



Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental
almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café
en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua

DAMARIS AMABEL SUÁREZ PASCUA

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



**Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental
almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la
comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua**

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

Magister Scientiae

Por:

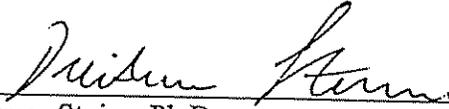
Damaris Amabel Suárez Pascua

Turrialba, Costa Rica
2002

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

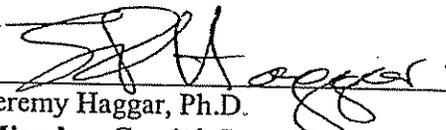
FIRMANTES:



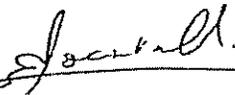
Dietmar Stoian, Ph.D.
Consejero Principal



Manuel Gómez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Jeremy Haggard, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

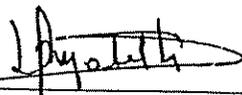


Bruno Locatelli, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Milena Segura, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado



Damaris Suárez Pascua
Candidata

DEDICATORIA

A DIOS por darme fuerzas y fortaleza en los momentos más difíciles

A mis padres: Norma Pascua Gutiérrez y Santos Suárez Quintana

A mis hermanos: Norma, Josué y Silvia

A mi sobrino: Axelito

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a todas aquellas personas e instituciones que de una u otra manera contribuyeron en la culminación de mis estudio aquí en CATIE.

A todo el personal del Proyecto CATIE-MIP/NORAD-Nicaragua por haberme brindado la oportunidad de estudiar en CATIE y hacer uno de mis sueños realidad.

A todos los miembros del comité asesor por todo su valioso aporte y permitir el buen término del proyecto de tesis.

Al Proyecto LUCCAM CATIE-Universidad Helsinki, Finlandia, por su apoyo económico durante la realización del proyecto de tesis.

Al Proyecto POSAF-MARENA / Nicaragua por su apoyo logístico durante la realización de la fase de campo del estudio.

A los productores cafetaleros de la Comarca Yassica Sur, ya que sin su cooperación no hubiera sido posible la elaboración de este trabajo de investigación.

A Orfa, Verónica, Jeanneth y Felicia por su valiosa amistad y todo el apoyo recibido en los momentos de tristezas y alegrías.

A Alfredo Ruiz y Jorge Cruz (Guate) por su cooperación y apoyo brindado en algún momento.

CONTENIDO

	DEDICATORIA	iii
	AGRADECIMIENTO	iv
	CONTENIDO	v
	RESUMEN	vii
	SUMMARY	ix
	LISTA DE CUADROS	xi
	LISTA DE GRÁFICOS	xii
	LISTA DE FIGURAS	xiii
	LISTA DE ANEXOS	xiii
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Justificación	3
1.3.	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo general.....	4
1.3.2	Objetivos específicos	4
1.4.	Preguntas claves.....	5
1.5	Hipótesis.....	5
2	REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1	El cambio climático.....	6
2.1.1	La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	7
2.1.1.1	Nicaragua ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	8
2.1.1.2	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en Nicaragua.....	9
2.1.2	Protocolo de Kyoto.....	10
2.1.3	Opciones de mitigación del cambio climático.....	12
2.1.3.1	Importancia de los bosques en la fijación de CO ₂	13
2.1.3.2	Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de CO ₂	15
2.2	Valoración económica de los servicios ambientales.....	16
2.3	Mercado de Gases de Efecto Invernadero y valoración económica del almacenamiento de carbono.....	19
3	METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1	Descripción del área de estudio.....	21
3.2.	Esquema general de la metodología	22
3.2.1	Revisión de literatura y recopilación de información secundaria.....	23
3.2.2	Determinación y selección de la muestra del estudio.....	24
3.2.3	Levantamiento de información primaria.....	25
3.2.3.1	Información socioeconómica.....	25
3.2.3.2	Información biofísica	26
3.2.3.2.1	Clasificación de fincas y lotes de café por sistema agroforestal	26
3.2.3.2.2	Selección de lotes de café y establecimiento de las parcelas de muestreo.....	27
3.2.3.2.3	Mediciones en las fuentes de almacenamiento de carbono dentro de los SAF: árbol, café, hojarasca y suelo.....	30
3.2.3.2.4	Construcción de modelos alométricos de biomasa aérea de árboles y café.....	31
3.2.3.2.5	Carbono almacenado en las diferentes fuentes de almacenamiento.....	34
3.2.4	Análisis estadístico.....	36
3.2.5	Valoración del almacenamiento de carbono por el método de costo de oportunidad	36
3.2.5.1	Nivel óptimo económico vrs nivel óptimo ecológico.....	37
3.2.5.2	Nivel óptimo ecológico vrs situación actual.....	37
3.2.5.3	Situación actual vrs situación futura.....	38
3.2.6	Comparación con precios internacionales en el mercado de carbono.....	39
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1	Información socioeconómica (DRR) de la comarca Yassica Sur.....	41
4.1.1	Panorama general de la zona.....	41
4.1.2	Empleo	42

