incremento de la densidad que se observa a nivel de poblaciones de SAF es producto del alto incremento de pocas parcelas en los sistemas agroforestales evaluados, mientras que en la mayoría de las parcelas la densidad está disminuyendo o tienen incrementos bajos (Figura 6).

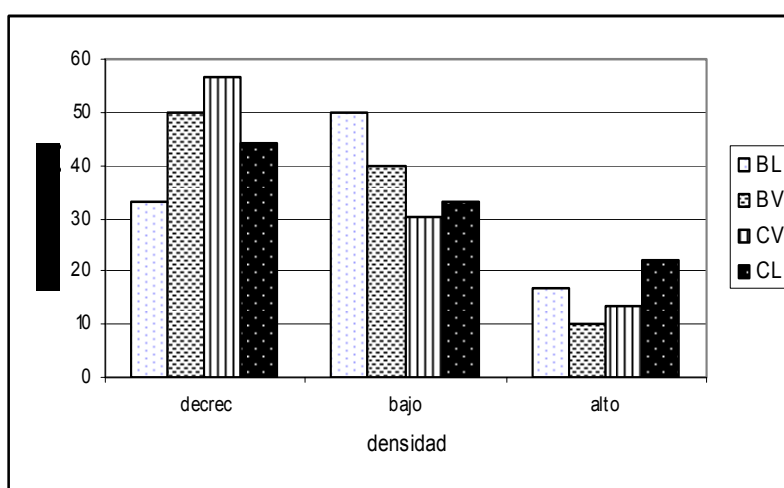


Figura 6. Comportamiento de la densidad de laurel a nivel de parcelas con una proyección a cinco años.

4.7.1 Análisis de escenarios

4.7.1.1 Sin aprovechamiento de individuos ≤ 45 cm de dap

En este escenario, considerando la sobrevivencia del 100% de los individuos con dap ≤ 45 cm (Cuadro 10) se obtiene que en todos los sistemas agroforestales habrán incrementos en el ICAVc y el IPAVc, siendo los bananales los de mayores incrementos (13% más que los cacaotales), sin embargo, los incrementos son bajos con respecto a la proyección con los datos observados.

Cuadro 10. Proyección de los incrementos volumétricos IPAVc de madera comercial de laurel por 5 años en cacaotales y bananales en valles y laderas sin aprovechamiento de dap < 45 cm en Talamanca, Costa Rica.

SAF	2006 ICAVc (m ³ ha ⁻¹)	2007 ICAVc (m ³ ha ⁻¹)	2008 ICAVc (m ³ ha ⁻¹)	2009 ICAVc (m ³ ha ⁻¹)	2010 ICAVc (m ³ ha ⁻¹)	IPAVc (m ³ ha ⁻¹)
CL	2,17	2,63	2,95	3,87	2,84	2,99
CV	4,53	5,35	6,18	6,82	7,59	6,09
BL	2,65	3,13	3,27	3,67	3,88	3,32
BV	5,14	6,09	6,62	7,51	8,53	6,82

CV: cacao en valle; CL: cacao en ladera; BV: banano valle; BL; banano ladera

SAF: sistemas agroforestales; ICAVc: incremento corriente anual en volumen comercial; IPAVc: incremento periódico anual del volumen comercial

4.7.1.2 Incrementos del 50% de reclutamiento de individuos

En este escenario, se obtiene un incremento en el volumen comercial de madera en todos los sistemas agroforestales evaluados siendo los bananales los que mayores incrementos presentan, no obstante los sistemas en laderas no presentan incrementos cuando se compararan con las proyecciones de los datos observados (Cuadro 11).

Cuadro 11. Proyección de los incrementos volumétricos IPAvC de madera comercial de laurel por cinco años en cacaotales y bananales en zonas de valles y laderas con incrementos del 50% de las tasas de reclutamiento en Talamanca, Costa Rica.

SAF	2006 ICAVc	2007 ICAVc	2008 ICAVc	2009 ICAVc	2010 ICAVc	IPAvC
	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)
CL	3,30	1,20	2,70	3,00	2,99	2,67
CV	4,53	5,35	6,18	6,82	6,09	6,09
BL	2,60	3,06	3,20	3,55	3,32	3,23
BV	5,10	5,98	6,66	7,35	6,82	6,65

CV: cacao en valle; CL: cacao en ladera; BV: banano valle; BL: banano ladera

SAF: sistemas agroforestales; ICAVc: incremento corriente anual en volumen comercial; IPAvC: incremento periódico anual del volumen comercial

4.8 Manejo tradicional de la especie de laurel en sistemas agroforestales de Talamanca

Los productores de cacao y banano conocen y aprovechan las interacciones entre el componente arbóreo maderable, el cultivo, el suelo y la biodiversidad. Las interacciones más reconocidas entre el componente maderable y los cultivos son la sombra y el ciclaje de nutrientes a través del aporte de biomasa de los árboles al suelo. El efecto de una sombra adecuada la relacionan con una buena productividad de la parcela de producción, mientras que un exceso de sombra la relacionan siempre con la aparición de enfermedades en el cacao como la monilia (*Moniliophthora roreri*) y una excesiva humedad del suelo. Una sombra insuficiente la relacionan con el desecamiento del suelo lo que provoca amarillamiento de la planta y un crecimiento rápido de las malezas. Los productores reconocen que la sombra en el cacao debe ser mayor que en los bananales, estos elementos son considerados al momento de decidir el número de árboles que mantendrán en sus parcelas.

El aporte de materia orgánica de los árboles maderables al suelo es conocido por los agricultores y lo relacionan con una disminución de la erosión al mejorar la retención del suelo con las raíces. Los productores conocen otros servicios que prestan los árboles maderables en la provisión de madera, leña y los ingresos por venta de madera. Por otro lado reconocen la competencia entre los árboles y el cultivo, además de daños físicos al cultivo por caída de ramas o al momento del aprovechamiento de los árboles.

Los agricultores prefieren especies arbóreas que posean hojas finas que dejen pasar cantidades de luz adecuada, copa estrecha y rápido crecimiento. Estas características las

identifican plenamente en la especie de laurel, así como una adecuada autopoda, fácil y rápida regeneración, manejo relativamente sencillo, poco afectado por plagas y enfermedades. Los agricultores reconocen al matapalo como la principal plaga. Además aprecian la madera de laurel por su calidad, duración y por que tiene demanda en el mercado.

Los indígenas de Talamanca conocen muy bien la fenología reproductiva del laurel, sabiendo que presenta una producción de semillas durante la época seca. Por esta razón, limpian de malezas los alrededores del árbol para que las semillas alcancen el suelo y logren germinar. Conservan árboles semilleros dentro de las parcelas de cacao o banano.

La densidad de árboles es manejada mediante chapias con una frecuencia de 1 a 6 veces al año en los cacaotales, mientras que en los bananales es de hasta 12 veces. Son raleados en la chapia los individuos con un $dap \leq 5$ cm, y dejan aquellos bien formados, sanos y que sobresalgan del resto. Es una práctica común trasplantar plántulas hacia zonas de la plantación que requieren sombra, arbolitos de diámetros de hasta 12 cm aproximadamente son raleados para manejo de sombra o para necesidades de madera de poco porte. El raleo de árboles mayores es poco común aunque estén enfermos o mal formados, solamente cuando van a ser empleados en construcción.

El número de individuos que manejan en los SAF de cacao o banano depende de las necesidades de sombra del cultivo, la mayoría de los agricultores de cacao plantea que es suficiente el número actual de árboles en la parcela, mientras, que la mayoría de los agricultores de banano consideran que necesitan incrementar la densidad de árboles. Esto puede estar relacionado a los mayores reclutamientos que se están dando en los bananales que en los cacaotales.

El control de plagas y enfermedades es limitado a la eliminación de las lianas que crecen en el fuste así como controlar los matapalos hasta una altura que se lo permita. Esta actividad la hacen en su mayoría en la fase de luna nueva, debido a que consideran que el control en esta fase es más efectivo. Los agricultores conocen que el laurel crece más rápidamente en zonas planas y suelos con abundante materia orgánica, mientras que en las zonas de ladera el crecimiento es más lento por que los suelos son menos fértiles. Igualmente, los productores destacan que en zonas anegadas el laurel muere.

Los elementos que consideran de importancia para aprovechar árboles es el diámetro ($dap \geq 45$ cm, aunque una alta frecuencia de agricultores establecen diámetros mayores de hasta 50 y 60 cm), la altura, sanidad y la posición del árbol en la plantación. Prefieren aprovechar árboles que estén en los linderos de la parcela, podan las ramas de las plantas de cacao que van a ser afectadas, realizan el recepo de plantas de cacao quebradas o muy afectadas. Tratan que el árbol aprovechado caiga entre dos líneas del cultivo, antes de realizar el aprovechamiento de un árbol valoran cuidadosamente el daño potencial en términos económicos y si este es un efecto muy grande prefieren no aprovechar el árbol.

La principal razón para aprovechar árboles de laurel en sitios cerca de poblados es la generación de ingresos por la venta de la madera, los que viven más alejados la mayor razón es para construir vivienda u otra infraestructura debido a que les resulta demasiado costoso sacar la madera y los que compran madera no entran a estas zonas por la misma limitante.

Los agricultores reconocen que la venta de productos (cacao o banano) les genera mayores y más regulares ingresos (distribuidos durante todo el año) que la venta de madera. Los productores piensan en la renovación de plantaciones viejas y la introducción de valor agregado al cacao (tratamiento poscosecha) como algunas de las opciones para mejorar los ingresos. Sin embargo, no cuentan con recursos financieros ni los conocimientos adecuados para desarrollar dichas estrategias.