4.1.3	Tipos de productores cafetaleros	43
4.1.4	Tipo de café: Café pergamino, oro y orgánico	44
4.1.5	Tipo de sistema agroforestal de café.....	46
4.1.5.1	Café joven (CJSD) y productivo(CPSD) con sombra diversificada.....	46
4.1.5.2	Café Productivo con Inga spp. (CPI).....	47
4.1.5.3	Café Productivo con Especies Maderables (CPEM).....	47
4.1.5.4	Café Productivo en Abandono (CPAB)	48
4.1.6	Análisis costo- beneficio de las actividades productivas de la Comarca Yassica Sur	49
4.1.6.1	Costos y beneficios de los sistemas agroforestales.....	49
4.1.6.2	Granos básicos: frijol y maíz	52
4.1.6.3	Hortalizas	54
4.1.6.4	Ganadería.....	55
4.1.7	Selección de la mejor alternativa económica (Nivel óptimo económico).....	56
4.1.8	Tendencias de cambio de uso de la tierra.....	57
4.2	Información biofísica	60
4.2.1	Modelos alométricos para estimar biomasa aérea en árboles y café	60
4.2.1.1	Modelo para estimar biomasa aérea en árboles de sombra	60
4.2.1.2	Modelo para estimar biomasa aérea en café	62
4.2.2	Biomasa y carbono almacenado en las fuentes de almacenamiento: árbol, café, hojarasca y suelo.....	64
4.2.2.1	Biomasa y carbono en árboles de sombra.....	64
4.2.2.2	Biomasa y carbono en café	67
4.2.2.3	Biomasa y carbono en hojarasca	70
4.2.2.4	Contenido de materia orgánica y carbono almacenado en el suelo	72
4.2.3	Biomasa y carbono total aéreo almacenado en los SAF a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.....	75
4.2.4	Carbono total en los SAF de café con diferentes rangos de altura	77
4.2.5	Selección del nivel óptimo ecológico	80
4.3	Valoración económica del carbono almacenado en los SAF de café	81
4.3.1	Nivel óptimo económico vrs nivel óptimo ecológico	82
4.3.2	Situación actual vrs nivel óptimo ecológico.....	82
4.3.3	Situación actual vrs situación futura.....	83
4.4	Comparación con otros estudios de costos de oportunidad.....	84
4.5	Comparación del valor del carbono almacenado en los SAF con precios internacionales en el mercado de carbono	86
4.6	Discusión de hipótesis.....	88
4.6.1	Carbono almacenado en la fuente árbol	88
4.6.2	Carbono almacenado en la fuente café	89
4.6.3	Carbono almacenado en la fuente hojarasca.....	89
4.6.4	Carbono almacenado en la fuente suelo.....	90
4.6.5	Carbono total almacenado en los sistemas a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.....	91
4.6.6	Valor de la tonelada de carbono	93
4.7	Reflexiones Metodológicas	93
5	CONCLUSIONES	96
6	RECOMENDACIONES	99
7	LITERATURA CITADA	100
8	ANEXOS	107

SUÁREZ PASCUA, D. A. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café de la Comarca Yassica Sur, Matagalpa Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 117 p.

Palabras claves: valoración económica, café (*Coffea arabica*), biomasa vegetal, servicios ambientales, costo de oportunidad, café con sombra, almacenamiento de carbono, diagnóstico socioeconómico, análisis costos - beneficio, productores cafetaleros, carbono orgánico, materia orgánica del suelo, *Inga spp*, diámetro a la altura del pecho (DAP), modelos alométricos, altura de árboles, ecuaciones de regresión, fracción de carbono.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue cuantificar y valorar económicamente el servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) de café de la Comarca Yassica Sur, Matagalpa-Nicaragua. Los sistemas de café bajo estudio son: Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD), Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD), Café Productivo con *Inga spp* (CPI), Café Productivo con Especies Maderables (CPEM) y Café Productivo en Abandono (CPAB). Debido a la variabilidad encontrada en la altura de los árboles de sombra, dentro de los sistemas, se procedió a estratificar los SAF de café por rangos de altura de los árboles en: < 5 m , 5-10 m y >10 m.

Se realizó un Diagnóstico Rural Rápido (DRR) en base a 97 entrevistas semi estructuradas aplicadas a productores cafetaleros, con el fin de obtener información socioeconómica a nivel de finca e información biofísica de los SAF de café. La información socioeconómica consistió en determinar la situación del empleo; realizar un análisis costo-beneficio (ACB), tomando en cuenta costos variables operativos, a las actividades productivas dentro de cada finca; las tendencias del cambio de uso del suelo y del precio del café. A través del ACB se identificó al cultivo del chayote (*Sechium edule*) como la actividad productiva más rentable de la Comarca, por lo que representó el nivel óptimo económico. La información biofísica de los SAF de café, en lo que respecta al tipo de sombra, altura promedio de los árboles y estado productivo de la plantación de café permitió clasificarlos por SAF de café y rango de altura de los árboles de sombra. Una vez clasificado cada lote de café dentro de cada finca, se procedió a seleccionar, aleatoriamente, 3-5 lotes por SAF y rango de altura, para realizar las mediciones de las diferentes fuentes de almacenamiento de carbono (suelo, café, árbol y hojarasca).

Para cuantificar el carbono almacenado en árboles de sombra y café, se desarrollaron ecuaciones alométricas de biomasa para ambas fuentes a través de un muestreo destructivo. Se cortaron 35 árboles de cuatro especies dentro un rango de 5 a 44 cm de DAP y 102 arbustos de café. Los modelos de biomasa de mejor ajuste para ambas fuentes fueron logarítmicos en función del DAP para árboles de sombra y diámetro del tronco a 15 cm del suelo y altura total para café. El carbono total almacenado por los sistemas oscila entre 149.9-166.7 tC ha⁻¹, siendo el CJSD y CPAB el que almacena la mayor y menor cantidad de carbono, respectivamente. El suelo contribuye entre 75-97 % al carbono total del sistema, mientras que los árboles de sombra aporta entre 5.6-14%, la hojarasca con 2.3-3.9% y las plantas de café con el 0.1-1.5%, siendo este último la fuente que menos carbono almacena.

Existen diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en el carbono almacenado en las fuentes de almacenamiento árboles de sombra y plantas de café entre los rangos de altura de los árboles de sombra. Mientras que en hojarasca, suelo y carbono total no fue significativo. Igual resultado se encontraron en relación al tipo de SAF.

Una vez cuantificado el carbono almacenado por las diferentes fuentes de almacenamiento dentro de cada sistema y el total por sistema, se les asignó una cantidad de carbono almacenado por ha al resto de los sistemas de producción o actividades productivas en los cuales no se realizaron mediciones, en base a lo reportado en la literatura, para determinar la actividad productiva que representa el nivel óptimo ecológico en términos de almacenamiento de carbono. La actividad productiva cafetalera representa el nivel óptimo ecológico y es el punto medio ($tC\ ha^{-1}$ promedio) de todos los SAF de café.

El enfoque de la valoración a través del método de valoración costo de oportunidad, toma en cuenta dos situaciones: una mejorada desde el punto de vista de ambiente global (almacenamiento de carbono) y otra en términos de rentabilidad o beneficios económicos locales. Se determinó un costo de oportunidad de almacenar carbono en los sistemas agroforestales de café, durante un año, bajo tres escenarios de comparación: 1) Nivel óptimo ecológico vs Nivel óptimo económico; 2) Situación actual vs Nivel óptimo ecológico; 3) Situación actual vs Situación futura.