5 DISCUSIÓN

5.1 Producción e incrementos de madera de laurel y cedro amargo en los sistemas agroforestales de Talamanca

La densidad del laurel es inferior a la mayoría de los valores reportados en la literatura (Cuadro 2), es superior a las densidades reportadas por Suárez (2001) en SAF de Talamanca quien reportó 44,9 y 35,1 árboles ha^{-1} para cacaotales y bananales respectivamente y por Pastrana *et al* (1998) en fincas cacaoteras y bananeras de indígenas Ngöbe de Panamá el que encontró de 10,0 a 18,3 árboles ha^{-1} . A la vez Escobar (1979), Rosero y Gewald (1979), Beer *et al* (1981), Alavez *et al* (1984), Somarriba y Beer (1987) y Camargo (1999) reportan densidades superiores en diferentes SAF en un rango de 78 a 305 árboles ha^{-1} . Las densidades de cedro amargo son superiores a las obtenidas por Suárez (2001) en SAF de Talamanca quien reportó 1,6 y 3,0 árboles ha^{-1} en cacaotales y bananales respectivamente, aunque continúan siendo muy bajas.

Las bajas densidades del laurel y cedro amargo (Cuadro 1) puede deberse a que los indígenas manejan un dosel de sombra muy diversificado por lo que el sistema alberga una densidad mayor de árboles, arbustos, palmas, entre otros para satisfacer las necesidades de sombra de los cultivos. Considerando que los requerimientos de sombra son mayores en los cacaotales (Norgrove 1998) que en los bananales que requieren más luz, es posible el manejo de mayores densidades de laurel y cedro amargo en los cacaotales, con una sombra del 50% y copas de 11 m de diámetro las poblaciones finales de laurel deberán ser de 100 árboles ha^{-1} (Somarriba y Calvo 1998).

La densidad está relacionada con el manejo de los cacaotales y bananales como son las chapias frecuentes (de 1-6 veces en cacaotales y hasta 12 veces en bananales por año) lo que provoca alta mortalidad de brinzales; al raleo de los latizales jóvenes, para regular sombra necesaria al cacao o banano y al aprovechamiento considerable de individuos con diámetros inferiores al mínimo de corta (figura 4) para satisfacer necesidades de madera de pequeño porte en las viviendas, y a un incremento en la tasa de aprovechamiento de árboles aserrables (cuadro 6).

El área basal de laurel (Cuadro 1) es superior a la reportada por Suárez (2001) en SAF de Talamanca (3,5 y 2,7 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ para cacaotales y bananales respectivamente); y se encuentra

dentro del rango ($2,0-7,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) reportado por Beer *et al* (1981) y Alavez *et al* (1984) en pasturas y para mayores densidades, mientras que Peck (1977), Escobar (1979) y Rosero y Gewald (1979) reportan valores superiores en rangos de $14,6$ a $56,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en diversos SAF de café, pastos y plátano.

El área basal del cedro amargo es muy baja siendo inferior a estudios reportados por Ford (1979) de $15,5- 12,8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en SAF de café en Tabarcia, solamente es superior a los datos obtenidos por Suárez (2001) para cacaotales y bananales ($0,2$ y $0,1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente) en Talamanca.

El volumen total del laurel (cuadro 1) es superior a los resultados obtenidos por Suárez (2001) en Talamanca y por Pastrana (1998) en Changuinola Panamá en SAF de cacao y banano ($15,6-15,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y se encuentra dentro de los rangos obtenidos en SAF de pasturas por Beer *et al* (1981) en Turrialba, Costa Rica ($42-60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y Rosero y Gewald (1979) en la zona de Cahuita ($38,9-150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y Escobar (1979) en Antioquia, Colombia, bajo diferentes densidades de regeneración natural.

Los agricultores de Talamanca manejan densidades de árboles en función de los requerimientos de sombra del cultivo, a la vez que aprovechan árboles para vender y satisfacer sus necesidades de madera, lo cual influye sobre las poblaciones de laurel. Los incrementos de densidad (Cuadro 2) en el periodo analizado se debe a que las tasas de incorporación de nuevos individuos ($3,26$ y $1,80 \text{ árboles ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para bananales y cacaotales, respectivamente) son superiores a la tasa de aprovechamiento ($0,52$ y $0,26 \text{ árboles ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para los cacaotales y bananales, respectivamente) que realizan los agricultores en sus sistemas de C y B (Cuadro 6).

Los incrementos en las tasas de aprovechamiento de madera de laurel (Cuadro 6) en el periodo 2001-2005 puede deberse a una mayor demanda de madera en la zona para comercio local en pequeñas industrias de procesamiento, para la construcción de viviendas a través de proyectos (Steiner 2006; comunicación personal) o para mejoramiento de las mismas relacionadas a daños por fenómenos naturales como las inundaciones del año 2005 en la zona de Talamanca.

5.2 Sanidad y calidad de la madera de laurel

La calidad de la madera de laurel y cedro amargo fue buena en los cacaotales y bananales de Talamanca (Cuadro 4). La mayor proporción fueron los fustes rectos y poco sinuosos ((82% en cacaotales y 81% en los bananales), esto puede deberse a que el laurel es una especie de lugares abiertos con exposición de luz, por lo que el laurel en los bananales puede crecer en lugares más abiertos que en los cacaotales, el manejo que realiza el agricultor como las chapias incluye también la limpieza del laurel y control de plagas como el matapalo por lo que el laurel crece adecuadamente.

La presencia de fustes sinuosos y muy sinuosos es mayor en los cacaotales (36% en cacaotales y 35% en bananales) debido posiblemente a factores de competencia al momento en que el laurel alcanza y sobresale al dosel inferior que forma el cacao lo cual se expresa en la sinuosidad de los fustes, en los bananales el dosel que forman las plantas de banano es más abierto por lo que el laurel tiene menos competencia por luz para sobresalir el dosel.

La proporción de fustes rectos en cedro es baja (57% y 56% en cacaotales y bananales respectivamente) y se observa que la presencia de árboles sinuosos y muy sinuosos en cacaotales es del 31%, mientras que en los bananales la frecuencia es de 26%, este resultado puede estar relacionado a la incidencia del barrenador del tallo en brinzales y fustales jóvenes.

La sanidad de la madera de laurel (Cuadro 5) fue buena en los cacaotales y bananales 78 y 73% de árboles sanos respectivamente, mientras que la infestación por matapalos fue mayor en los cacaotales (19%) que en los bananales, esto puede estar asociado a la edad de los árboles y en Talamanca los cacaotales tienen una edad superior a 18 años (Suárez 2001) mientras que los bananales son más jóvenes, el cierre del dosel de cacao dificulta el control de esta plaga por la poca visibilidad que se tiene del fuste del árbol.

5.3 Producción e incrementos de biomasa y carbono de laurel y cedro amargo en los sistemas agroforestales de Talamanca

La biomasa arriba del suelo es uno de los principales reservorios de carbono en los SAF, el laurel tiene un rol importante en el almacenamiento de carbono en Talamanca, estudios de Segura *et al* (2005) señalan que en Talamanca los SAF almacenan 16,0; 50,3; 24,7 y 33,9 t C ha⁻¹ en BL; CL; BV y CV respectivamente, en todo el componente arbóreo (fustales) los

resultados de este estudio (18,1; 17,8; 20,5; 24,6 t C ha⁻¹ para BL, CL, BV y CV respectivamente) (Cuadro 1), indican que las especies de laurel y cedro en estos sistemas son responsables del almacenamiento de una elevada proporción del carbono contenido en la biomasa aérea.

Estudios en SAF de café y de cacao indican que estos sistemas son muy variables en el almacenamiento de carbono y están influenciados por las especies arbóreas, las densidades, la edad de los árboles, la calidad del sitio, el manejo del sistema y las condiciones climáticas (Segura 1997; Cubero y Rojas 1999) aprovechando estas características, el laurel y cedro amargo son especies importantes en Talamanca, considerando la buena calidad de la madera (Cuadros 4 y 5), la buena sombra que proporcionan al cacao, el crecimiento rápido (Figura 3), su fácil y rápida regeneración natural, así como la buena aceptación por parte del agricultor indígena, para potenciar estos sistemas como importantes sumideros de carbono.

La cantidad de carbono almacenada en el laurel y cedro amargo en los sistemas agroforestales de Talamanca es similar a diversos estudios. Kursten y Burschel (1993) reportan de 3 - 25 t C ha⁻¹ para árboles de sombra en SAF a densidades mayores; Alvarado *et al* (1999) estimaron que el aporte de los árboles de sombra en los cafetales de Guatemala es de 15,82 t C ha⁻¹; Alpizar *et al* (1985) reportan valores de carbono en el componente arbóreo de 10,1 t ha⁻¹ para poró y 14,1 t ha⁻¹ para laurel en sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica. Parece ser que las bajas densidades de laurel en los SAF de Talamanca determinan estos valores de carbono.

Las tasas de fijación de carbono en los sistemas agroforestales de Talamanca 1,4 y 2,0 t C ha⁻¹ año⁻¹ en cacaotales y bananales respectivamente (Cuadro 2) son superiores a las reportadas por Segura *et al* (2005) en laurel de regeneración natural en Talamanca las que oscilaron de 0,6 a 0,8 t C ha⁻¹ año⁻¹. Koskela *et al* (2000) en cacaotales bajo sombra de laurel y de poró en Turrialba, Costa Rica, encontraron una tasa de fijación de 4,28 t C ha año⁻¹ para el sistema cacao laurel y 3,08 t C ha⁻¹ año⁻¹ en el sistema cacao-poró las cuales son superiores a las de este estudio.