Bajo el escenario 1, se determinó un costo de oportunidad de US \$16.1 tC por año, lo cual representa el ingreso teórico que dejan de percibir, al año, los productores cafetaleros por practicar la actividad productiva relativamente más ecológica (SAF café) en vez de la actividad productiva más rentable (Chayote); el costo de evitar emitir 1 tC, o su equivalente en CO_2 , a la atmósfera y el valor anual de compensación por cada tC almacenada en los SAF para evitar conversión de los cafetales por el cultivo de Chayote. Bajo el Escenario 2, se determinó un costo de oportunidad de US \$ 0.6 t C por año, el cual representa: el ingreso teórico que dejan de percibir los productores cafetaleros por cada tonelada de carbono, almacenada en los SAF, adicional al punto medio de la situación actual a la vez representa el valor que habría que compensarles a los productores cafetaleros por aumentar su stock actual de carbono hasta alcanzar el punto óptimo ecológico. En el Escenario 3, se determinó un costo de US \$ 1.5 tC por año, el cual representa el costo por almacenar 1 tC en los SAF, evitar reducir el stock actual de carbono y el valor de compensación que habría que ofrecer a los productores cafetaleros por no emitir carbono a la atmósfera ante un cambio de uso del suelo.

SUAREZ PASCUA, D. A. 2002. Quantification and economic valuation of the environmental service carbon storage in agroforestry systems of coffee in the Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. 117p.

Key words: economic valuation, environmental service, carbon storage, coffee (*Coffea arabica*), opportunity cost, shade coffee, biomass, organic soil, socioeconomic diagnostic, cost and benefit analysis, coffee farmers, organic soil material, *Inga spp*, diameter at breast height, allometric model, tree height, regression equation, carbon fraction.

SUMMARY

The objective of this research was to quantify and economically value the service of carbon fixing and storage from different coffee agroforestry systems (CAS) in the zone Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. The coffee systems under study are: young coffee with diversified shade, productive coffee with diversified shade, productive coffee with *Inga spp* productive coffee with timber – yielding species, and productive coffee with abandon. Due to the differences found among the systems related to the shade trees height, a stratification of the systems depending tree height as <5 m, 5-10 m and > 10 m was done.

A rapid rural appraisal (RRA) based on 97 semi-structured interviews applied to coffee growers was done. The main objective was to get socioeconomic and biophysical information of the CAS. The socioeconomic information consisted on determining the employment situation, operative total cost, gross incomes, and net farm profits (considering all the activities) as well as the changing tendencies of the soil uses if coffee prices keep decreasing at current rate. The chayote (*Sechium edule*) crop was the most profitable activity in the zone which also has an optimum economic level.

The coffee plots of each farm were classified according to biophysical information, depending on the CAS and the height rank of the shade trees. Once the coffee plots were classified, a random selection was done of 3 to 5 plots per system and height rank was done. In each sampled plot, measurements were taken of each source of C storage (soil, coffee, tree and fallen leaves).

Before determining the stocked market in shade and coffee trees, allometric equations to estimate the biomass in both sources were developed. In order to develop a biomass models of trees, 35 trees of four species in a rank between 5 to 44 cm of tree diameter at breast height were destroyed. The coffee biomass model was developed with the destruction of 102 shrubs. Logarithmic models had the better fit, in function of the tree diameter at breast height and stem diameter of 15 cm from soil and total height for coffee. The agroforestry coffee storage between 149.9 tC ha⁻¹ in productive coffee with abandon and 166.7 tC ha⁻¹ in young coffee with diversified shade. Between 75-97% of the carbon of the systems is stored by the soil; the 5.6-14% corresponds to the shade coffee; while the 2.3-3.9 % by the fallen leaves and the 0.1-1.5% corresponds to the coffee plants, this last storage less carbon than the other part of the systems.

There is highly significantly difference in the stored carbon among height rank of the shade coffee. While in fallen leaves, soil and total carbon was not. The same results were obtained in relation to the type of CAS.