En sistemas silvopastoriles, Andrade (1999) encontró tasas de fijación de carbono de 1,7 y 1,8 t C ha⁻¹ año⁻¹ para *Acacia mangium* y *Eucaliptos deglupta* respectivamente con una densidad de 370 árboles ha⁻¹, a la vez (Ávila 2000) encontró tasas de fijación para eucalipto de 1,8 t C ha⁻¹ año⁻¹ y para *Acacia mangium* fue de 2,2 t C ha⁻¹ año⁻¹ con densidades de 377

árboles ha^{-1} a la edad de 3 años. Aunque la densidad de plantación de los árboles en los estudios presentados es alta, la poca edad de los árboles puede ser el factor que incide en que se obtenga tasas de fijación de carbono similares a las de los sistemas agroforestales de cacao y banano de Talamanca.

5.4 Liberación de carbono en el proceso de aprovechamiento de madera en las comunidades de Talamanca

Los desperdicios de madera son elevados (Cuadro 3), estos son aprovechados como leña por la familia y otras veces para infraestructura menor, pero en su mayor parte los desperdicios quedan en el lugar del aprovechamiento del árbol (resultados de entrevistas). La cuantificación de carbono liberado a la atmósfera permitirá promover el aprovechamiento más eficiente de la biomasa (Bámaca 2002; Pinard y Putz 1996).

Bajo el modelo de aprovechamiento tradicional se producen grandes volúmenes de desperdicios (79%) por que las técnicas de corta y aserrío son deficientes ya que se dejan tocones muy altos (más si estos tienen gambas grandes), no se tiene cuidado con evitar las rajaduras del árbol durante la caída y se trocea el árbol muy lejos de la copa, en el caso del laurel este emite gambas o aletones que afectan un mejor aprovechamiento de la madera, es posible considerar la dificultad que implica aprovechar árboles en laderas con motosierras para que este tenga una caída adecuada y hacer más eficiente su aprovechamiento. Los precios que se pagan al agricultor para aprovechar un árbol no incentiva a hacer un mejor aprovechamiento, un árbol con diámetro aprovechable tiene un valor de \$30-50 y el precio de aserrar una pulgada maderera tica (pmt) es de \$0.11 en la zona de Talamanca (Steiner 2005).

Los resultados de este estudio (79% de desperdicios en árboles) son similares a los reportados en otros estudios, por ejemplo: Oy (1986) encontró desperdicios de 75% de la madera de los árboles para un sistema de aprovechamiento tradicional en el trópico Brasileño; (Gerwin *et al* 1996) en Paragominas, Brasil, obtuvieron que de un árbol más del 65% se transforma en desperdicios, el resto constituyen madera aserrada aprovechada (35%). Bámaca (2002) encontró en la reserva el Petén, Guatemala, para un sistema de aprovechamiento tradicional que el desperdicio promedio con motosierra es de 60%, mientras que Contreras (1993) estimó los residuos de de un árbol en aserrío con motosierra en un 62%.

Para mejorar la eficiencia en el aprovechamiento se requiere que al turno de corta lleguen solamente árboles bien formados y sanos lo que implica actividades de manejo como raleos en los momentos óptimos para eliminar competencia y árboles mal formados o enfermos, control de matapalos, manejo adecuado de densidades considerando las necesidades de sombra de los cacaotales y bananales.

La posibilidad de aprovechar piezas de madera de menor tamaño (residuos del aprovechamiento en la parcela) debería ser explorada por el sector forestal con las comunidades indígenas, la ebanistería de Suretka comercializa una buena parte de la madera proveniente de los sistemas agroforestales de Talamanca (Steiner 2005) podría contribuir a un mejor aprovechamiento de los residuos a través de elaborar artículos pequeños o como energía para diferentes usos como la quema directa (leña) y carbón (Souza 1997). En las fincas se puede impulsar la construcción de fermentadores de cacao por las características organolépticas que tiene el laurel (observación personal) y darle valor agregado al producto.

5.5 Crecimiento diamétrico del laurel en sistemas agroforestales de Talamanca

El laurel crece rápido en los valles y laderas de Talamanca (Figura 3). La curva de crecimiento en dap construida midiendo anillos de crecimiento permite determinar que este crecimiento es similar a los resultados de Pérez (1954) construida para la Línea Vieja en la Zona Atlántica de Costa Rica y la obtenida por (Somarriba y Beer 1987) en Turrialba y provincia el Limón, Costa Rica.

Los datos reportados por Valdivieso (1997) son superiores a los de este estudio aunque los árboles evaluados correspondieron a individuos con una edad de hasta 9 años, esta etapa se caracteriza por una fuerte dinámica de crecimiento (Somarriba y Beer 1986). Estudios realizados en pastizales (Somarriba y Beer 1987, Rosero y Gewald 1979) arrojan un crecimiento inferior a los del presente estudio; el poco desarrollo que alcanzan los árboles de laurel parece deberse a la compactación del suelo por el pastoreo (Pérez 1954, Somarriba y Beer 1986). El crecimiento diamétrico medido en este estudio es menor que el registrado en plantaciones puras y agroforestales de laurel en baja Talamanca y Changuinola, Panamá (Somarriba *et al* 2001) a una edad de cinco años de los árboles.

El crecimiento en dap en los SAF de cacao y banano en laderas y valles se ve favorecido por: las bajas densidades del laurel, el manejo de las plantaciones de cacao y banano (control de malezas, raleos, mejoramiento del drenaje, regulación de sombra, entre otros) que también beneficia al árbol de laurel (Beer *et al* 2000) y a las óptimas condiciones ecológicas de la zona para el desarrollo del laurel (Somarriba *et al* 2001).

Zech (1994) y Reyes (1997) encontraron una correlación lineal baja y positiva entre el incremento diamétrico y la pendiente del terreno, sugiriendo que el laurel se desarrolla mejor en sitios ubicados en las partes bajas de las laderas con pendientes cóncavas o en las partes altas con pendientes menores del 15%. En las partes bajas se acumulan sedimentos ricos en nutrientes (Coile 1952). Caycedo y Van Der (1988) encontraron una alta sobrevivencia de laurel (81-96%) en llanuras aluviales, en terrazas antiguas y colinas bajas.

El mayor crecimiento que alcanza el laurel en los valles de Talamanca implica que los turnos de corta serán más cortos que en las laderas, el agricultor debe considerar esto para un manejo adecuado de las actividades de manejo.

5.6 Proyección del rendimiento e incremento de madera y aplicación del modelo

Los incrementos de madera (Cuadro 8 y 9) tanto en cacaotales como en bananales son inferiores (2,8; 5,4; 3,2 y 6,25 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para CL, CV, BL y BV respectivamente) a los reportados en otros estudios realizados con laurel. Rosero y Gewald (1979) reportan incrementos en volumen de 14,8 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para la zona de Hone Creeck; Somarriba (1990) reporta incrementos en volumen de 9 – 24 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para la zona de Turrialba. Sin embargo los resultados obtenidos en este estudio son superiores a la proyección realizada por Suárez (2001) para estas mismas parcelas. Las bajas densidades poblacionales de laurel que manejan los agricultores de Talamanca determinan los bajos incrementos de volumen de madera, biomasa o carbono. Toda actividad de manejo que resulte en un incremento de la densidad permitirá mayores incrementos de volumen de madera.

La distribución de la población de laurel (Figura 5) con datos observados muestra que la clase diamétrica de 20-25 cm (Anexo 5) tiene la mayor densidad de individuos y luego descende hacia los diámetros superiores, siendo esto una característica de las poblaciones de regeneración natural.

La poca presencia de individuos en las clases diamétricas inferiores a 20 cm, puede deberse a factores ecológicos como de manejo, los factores ecológicos estarían asociados a: la biomasa en descomposición sobre el suelo la cual incide en la viabilidad de la semilla; la sombra del dosel de árboles y del cacao y el periodo de lluvias puesto que el laurel germina en época seca y estas arrastraran muchas semillas. Los factores de manejo están asociados a: las frecuencia de las chapias que realiza el agricultor en la cual son eliminadas muchas plantitas; al raleo para regular sombra para el cacao o banano y que implica eliminar árboles pequeños, a partir de $dap > 12$ cm este raleo disminuye. En la proyección de la población de laurel para cinco años se observa la misma tendencia (Figura 5) e incluso la curva hace moda en 25 cm.

En el análisis de los dos escenarios no se observan incrementos importantes en la producción de madera con respecto a los datos observados. Es probable que el periodo de análisis de cinco años es muy poco tiempo para que se exprese en el volumen de madera de laurel el efecto de mayores reclutamientos o el no aprovechamiento de individuos menores de 45 cm de dap. Con estas proyecciones, el sistema es sostenible por que hay incrementos de madera.

El modelo desarrollado puede considerarse como un reajuste al modelo de Suárez (2001), el mismo consideró el reclutamiento como una nueva variable, calculó la sobrevivencia a partir de dos momentos de evaluación (2001 y 2005) e incorporó datos de individuos desde las primeras clases diamétricas, por lo que el modelo gana en eficiencia.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los sistemas agroforestales de cacao y banano orgánico de indígenas de Talamanca son fuentes importantes de madera y almacenamiento de carbono. Los SAF de cacao en valle almacenan mayor volumen de madera que los cacaotales en ladera, bananales en valle y en laderas.
- Los bananales en valle y en laderas son los sistemas agroforestales que mayores incrementos de volumen de madera y carbono presentaron entre 2001-2005.
- En el aprovechamiento tradicional que realizan los indígenas de Talamanca se aprovecha apenas el 21% del carbono contenido en los árboles de laurel.
- En el periodo proyectado (2006-2010) con las matrices de transición, con las actuales tasas de extracción y reclutamiento, las poblaciones de laurel en los SAF aumentarán en (volumen y densidad). A nivel de parcelas individuales un 50% no tendrán incrementos y solamente un 15% presentaran incrementos altos. En los escenarios evaluados (disminución de la mortalidad e incrementos de las tasas de reclutamiento) los incrementos serán crecientes en todos los SAF.
- Existe un amplio conocimiento del manejo de la regeneración natural de laurel por parte de los indígenas de Talamanca, quienes aplican adecuadas prácticas que favorecen la regeneración natural, manejan y controlan plagas, conocen de turnos de corta y de distribución de la sombra.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda incidir en los agricultores indígenas para que incrementen las poblaciones de laurel en aquellas parcelas que presentan disminución de sus poblaciones a través de estimular la regeneración natural, un mejor manejo de las plantaciones de cacao y banano, así como un mejor aprovechamiento de los árboles que extraen.
- Se recomienda explorar la inserción de los sistemas agroforestales de indígenas de Talamanca en el mercado del carbono como una forma de beneficio directo a los finqueros, la conservación de estos sistemas y estimular un mejor manejo de las plantaciones.

- Se recomienda que en futuros trabajos de medición en las parcelas de muestreo establecidas desde el 2001 y medidas en este estudio sean consideradas todas las especies que constituyen el dosel de sombra.
- Se recomienda la recalibración de este modelo de proyección de los rendimientos e incrementos con datos de inventarios consecutivos para posteriormente aplicarlo como una herramienta de apoyo en la planificación y diseño de sistemas agroforestales.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alavez, S; Beer, J; Ugalde, L. 1984. Establecimiento de parcelas permanentes de investigación. *In:* J Beer y E Somarriba (eds) Investigación de técnicas agroforestales tradicionales: Actas del curso efectuado en Tabasco, Campeche y Quintana Roo, México noviembre 30 a diciembre 10, 1981: ejemplo de organización de cursos cortos. CATIE Turrialba, Costa Rica Serie Técnica. Boletín Técnico no. 12. p 66-74.
- Albertin, A; Nair, PK. 2004. Farmers` Perspectives on the role of shade Trees in Coffee Productions Systems: An assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human Ecology* 32(4): 443-463.
- Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuvelodp, J. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. *Turrialba* 35 (3): 233-242.
- Alvarado, J; López, LE; Medina, M. 1999. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. *Boletín PROMECAFE*. (IICA), 81:7-14.
- Andrade, HJ; Ibrahim, M. 2003. ¿Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10(39): 109-116.
- Andrade, HJ. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis. Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 70 p.
- Araujo, TM; Higuchi, N; De Carvalho Junior, JA. 1999. Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the sate of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 117: 43-52.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de Carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 32-35.
- Ávila, VG. 2000. Fijación y almacenamiento de Carbono en sistemas de café bajo sombra, a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 99 p.

- Bámaca, EF. 2002. Dinámica del carbono en los residuos forestales producidos durante el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera “Maya”, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 75 p.
- Barrance, AJ; Flores, L; Padilla, E; Gordon, JE; Schreckenberg, K. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras I: campesino tree husbandry practices. *Agroforestry Systems* 59: 97-106.
- Beer, J; Ibrahim, M; Schlönvoigt, A. 2000. Timber production in tropical agroforestry systems of Central America. In: Proceedings XXI IUFRO World Congress Vol. 1, 7-12 August 2000, Kuala Lumpur, Malaysia. p. 777-786.
- Beer, J; Clarkin, K; De las Salas, G; Glover, N. 1981. A case study of traditional agroforestry practices in a wet tropical zone: the La Suiza project, In: Chavarría M (ed) Simposio Internacional sobre las Ciencias Forestales y su Contribución al Desarrollo de la América Trópic, pp 191-209. San José Costa Rica, CONICIT/Asociación Interciencia/SCITEC
- Beer, J. 1980. *Cordia alliodora* con *Theobroma cacao*: una combinación tradicional agroforestal en el trópico húmedo. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 5p.
- Berkes, F; Colding, J; Folke, C. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological applications* 10 (5): 1251-1262.
- Boshier DH; Lamb AT. 1997. *Cordia alliodora* genética y mejoramiento de árboles. Oxford, UK, Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No 36. 100 p.
- Boshier DH. 1992. A study of the reproductive biology of *Cordia alliodora* (Ruiz and Pavón) Oken. PhD Thesis, University of Oxford. 150 p.
- Boshier, DH; Mesén, F. 1989. Breeding population of *Cordia alliodora* in Costa Rica. In Conference on Breeding Tropical Trees: Population Structure and Genetic Improvement Strategies in Clonal and Seedling Forestry (1988, Pattaya, Tailandia). Proceedings IUFRO Conference. Arlington, USA. Winrock International. p. 406-407.
- Borge, C; Villalobos, V. 1995. Talamanca en la encrucijada. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 122 p.
- Brown, S; Iverson, LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review* 4(3): 366-383.

- Brown, S; Gillespie, AJ; Lugo, AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35 (4): 881-902.
- Brown, S; Lugo, AE. 1984. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14: 161-187.
- Calvo, G; Meléndez L. 1999. Pseudoestacas de Laurel para el enriquecimiento de cacaotales. *Agroforestería en las Américas* 6(22):25-27.
- CATIE. 1994. Laurel (*Cordia alliodora* R y P) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 239).
- Camargo, JC; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):46-49
- Camargo, G J. 1999. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. Tesis Mg. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 127 p.
- Castillo, AU. 1997. Factores asociados con el crecimiento de dos bosques húmedos tropicales intervenidos silviculturalmente en Río San Juan Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 126 p.
- Caycedo, AH; Poel, P. Vander. 1988. Comportamiento de 11 especies forestales en diferentes unidades fisiográficas de la región Bojaya-Choco-Colombia. CONIF. Serie técnica no.27. 35p.
- Coile, T. 1952. Soil and the growth of forest. *Advances in Agronomy*. (New York). 4:323-397.
- Colán, VC. 1995. Ecología de frutos y semillas de seis especies maderables de un bosque húmedo tropical secundario de Costa Rica y posibilidades de conversión del rodal en fuente semillera. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Contreras, J; Morales, J. 1995. Evaluación de los efectos del aprovechamiento forestal sobre el bosque residual en Bethel, La Libertad, Petén. Petén, Guatemala CI/Prometen 34 p.

- Cordero, J; Mesén, F; Montero, M; Stewart, J; Boshier, D; Chamberlain, J; Pennington, T; Hands, M; Hughes, C; Defletsen, G. 2003. Descripciones de especies de árboles nativos de America Central. En Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Eds. Cordero, J; Boshier DH. OFI-CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 473-476.
- Cuellar, N; Rosa, H; Gonzáles, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. PRISMA. No 34: 1-16.
- Cubero, JM; Rojas, S. 1999. Fijación de Carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) teca (*Tectona grandis*) y pochote (*Bombacopsis quinata*) en los cantones de Hojanca y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Licenciatura. Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Facultad de Ciencias Ambientales. 94p.
- Dixon, K. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. Agroforesteria en las Américas 2(7):22-26.
- Duguma, B; Gockowski, J; Bakala, J. 2001. Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. Agroforestry Systems 51: 177-188.
- Duguma, B; Gockowski, J; Bakala, J. 1999. Desafíos biofísicos y oportunidades para el cultivo sostenible de cacao (*Theobroma cacao* Linn.) en sistemas agroforestales de África Occidental y Central. Agroforestería en las Americas 6 (22): 12-15
- Escobar, MM. 1979. El crecimiento y el rendimiento del guácimo nogal *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Sham, asociado con el café en el Suroeste de Antioquia. Tesis Ing. For. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 158 pp.
- Farrington, J; Martin, A. 1988. Farming participation in agricultural research: A review of concepts and practices. ODI, Agricultural Administration Unit. Occasional. Paper 9.
- Ford, L. 1979. An estimate of the yield of *Cedrela odorata* L. (Syn. *Cedrela mexicana* Roem.). UNU /CATIE WORKSHOP. Agro-forestry systems in tropical Latin America, Turrialba, Costa Rica. 11 p.
- Gerwin, JJ; Jhons, JS; Vidal, E. 1996. Reducción de desechos en la extracción y la elaboración de la madera: la conservación del bosque en la amazonía oriental. Unasyva 47(187):17-25.

- González, AJ. 1992. El cedro. (*Cedrela odorata* L. PANKIA). Boletín informativo JBLL El salvador 3:3-4.
- Guevara, MG. 1988. Experiencias Colombianas con cedro (*Cedrela odorata* L.). Convenio CONIF-Holanda. Serie documentación No 12. 85 p.
- Guiracocha, FG. 2000. Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 145 p.
- Grijpma, P. 1976. Ecología de las meliáceas latinoamericanas. In Whitmore, JL. (ed.) Studies on the Shootborer (*Hypsipyla grandela*) (Zeller). (Lep. Pyralidae). Vol. III. Turrialba, Costa Rica. IICA. Misc. Pub. No 101.
- Graves, A; Mac Carter, PS. 1990. *Cordia alliodora* a promising tree for topical agroforestry. Oxford, UK, Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No 22. 37 p.
- Isaac, ME; Gordon, AM; Thesvathasan, N; Oppong, SK; Quashie-Sam, J. 2005. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in West African multistrata agroforestry Systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems* 65:23-31
- IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Intergovernmental. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. In IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. Chapter 4: Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Panel on Climate Change. Eds. Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner.
- Johnson, P; Morales, R. 1972. A review of *Cordia alliodora* [(Ruiz y Pavón) Oken]. Turrialba 22:210-220.
- John, H; Tschinkel, H. 1971. Parcelas forestales permanentes: su establecimiento, medición y análisis. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. FAO. 190 p.
- Kapp, GB. 1989. Perfil ambiental de la zona de baja Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ-DGF. Informe Técnico No.155. 97 p.
- Karremans, J. 1994. Sociología para el desarrollo: métodos de investigación y técnicas de la entrevista. (Serie técnica. Informe Técnico/CATIE; No 228). 58 p.