Once the better-fitted biomass models for trees and coffee were selected, the quantification of carbon per hectare in the CAS was done. In order to select the ecological-optimal production systems, in terms of carbon storage, mean values as reported in the literature were assigned to the productive activities that carbon storage were not quantified. Young coffee with diversified shade system was the system that stored more carbon. Because of the fact that this system represents a temporal state of the system, the ecological optimal level was determined through the carbon mean stored by the different coffee systems under study.

The carbon valuation approach, i.e. opportunity cost approach, considers two situations: an improved situation from a global point of view (carbon storage) and a locally profitable situation. With this approach, the opportunity cost of carbon storage was estimated in three scenarios: 1) ecological-optimal level versus economic-optimal level; 2) current situation (average of carbon and income per hectare per farm) versus ecological-optimal level; and 3) current situation versus future situation (an average carbon and income per hectare per farm assuming a land-use change and constant coffee prices).

Under scenario one, an opportunity cost of US\$ 16.1 C ton / year was calculated which represents the farmers theoretical income forgone if they would produce the best ecological activity (coffee) instead of the most profitable activity (chayote). It also represents the cost to avoid the emission of 1 C ton, or its equivalent in CO₂ terms, and the annual compensation value of each carbon ton stored in an CAS that should be compensated to farmers in order to avoid a land-use change to chayote. Under scenario 2, an opportunity cost of US\$ 0.6 C ton per year was determined which represents the theoretical cost that the coffee producers do not receive per each carbon ton stored in the CAS additional to the medium point of the present situation. It also represents the value that should be compensated to the coffee producers for increasing this annual carbon storage until reaching the ecological optimal level, through the increasing of coffee area in the farm or by increasing the number of trees in the coffee system. In scenario 3 an opportunity cost of US \$1.5 C ton per year was estimated, which represents the cost to avoid a reduction of current carbon stock and the compensated value to coffee producers in order to avoid the emission due to land use changes.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Esquema general de la metodología para cuantificar y valorar el servicio ambiental, almacenamiento de carbono en sistemas de producción de café en la Comarca Yassica Sur, Nicaragua.....	22
Cuadro 2.	Número de entrevistas (DRR) a realizar de acuerdo al tamaño de cada estrato.....	24
Cuadro 3.	Cuadro 3. Número de lotes y fincas encontrados por sistema agroforestal Y rango de altura	27
Cuadro 4.	Número de fincas y unidades de muestreo por cada fuente de almacenamiento de carbono, en cada subgrupo (sistema de café por rango de altura).....	29
Cuadro 5.	Número de árboles muestreados por especie y clase diamétrica para desarrollar el modelo de biomasa de los árboles de sombra.....	32
Cuadro 6.	Esquema de la valoración por el método de costo de oportunidad bajo tres escenarios	36
Cuadro 7.	Clasificación de productores cafetaleros de acuerdo al área de café para la aplicación del DRR.....	44
Cuadro 8.	Datos productivos de la producción de Café Oro, Pergamino y Orgánico.....	45
Cuadro 9.	Datos productivos de los diferentes sistemas agroforestales de café de la comarca Yassica Sur.....	50
Cuadro 10.	Datos productivos del cultivo de granos básicos y hortalizas de la Comarca Yassica Sur	57
Cuadro 11.	Tendencia del uso de la tierra de la comarca Yassica Sur.....	58
Cuadro 12.	Modelo de biomasa de los árboles de sombra, de mejor ajuste, en función del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de cuatro especies y n=35.....	61
Cuadro 13.	Modelo de biomasa de café de mejor ajuste, en función al diámetro del tronco a 15 cm del suelo y altura total de la planta (n=102).....	63
Cuadro 14.	Precios internacionales equivalente a 1 tC almacenada durante 1 año.....	87
Cuadro 15.	Resultado del análisis estadísticos del carbono almacenado en las diferentes fuentes de almacenamiento, por rangos de altura de los árboles de sombra, través de las pruebas de DUNCAN	92
Cuadro 16.	Resultado del análisis estadísticos del carbono almacenado en las diferentes fuentes, por sistemas de café, través de las pruebas de DUNCAN.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Distribución del empleo dentro de la Comarca Yassica Sur.....	43
Gráfico 2.	Relación entre la biomasa estimada, con el modelo de mejor ajuste (M14), y el DAP de los árboles de sombra.....	61
Gráfico 3.	Relación de la biomasa aérea real y biomasa estimada de los árboles de sombra con el modelo de mejor ajuste.....	62
Gráfico 4.	Relación entre la biomasa estimada, con el modelo de mejor ajuste, y la altura total de las plantas de café (a); diámetro del tronco a 15 cm del suelo (b).....	63
Gráfico 5.	Relación entre biomasa real y biomasa estimada del café con el modelo de mejor ajuste (M32).....	64
Gráfico 6.	Carbono almacenado (tC/ha) en los árboles de sombra de los sistemas de café a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra (m).....	65
Gráfico 7.	Carbono almacenado (t /ha) en el cultivo del café de los diferentes sistemas por rango de altura de los árboles de sombra (m).....	69
Gráfico 8.	Carbono almacenado (tC/ha) en la hojarasca de los diferentes sistemas por rango de altura de los árboles de sombra (m).....	71
Gráfico 9.	Carbono almacenado (tC/ha) en el suelo de los diferentes sistemas de café por rango de altura de los árboles de sombra (m).....	73
Gráfico 10.	Carbono aéreo (tC/ha) de los sistemas agroforestales de café a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra (m).....	76
Gráfico 11.	Carbono total (tC/ha) en los sistemas agroforestales de café a diferentes alturas de los árboles de sombra.....	78
Gráfico 12.	Ingresos por finca, promedio de la situación actual, promedio de la situación futura, nivel óptimo ecológico, nivel óptimo económico.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura general de la metodología.....	23
Figura 2	Esquema del establecimiento de las unidades de muestreo en los lotes donde se establecían dos parcelas de 1000 m ²	28