- Koskela, J; Nygreen, P; Berninger, F; Luukkanen, O. 2000. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. Tropical Forest Reports 22. University of Helsinki, Department of forest ecology. Helsinki. 103 p.
- Kotto-Same, J; Moukam, R; Njomgan R; Tiki-Manga, T; Tonie, J; Diaw, C; Gockowski, J; Hauser, S; Nwaga, D; Palm, IC; Woome, P; Gillison, A; Bignel, D; Tondoh, J. 2000. Alternative to Slash -and – Burn. In summary report and synthesis of phase II in Cameroon, Nairobi, Kenia. 78 p.
- Kursten, E. 2000. Fuelwood production in agroforestry systems for sustainable land use and CO2 mitigation. Ecol Eng 16: S69-S72.
- Kursten, E; Burschel, P. 1993. CO2- mitigation by agroforestry. Water, air and soil Pollution 70: 533-544.
- Lamb, AF. 1969. Especies maderables de crecimiento rápido en la tierra baja tropical: *Cedrela odorata*. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de investigación y capacitación. Venezuela. 30(31):15-59.
- Lamb, AF. 1968. *Cedrela odorata*. Commonwealth Forestry Institute. England. 46 p.
- Lefkovitch, LP. 1965. The study of population growth in organisms grouped by stages. BIOMETRICS 21:1-19
- López, JP. 1996. Variación en resistencia de cedro (*Cedrela odorata* L.) al ataque de *Hypsipyla grandella* Zeller en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 104 p.
- Marinero, MR. 1962. Influencia del *Melinis minutiflora* Beauv. en el crecimiento de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Cham. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 56 p.
- Marquez, L. 2000. Elementos Técnicos para inventarios de Carbono en uso del suelo. Fundación SOLAR. Guatemala. 31 p.
- Márquez, L. 1997. Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Universidad del Valle. Guatemala. 45 p.
- MacDicken, KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington,USA. 87p.

- Modrego, F; Melo, O; Gilabert, H. 2003. The cost of Sustained Yields in *Araucaria araucana*: an Application of Uneven-Aged Matriz Model. Pontificia Universidad Chilena (PUC), Chile. 37 p.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental Benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 281-295.
- Montecinos, C. 1999. Todos lo sabemos (o deberíamos saberlo). *Monitor de Biotecnología y Desarrollo*. Compendio 1995-1997, p 45-48.
- Montenegro, J; Abarca, S. 1999. Fijación de Carbono, emisión de Metano y de Oxido Nitroso en sistemas de producción Bovina en Costa Rica. In Seminario de Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE, Turrialba, Costa Rica 24-26 mayo. 334 p.
- Moscovich, FA. 2004. Modelos de crecimiento y producción forestal. INTA. Centro Regional Misiones, Estación Experimental Montecarlo, Argentina. 42p.
- Nair, PK. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Editor L. Krishnamurthy. 543 p.
- Norgrove, L. 1998. *Musa* en sistemas de estratos múltiples, efectos de la sombra. *INFOMUSA* 7(1):17-22.
- Oy, E. 1986. Rural dendro-energy projects. In. FAO. *Appropriate forest industries*. Roma, Italia, FAO. P.325-339 (FAO Forestry Paper No. 68)
- Pandey, DN. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate policy* 2: 367-377
- Pastrana, AA. 1998. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales tradicionales: prioridades y potencialidades delos indígenas Ngöbe. 'La Gloria', Changuinola, Panamá. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 140 p.
- Pinar, MA; Putz, FE. 1996. Retaining Forest Biomass by reducing logging damage. *Biotropica* 28(3):278-295.
- Peck, RB. 1977. Sistemas agro-silvo-pastoriles como una alternativa para la reforestación en los tropicos americanos. *In* El bosque natural y artificial. Reunión del consejo consultivo de CONIF 13 al 15 de octubre de 1976 Villa de Leyva. CONIF (Colombia). Serie técnica no.3 pp 73-84

- Pérez, CL; Kanninen, M. 2002. Wood specific gravity and aboveground biomass of *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 165 (1-3): 1-9.
- Pérez, CF. 1954. Estudio forestal del Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Cham., en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 195 p.
- Peña-Claros, M; Zuidema, P. 2000. Limitaciones demográficas para el aprovechamiento sostenible de *Euterpe precatoria* para producción de palmito en dos tipos de bosques en Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 34: 7-25.
- Pezo D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas Silvopastoriles. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. (Materiales de Enseñanza CATIE No. 44). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 276 p.
- Pinelo, MG. 2000. Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Turrialba, Costa Rica, CATIE 52 p. (Serie Técnica, Manual Técnico No. 40)
- Ramírez, OA; Somarriba, E; Ludewigs, T; Ferreira, P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-planting-timber agroforestry systems in Central América. *Agroforestry Systems* 51: 141-154.
- Reyes, CR. 1997. Estimación del incremento diamétrico en *Cordia alliodora* y *Voshysia ferruginea* a partir de variables el árbol y factores e sitio en un bosque secundario en Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 134 p.
- Rosero, R; Gewald, N. 1979. Crecimiento de Laurel (*Cordia alliodora*) en cafetales, cacaotales y potreros en la zona atlántica de Costa Rica. In Actas, Taller sistemas agroforestales en América Latina, Turrialba, Costa Rica. p. 211-214.
- Rosero, P; Gewald, N. 1979. Growth of laurel (*Cordia alliodora*) in coffe and cacao plantations, and pastures, in the Atlantic region of Costa Rica. In De las Salas G ed. *Proceeding of the Workshop Agro-forestry Systems in Latin America*. Turrialba, Costa Rica CATIE. pp 205-208.
- Roshetko, J; Delaney, M; Hairiah, K; Purnomosidhi P. 2002. Carbon stocks in Indonesia homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage?. *America Journal of Alternative Agriculture* 17(2): 138-148.
- Russell, D; Franzel, S. 2004. Trees of prosperity: Agroforestry, markets and the African smallholder. *Agroforestry Systems* 61: 345-355.

- Sain, G. 1997. Seminario-taller la adopción de tecnologías: la perspectiva del agricultor y sus implicaciones para la elaboración de políticas, San José, Costa Rica, 350 p.
- Sanquetta, CR; Arce, JE; Gómez, dos Santos; Coutinho, da Cruz. 1998. Evaluación y simulación de del crecimiento de rodales de *Pinus taeda* L. con matrices de transición. *Quebracho* 7: 31-42.
- Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems* 68(2): 143-150.
- Segura, M; Andrade, H; Somarriba, E; Villalobos, M. 2005. Valoración biofísica y financiera del secuestro de carbono en sistemas de uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca. (Documento en preparación), CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas tropicales. Eds. L. Orozco; C. Brúmer. Turrialba, CATIE, Costa Rica. 264 p. (Serie Técnica. Manual técnico/CATIE No. 50).
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de Carbono en *Quercus costarricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Licenciatura. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, 147p.
- Souza, MR de. 1997. Tecnologías para usos alternativos de residuos forestais: experiencia do laboratorio de productos forestais-ibama na área de utilizacao de residuos forestais e agrícolas. In workshop Sul-americano sobre usos alternativos de residuos de origen florestal e urbana (1997, Curitiba, Brasil) 49-70 p.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Morán, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas finca cacaoteras orgánicas de Indígenas Bribri y Cábcar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38):24-30.
- Somarriba, E; Valdivieso, R; Vásquez, W; Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51:111-118.

- Somarriba, E. 2001. *Acacia pennatula* en los potreros de la reserva natural Mesas de Moropotente, Estelí, Nicaragua. (documento en preparación). 28 p.
- Somarriba, E; Beer, J. 1999. Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6(22):7-11.
- Somarriba, E. 1999. Regeneración natural de maderables en campos agrícolas. *Agroforestería en las Américas* 6(24):31-34.
- Somarriba, E; Calvo, G. 1998. Enriquecimiento de cacaotales con especies maderables. *Agroforestería en las Américas* 5(19):28-31
- Somarriba E; Beer, J; Bonnemann, A. 1996. Árboles leguminosos y maderables como sombra para cacao. El concepto. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 51 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 266).
- Somarriba, E. 1994. Maderables como alternativa para la sustitución de sombra de cacaotales establecidos. El concepto. Turrialba, Costa Rica, CATIE 34 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 238).
- Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. *Agroforestry Systems* 10: 253-263.
- Somarriba, E; Beer, J. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 18(2):113-126.
- Somarriba, E; Beer, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. 28 p. (Serie Técnica. Boletín Técnico No. 16).
- Somarriba, E. 1984. Dinámica de la población de *Goethalsia meiantha* (J. Donn. Smith) Burret en un bosque tropical secundario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UCR. 75 p.
- Suárez, A. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Suárez, D. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.

- Suatunce, P. 2002. Diversidad de escarabajos estercoleros en bosques y en cacaotales de diferentes estructuras y composición florística, Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 135 p.
- Sharrow, SH; Ismail, S. 2004. Carbon and Nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems* 60: 13:130.
- Steiner, W. 2005. Diseño de un plan de desarrollo forestal en los territorios bribris y cabécar. (Informe de consultoría para el proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica). 61 p.
- Tufekcioglu, A; Raich, JW; Isenarth, TM; Schultz, RC. 2003. Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems*. 57: 187-198.
- Tschinkel, HM. 1965. Algunos factores que influyen en la regeneración natural de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Cham. *Turrialba* 15(4): 317-324.
- Valdivieso, RT. 1997. Crecimiento de laurel (*Cordia alliodora*) (Ruiz y Pavón) Oken) como componente maderable de sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 83 p.
- Vanklay, J. 1994. Modelling forest growth and yield Applications to Mixed Tropical Forests. Cab International, Oxford, UK. 312 p.
- Vandermeer, J. 1981. Elementary mathematical ecology. John Wiley and Sons. New York. 291 p.
- Vega, L. 1987. Crecimiento del Cedro (*Cedrela odorata*) manejado en fajas de rastrojo y en el asocio inicial con cultivos. San José del Guaviare-Colombia. CONIF No.10. 19 p.
- Vincent, L. 1980. Manejo de plantaciones forestales con fines de producción. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Centro de estudios forestales de postgrado, Departamento de Manejo de Bosques. 151 p.
- Zech, W. 1994. Metodología práctica para la identificación de sitios para reforestación en la zona norte de Costa Rica, en especial con melina y laurel. Documento del proyecto No. 39. CSOSEFORMA. San José, Costa Rica. 53 p.

8 ANEXOS

Anexo 1. Existencias de laurel (Cordia alliodora) por parcelas y clases diamétricas (en el límite inferior) en cacaotales y bananales de Talamanca 2005

NP	CP	pai	Sup	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	Sum	dc
1	C	1	3792	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	C	1	7039	0	0	2	0	3	2	2	2	3	1	1	1	0	0	0	0	0	17	6
4	C	1	11070	1	5	7	9	8	4	5	2	2	4	2	3	0	0	0	1	0	53	12
5	B	1	8240	6	8	9	5	13	5	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	2
6	C	1	13279	4	19	21	26	17	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	1
7	B	1	7119	1	0	0	0	3	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1
9	C	1	7208	0	1	3	4	13	14	7	7	5	0	1	0	0	0	0	0	0	55	6
10	C	1	4807	0	0	0	0	0	1	1	4	4	1	1	0	0	2	1	0	1	16	10
11	C	1	18077	6	2	3	7	10	9	15	11	9	4	3	1	3	2	1	1	0	87	24
12	C	1	5381	1	3	7	9	3	1	4	3	3	0	0	0	0	0	0	1	0	35	4
13	C	2	3962	1	3	2	4	0	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	19	2
14	C	1	3575	0	2	3	2	3	1	1	0	2	0	1	2	0	1	0	0	0	18	6
15	B	1	10740	1	1	4	9	10	10	3	4	5	8	2	1	1	1	3	5	0	68	26
16	C	2	4435	0	0	1	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
17	C	1	3840	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1
18	B	1	2129	0	0	0	1	0	0	2	3	2	1	1	1	1	0	0	0	0	12	6
20	C	1	5836	1	1	1	2	0	2	3	4	3	3	4	1	2	2	0	1	0	30	16
21	C	1	17914	4	18	21	20	12	19	20	9	10	4	4	6	3	3	0	0	0	153	30
22	C	1	8159	0	1	1	2	9	9	4	4	5	3	0	1	1	0	0	0	0	40	10
23	C	1	3865	6	0	0	0	3	4	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	22	2
24	C	1	2548	0	2	1	5	12	5	6	6	2	2	0	0	1	0	1	0	0	43	6
25	B	2	2597	4	8	7	4	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0
26	B	2	2905	0	1	2	0	1	1	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	11	2
27	C	1	20027	2	13	21	15	39	20	4	5	4	3	0	2	0	0	0	0	0	128	9
28	C	2	8725	1	4	5	10	8	4	2	6	5	3	0	3	2	1	0	0	0	54	14
29	C	1	2168	0	1	0	9	3	5	1	3	2	4	2	4	0	0	0	0	0	34	12
30	B	1	3556	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	B	1	7114	2	5	13	9	8	7	9	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	58	5
32	B	1	2987	7	6	11	13	8	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	49	1
33	C	1	3727	1	3	1	1	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15	1
34	C	2	8530	3	2	7	15	14	7	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	53	1
35	C	1	9601	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7	2
36	C	1	5520	2	3	0	4	2	5	7	4	1	1	2	0	0	0	0	0	0	31	4
37	C	1	6435	0	1	0	0	4	7	8	11	4	3	1	1	0	0	0	0	0	40	9
38	C	1	15415	2	6	2	1	6	1	2	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	26	5
39	C	2	3946	2	4	2	3	3	1	1	1	4	1	0	1	0	0	0	0	0	23	6
40	C	2	6207	2	3	1	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0
41	C	2	6049	4	6	2	9	3	0	0	0	0	1	3	0	2	3	0	1	0	34	10
42	B	2	2931	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
43	C	1	5592	3	1	6	4	4	4	7	2	5	3	1	0	0	0	0	0	0	40	9
44	C	1	7897	8	3	7	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0
45	B	1	6768	4	1	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
46	B	2	6270	3	1	0	1	0	2	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12	1

47	B	1	8724	9	6	1	4	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	28	3
48	C	1	26192	0	1	3	3	4	6	4	7	4	8	8	7	3	3	1	1	1	64	36
49	C	2	6201	0	0	0	2	2	1	4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	11	2
50	C	2	2320	0	2	1	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
51	C	2	18502	2	1	1	11	7	12	5	6	1	0	0	2	1	0	0	0	0	49	4
52	C	2	3125	3	0	5	9	6	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	29	1
54	C	2	7942	1	3	1	1	1	2	1	4	9	0	3	0	0	0	0	0	0	26	12
55	C	1	10332	6	6	7	5	4	3	5	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	41	3
56	C	2	3091	4	0	2	0	2	0	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	1
57	C	2	7505	8	19	20	20	10	8	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	89	1
58	B	2	4883	0	1	4	7	4	4	5	4	2	4	0	2	1	0	0	0	0	38	9
59	C	2	4758	3	2	2	3	2	0	3	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	20	4
60	C	2	926	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	C	2	5018	1	1	3	3	3	2	0	3	3	2	3	1	0	1	0	0	0	26	10
62	C	1	4292	2	3	2	1	1	2	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1
63	C	1	13184	10	7	21	21	16	20	24	19	8	1	4	1	0	0	0	0	0	152	14
64	B	2	1721	2	0	0	0	0	3	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10	1
65	B	1	3452	0	0	2	1	2	0	2	1	3	6	1	1	0	0	0	0	0	19	11
66	C	1	12605	1	5	7	13	22	14	14	8	8	4	1	0	0	0	0	0	0	97	13
67	C	1	11407	1	2	5	1	4	3	9	1	1	0	3	1	0	1	0	0	0	32	6
69	C	2	16181	0	5	18	15	19	19	20	9	7	2	3	1	0	0	0	0	1	119	14
		Total		135	203	279	333	347	281	261	182	145	90	60	47	21	20	7	13	5	2429	408

NP: número de parcela;CP: cultivo principal; pai: responde a la unidad fisiográfica; 1:valle; 2:ladera; sup: superficie, responde al tamaño de la parcela;sum:es la suma de los árboles por parcela; dc: son los árboles en diámetros comerciales (≥ 45 cm); 5:10:15...responden al limite inferior de la clase diamétrica.

Anexo 2. Existencias de madera de Cordia alliodora (m³ ha⁻¹) por parcelas y clases diamétricas (en el limite inferior) en cacaotales y bananales de Talamanca 2005

NP	CP	Pai	Sup	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	Suma	Vc
25	B	2	2597	0.19	1.66	3.73	4.27	12.98	2.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.76	0.00
26	B	2	2905	0.00	0.19	0.95	0.00	1.66	2.62	7.75	10.91	0.00	0.00	12.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.30	85.81	61.73
42	B	2	2931	0.00	0.18	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07	0.00
46	B	2	6270	0.06	0.09	0.00	0.44	0.00	2.43	5.39	2.53	0.00	0.00	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.69	5.76
58	B	2	4883	0.00	0.11	1.13	3.97	3.94	6.23	11.53	12.98	8.79	23.09	0.00	18.56	11.44	0.00	0.00	0.00	0.00	101.78	61.88
64	B	2	1721	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	13.27	19.63	9.21	0.00	0.00	20.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.24	20.98
5	B	1	8240	0.09	0.52	1.51	1.68	7.59	4.62	1.37	1.92	0.00	0.00	4.38	0.00	0.00	0.00	0.00	12.88	0.00	36.57	17.26
7	B	1	7119	0.02	0.00	0.00	0.00	2.03	0.00	3.16	2.23	3.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.45	3.02
15	B	1	10740	0.01	0.05	0.51	2.32	4.48	7.09	3.15	5.90	9.99	21.00	6.73	4.22	5.20	6.31	22.70	49.40	0.00	149.06	125.55
18	B	1	2129	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	10.58	22.33	20.16	13.24	16.96	21.28	26.23	0.00	0.00	0.00	0.00	132.09	97.88
30	B	1	3556	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	B	1	7114	0.04	0.38	2.53	3.51	5.41	7.49	14.24	0.00	6.03	11.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.52	17.92
32	B	1	2987	0.30	1.09	5.09	12.06	12.89	7.65	0.00	0.00	0.00	9.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.51	9.44
45	B	1	6768	0.07	0.08	0.00	0.00	1.42	1.12	0.00	4.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.39	0.00
47	B	1	8724	0.13	0.37	0.16	1.27	1.10	0.87	1.29	1.82	2.46	3.23	0.00	5.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.90	10.89
65	B	1	3452	0.00	0.00	0.80	0.80	2.79	0.00	6.52	4.59	18.65	49.00	10.46	13.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	106.75	91.24
1	C	1	3792	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97	0.00
3	C	1	7039	0.00	0.00	0.39	0.00	2.05	2.16	3.20	4.50	9.15	4.01	5.13	6.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.03	24.72
4	C	1	11070	0.01	0.24	0.87	2.25	3.48	2.75	5.09	2.86	3.88	10.19	6.52	12.28	0.00	0.00	0.00	9.58	0.00	60.01	42.45
6	C	1	13279	0.04	0.77	2.19	5.43	6.16	4.01	4.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	33.62	10.79
9	C	1	7208	0.00	0.07	0.58	1.54	8.68	14.78	10.94	15.39	14.89	0.00	5.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.88	19.90
10	C	1	4807	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58	2.34	13.19	17.86	5.87	7.51	0.00	0.00	28.21	16.91	0.00	29.79	123.27	106.16
11	C	1	18077	0.04	0.06	0.23	1.07	2.66	3.79	9.34	9.64	10.69	6.24	5.99	2.51	9.27	7.50	4.50	5.87	0.00	79.41	52.56
12	C	1	5381	0.02	0.30	1.80	4.63	2.68	1.41	8.37	8.84	11.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.72	0.00	59.75	31.69
14	C	1	3575	0.00	0.30	1.16	1.55	4.04	2.13	3.15	0.00	12.01	0.00	10.10	25.35	0.00	18.97	0.00	0.00	0.00	78.76	66.43
17	C	1	3840	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.87	4.13	5.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.58	5.59
20	C	1	5836	0.02	0.24	0.95	0.00	2.61	5.79	10.86	11.03	14.49	24.75	7.76	19.14	23.24	0.00	18.18	0.00	139.06	118.59	
21	C	1	17914	0.03	0.54	1.62	3.09	3.22	8.07	12.57	7.96	11.98	6.30	8.06	15.17	9.35	11.36	0.00	0.00	0.00	99.34	62.22
22	C	1	8159	0.00	0.07	0.17	0.68	5.31	8.40	5.52	7.77	13.15	10.37	0.00	5.55	6.85	0.00	0.00	0.00	0.00	63.83	35.92
23	C	1	3865	0.20	0.00	0.00	0.00	3.74	7.88	11.65	12.30	5.55	7.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.62	12.85
24	C	1	2548	0.00	0.42	0.54	5.44	22.67	14.94	26.52	37.32	16.85	22.13	0.00	0.00	21.92	0.00	31.90	0.00	0.00	200.66	92.80
27	C	1	20027	0.01	0.35	1.45	2.08	9.37	7.60	2.25	3.96	4.29	4.22	0.00	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.10	13.04
29	C	1	2168	0.00	0.25	0.00	11.50	6.66	17.55	5.19	21.93	19.80	52.01	33.31	83.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	251.79	188.70
33	C	1	3727	0.03	0.43	0.37	0.74	3.87	4.08	6.04	4.25	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.60	5.76
35	C	1	9601	0.00	0.00	0.14	0.00	0.50	0.79	1.17	1.65	2.24	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.43	5.17
36	C	1	5520	0.05	0.29	0.00	2.01	1.74	6.89	14.28	11.48	3.89	5.11	13.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.83	22.08
37	C	1	6435	0.00	0.08	0.00	0.00	2.99	8.28	14.00	27.09	13.34	13.14	5.61	7.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.58	39.14
38	C	1	15415	0.02	0.21	0.18	0.18	1.87	0.49	1.46	1.03	2.78	5.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.71	8.27
43	C	1	5592	0.07	0.10	1.48	1.98	3.44	5.44	14.09	5.67	19.19	15.12	6.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.06	40.78
44	C	1	7897	0.13	0.21	1.23	1.40	0.00	0.00	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.39	0.00
48	C	1	26192	0.00	0.02	0.16	0.32	0.74	1.74	1.72	4.24	3.28	8.61	11.03	12.11	6.40	7.77	3.10	4.05	5.47	70.74	61.81
55	C	1	10332	0.07	0.31	0.94	1.34	1.86	2.21	5.45	3.07	4.15	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.14	6.88
62	C	1	4292	0.06	0.38	0.64	0.65	1.12	3.55	10.49	3.69	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.58	5.00
63	C	1	13184	0.10	0.29	2.20	4.41	5.84	11.55	20.50	22.84	13.02	2.14	10.96	3.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.28	29.56
66	C	1	12605	0.01	0.21	0.77	2.86	8.40	8.45	12.51	10.06	13.62	8.95	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.70	25.43
67	C	1	11407	0.01	0.09	0.61	0.24	1.69	2.00	8.88	1.39	1.88	0.00	9.50	3.97	0.00	5.94	0.00	0.00	0.00	36.21	21.30

13	C	2	3962	0.03	0.41	0.70	2.80	0.00	5.76	5.68	8.00	10.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.22	10.84
16	C	2	4435	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	1.72	5.08	7.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.25	0.00
28	C	2	8725	0.01	0.25	0.79	3.18	4.41	3.49	2.58	10.90	12.30	9.69	0.00	15.58	12.80	7.77	0.00	0.00	0.00	0.00	83.76	58.15
34	C	2	8530	0.04	0.13	1.13	4.87	7.90	6.25	3.96	1.86	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.66	2.52
39	C	2	3946	0.06	0.55	0.70	2.11	3.66	1.93	2.85	4.02	21.76	7.14	0.00	11.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.26	40.38
40	C	2	6207	0.04	0.26	0.22	0.89	0.78	4.90	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.91	0.00
41	C	2	6049	0.08	0.54	0.46	4.12	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00	4.66	17.91	0.00	18.46	33.63	0.00	17.54	0.00	99.79	92.21	
49	C	2	6201	0.00	0.00	0.00	0.89	1.55	1.23	7.26	0.00	3.46	0.00	0.00	7.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.70	10.77	
50	C	2	2320	0.00	0.47	0.60	2.39	0.00	19.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.14	0.00	
51	C	2	18502	0.01	0.03	0.07	1.65	1.82	4.94	3.04	5.14	1.16	0.00	0.00	4.90	3.02	0.00	0.00	0.00	0.00	25.78	9.08	
52	C	2	3125	0.12	0.00	2.21	7.98	9.24	4.87	10.81	0.00	6.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.10	6.87	
54	C	2	7942	0.02	0.20	0.17	0.35	0.61	1.92	1.42	7.98	24.32	0.00	13.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.63	37.96	
56	C	2	3091	0.16	0.00	0.89	0.00	3.11	0.00	18.21	20.51	6.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.83	6.94	
57	C	2	7505	0.13	1.37	3.68	7.38	6.41	8.11	4.50	0.00	0.00	3.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.35	3.76	
59	C	2	4758	0.08	0.23	0.58	1.75	2.02	0.00	7.10	3.33	0.00	5.93	7.59	9.52	0.00	0.00	0.00	22.30	0.00	60.43	45.34	
60	C	2	926	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	C	2	5018	0.03	0.11	0.83	1.66	2.88	3.03	0.00	9.48	12.83	11.24	21.59	9.03	0.00	13.51	0.00	0.00	0.00	86.21	68.21	
69	C	2	16181	0.00	0.17	1.54	2.57	5.65	8.94	13.92	8.82	9.29	3.48	6.70	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	8.85	72.71	31.12	
			Suma	2.8	15.4	51.2	134.4	223.5	288.2	409.8	423.3	438.2	384.1	311.0	312.7	150.0	164.2	79.1	159.5	104.2	3652.2	2103.2	

NP: número de parcela; CP: cultivo principal; pai: responde a la unidad fisiográfica; 1:valle; 2:ladera; sup: superficie, responde al tamaño de la parcela; sum: es la suma del volumen por parcela ; Vc: es el volumen comercial (≥ 45 cm); 5:10:15:responden al limite inferior de la clase diamétrica

Anexo 3. Existencias de cedro amargo (Cedrela odorata) por parcelas y clases diamétricas (en el límite inferior) en cacaotales y bananales de Talamanca 2005

NP	CP	pai	Sup	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	Suma	dc
1	C	1	3792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	C	1	7039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	C	1	11070	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
5	B	1	8240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	C	1	13279	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	B	1	7119	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7	1
9	C	1	7208	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	C	1	4807	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	C	1	18077	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12	C	1	5381	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	C	2	3962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	C	1	3575	2	3	2	4	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	15	3
15	B	1	10740	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7	2
16	C	2	4435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	C	1	3840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	B	1	2129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	C	1	5836	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	2
21	C	1	17914	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	C	1	8159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
23	C	1	3865	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	C	1	2548	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	B	2	2597	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	B	2	2905	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
27	C	1	20027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	C	2	8725	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1
29	C	1	2168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	B	1	3556	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
31	B	1	7114	0	3	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7	2
32	B	1	2987	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
33	C	1	3727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
34	C	2	8530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	C	1	9601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	C	1	5520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	4	4
37	C	1	6435	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
38	C	1	15415	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1
39	C	2	3946	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
40	C	2	6207	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
41	C	2	6049	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
42	B	2	2931	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	C	1	5592	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	C	1	7897	2	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0
45	B	1	6768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	B	2	6270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	B	1	8724	2	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
48	C	1	26192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	C	2	6201	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0

50	C	2	2320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
51	C	2	18502	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
52	C	2	3125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	C	2	7942	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
55	C	1	10332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	C	2	3091	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	C	2	7505	5	6	2	3	5	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	27	1	
58	B	2	4883	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
59	C	2	4758	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	C	2	926	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	C	2	5018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	C	1	4292	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
63	C	1	13184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	B	2	1721	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
65	B	1	3452	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	C	1	12605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	C	1	11407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
69	C	2	16181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Suma	16	25	9	16	14	12	8	8	2	7	4	2	0	2	1	2	4	132	24	

NP: número de parcela;CP: cultivo principal; pai: responde a la unidad fisiográfica; 1:valle; 2:ladera; sup: superficie, responde al tamaño de la parcela; sum: es la suma del volumen por parcela ; Vc: es el volumen comercial (≥ 45 cm); 5:10:15:responden al limite inferior de la clase diamétrica

Anexo 4. Existencias de madera de cedro amargo (Cedrela odorata) (m³ ha⁻¹) por parcelas y clases diamétricas (en el límite inferior) en cacaotales y bananales de Talamanca 2005

NP	CP	pai	Sup	45	50	55	60	65	70	75	80	90	Suma
25	B	2	2597	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	B	2	2905	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	B	2	2931	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	B	2	6270	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58	B	2	4883	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.55	10.55
64	B	2	1721	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	B	1	8240	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	B	1	7119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	0.00	0.00	4.65
15	B	1	10740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	4.80	8.60
18	B	1	2129	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	B	1	3556	0.00	3.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.92
31	B	1	7114	1.54	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
32	B	1	2987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	B	1	6768	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47	B	1	8724	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	B	1	3452	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	C	1	3792	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	C	1	7039	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	C	1	11070	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	C	1	13279	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	C	1	7208	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	C	1	4807	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	C	1	18077	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	C	1	5381	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	C	1	3575	0.00	3.90	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	11.42	0.00	20.12
17	C	1	3840	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	C	1	5836	0.00	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.83	11.22
21	C	1	17914	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	C	1	8159	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10
23	C	1	3865	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	C	1	2548	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	C	1	20027	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	C	1	2168	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	C	1	3727	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.83	13.83
35	C	1	9601	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	C	1	5520	0.00	7.57	0.00	3.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.32
37	C	1	6435	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	C	1	15415	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11
43	C	1	5592	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	C	1	7897	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48	C	1	26192	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	C	1	10332	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	C	1	4292	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	C	1	13184	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66	C	1	12605	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67	C	1	11407	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.51	0.00	0.00	0.00	2.51
13	C	2	3962	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

16	C	2	4435	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	C	2	8725	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26
34	C	2	8530	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	C	2	3946	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	C	2	6207	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	C	2	6049	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.74	0.00	0.00	0.00	4.74
49	C	2	6201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	C	2	2320	0.00	0.00	0.00	8.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.93
51	C	2	18502	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52	C	2	3125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54	C	2	7942	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56	C	2	3091	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	C	2	7505	0.00	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.29
59	C	2	4758	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	C	2	926	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	C	2	5018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
69	C	2	16181	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Suma	2.80	19.74	10.30	12.68	0.00	7.25	4.65	15.22	38.01	110.65

NP: número de parcela;CP: cultivo principal; pai: responde a la unidad fisiográfica; 1:valle; 2:ladera; sup: superficie, responde al tamaño de la parcela;sum:es la suma del volumen por parcela ; Vc: es el volumen comercial (≥ 45 cm); 45:50:55:responden al limite inferior de la clase diamétrica

Anexo 5. Distribución diamétrica (árboles ha⁻¹) de la población de laurel y cedro amargo en sistemas agroforestales de banano y cacao de indígenas de Talamanca, Costa Rica, 2005.

Cultivo principal	Cacao		Banano	
Unidad fisiográfica	Valle	Ladera	Valle	Ladera
Clases diamétricas (cm)	Laurel			
4-10,9	2,41	3,66	5,21	5,30
11-15,9	3,77	4,83	4,61	6,88
16-20,9	4,81	5,99	7,67	7,01
21-25,9	6,78	8,94	8,28	6,36
26-30,9	7,95	6,05	7,84	6,43
31-35,9	6,80	5,60	3,79	6,02
36-40,9	7,02	4,35	3,58	6,56
41-45,9	5,41	3,06	2,74	3,75
46-50,9	3,99	2,91	2,81	0,68
51-55,9	2,45	0,90	3,82	1,37
56-60,9	1,53	1,04	1,07	1,81
61-65,9	1,40	0,74	0,97	0,68
66-70,9	0,44	0,34	0,56	0,34
71-75,9	0,51	0,45	0,09	0,00
76-80,9	0,23	0,00	0,28	0,00
81-85,9	0,18	0,21	0,59	0,00
>86	0,11	0,03	0,00	0,57
	Cedro amargo			
4-10,9	0,35	0,46	0,23	3,00
11-15,9	0,57	0,47	1,31	0,00
16-20,9	0,39	0,15	0,14	0,00
21-25,9	0,42	0,37	0,49	0,60
26-30,9	0,13	0,52	0,37	0,60
31-35,9	0,02	0,47	0,35	1,10
36-40,9	0,08	0,24	0,62	0,00
41-45,9	0,26	0,23	0,09	0,00
46-50,9	0,00	0,06	0,14	0,00
51-55,9	0,33	0,00	0,42	0,00
56-60,9	0,16	0,07	0,00	0,00
61-65,9	0,06	0,24	0,00	0,00
66-70,9	0,00	0,00	0,00	0,00
71-75,9	0,03	0,09	0,00	0,00
76-80,9	0,00	0,00	0,14	0,00
81-85,9	0,09	0,00	0,09	0,00
>86	0,15	0,00	0,09	0,3

Anexo 6. Información base para el cálculo de los coeficientes de las matrices de transición para la proyección de la población y rendimiento de Cordia alliodora en cacaotales y bananales de Talamanca 2006

Clase diamétrica (cm)	Árboles ha ⁻¹		Valle				Ladera			
	Cacao	Banano	t	T p	SC	SB	t	T p	SC	SB
5-9,9	2,97	3,60	2,47	1,71	0,98	1,00	3,36	2,37	0,98	1,00
10-14,9	4,23	4,25	4,19	1,78	0,99	0,99	5,3	2,49	0,99	0,99
15-19,9	5,14	5,92	5,97	1,87	1,00	1,00	8,23	2,68	1,00	1,00
20-24,9	7,63	7,59	7,85	1,99	1,00	1,00	10,92	2,92	1,00	1,00
25-29,9	7,35	7,83	9,84	2,14	0,99	0,99	13,84	3,22	0,99	0,99
30-34,9	6,65	6,14	1,98	2,14	0,99	1,00	17,06	3,61	0,99	1,00
35-39,9	6,12	6,01	14,30	2,31	0,98	0,98	20,68	4,13	0,98	0,98
40-44,9	4,66	4,90	16,84	2,53	0,98	0,99	24,82	4,85	0,98	0,99
45-49,9	3,66	3,21	19,65	2,81	0,97	0,98	29,68	5,88	0,97	0,98
50-54,9	1,95	2,42	22,80	3,15	0,96	0,98	35,56	7,51	0,96	0,98
55-59,9	1,40	1,36	26,41	3,60	0,97	0,97	43,07	10,4	0,97	0,97
60-64,9	1,15	1,23	30,62	4,21	0,97	0,96	53,51	17,3	0,97	0,96
65-69,9	0,39	0,40	35,70	5,07	0,93	1,00	70,85	67,6	0,93	1,00
70-74,9	0,48	0,34	42,11	6,41	0,96	1,00			0,96	1,00
75-79,9	0,16	0,21	50,84	8,73	0,95	1,00			0,95	1,00

t: edad a que alcanza la categoría diamétrica; T p: años para pasar de una categoría a otra; SB: sobrevivencia en banano; SC: sobrevivencia en cacao

Anexo 7. Guía de preguntas para realizar las entrevistas con los agricultores sobre el manejo de las especies maderables de laurel y cedro amargo en los cacaotales y bananales de Talamanca

**ENTREVISTA SOBRE CONOCIMIENTO DE MANEJO DE MADERABLES EN
FINCAS CACAOTERAS y BANANERAS DE TALAMANCA**

Nombre del productor (a): _____

Comunidad: _____ **Fecha:** _____

Cultivo: _____ **Relieve:** _____

1. ¿Qué beneficios le proporcionan los árboles en la finca?
2. ¿Que inconvenientes le trae tener árboles en la parcela?
3. ¿Cómo se da cuenta cuando hay mucha sombra en el cacaotal?
4. ¿Cómo se da cuenta cuando hay poca sombra en el cacaotal?
5. ¿Qué practicas realiza para mantener un buen nivel de sombra en su cacaotal?
6. ¿Por qué prefiere las especies maderables de laurel y cedro en su parcela de cacao?
Características de la especie que el agricultor valora
7. ¿Hace alguna práctica para favorecer la regeneración del laurel o cedro? ¿Cuáles?
8. ¿Con qué frecuencia realiza raleos de arbolitos en la finca?
9. ¿A qué diámetro ralea los arbolitos?
10. ¿Hace algún control de la maleza alrededor de los laureles y cedros? ¿Con que frecuencia?
11. ¿Qué tipo de plagas o enfermedades tiene el laurel y el cedro?
12. ¿Qué hace para controlarlas?
13. ¿Cómo decide cuantos árboles de laurel dejar en su finca?
14. ¿Considera usted que el número de laureles en su parcela es adecuado? ¿Qué hará?
15. ¿Qué criterios utiliza para seleccionar un árbol para cortarlo y aprovecharlo?
16. ¿A qué diámetro corta los árboles para aprovecharlos?
17. ¿Cuáles son las motivaciones que usted tiene para aprovechar árboles de laurel y cedro?
18. ¿Como reduce los daños al momento de aprovechar un árbol?
19. ¿Los ingresos por venta de madera en el año son mayores a los ingresos por venta de cacao o banano? ¿Dónde ve mayores beneficios?

Anexo 8. Formulario para datos de anillos de crecimiento medidos de árboles aprovechados en fincas de productores indígenas de Talamanca.

No de anillo	Edad	D1 (cm)	D2 (cm)	Diámetro (promedio) cm.	ICA (cm/año)	IMA (cm/año)