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Diagnostico Rural Rápido (DRR).....	107
Anexo 2a	Densidad básica (g cm ⁻³) de árboles de sombra.....	110
Anexo 2b	Fracción de carbono de los árboles de sombra	110
Anexo 2c	Fracción de carbono de tallos de plantas de café	110
Anexo 3	Datos productivos de granos básicos: maíz y frijol.....	111
Anexo 4	Datos productivos de la actividad ganadera.....	111
Anexo 5a	Gráfico de residuos del modelo de mejor ajuste para estimar biomasa en árboles de sombra.....	112
Anexo 5b	Modelos de los árboles de sombra.....	112
Anexo 6a	Gráfico de residuos del modelo de mejor ajuste para estimar biomasa en plantas de café	113
Anexo 6b	Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa en las plantas de café.....	113
Anexo 7	Biomasa y carbono en los árboles de sombra (t ha ⁻¹) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura	114
Anexo 8.	Biomasa y carbono en el cultivo del café (t ha ⁻¹) en los diferentes Sistemas agroforestales por rangos de altura	114
Anexo 9.	Biomasa y carbono almacenado en la hojarasca (t ha ⁻¹) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura	115
Anexo 10.	Materia Orgánica y Carbono almacenado en suelo (t ha ⁻¹) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura.....	115
Anexo 11.	Biomasa y carbono aéreo (t ha ⁻¹) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura	116
Anexo 12.	Carbono total (tC ha ⁻¹) en los sistemas agroforestales de café con diferente altura de los árboles de sombra.....	116
Anexo 13.	Densidad (árboles ha ⁻¹) y diámetro promedio (dap) de los árboles de sombra por sistema y rango de alturas.....	117

1.INTRODUCCIÓN

El café ha representado, por muchos años, el principal producto de exportación en Nicaragua. En los últimos cinco años generó el 44.7% de las divisas equivalente a 140.2 millones de dólares representando el 25% de las exportaciones totales (BCN 2001). En el año 2001, el café reportó el 7.2% del PIB, el 24.4% del PIB agropecuario y contribuyó con el 23% de las exportaciones de bienes a nivel nacional, es decir, 109 millones de dólares (CEPAL 2002). En este mismo periodo generó un promedio de 180 mil puestos de trabajo para cada ciclo de corta, lo cual representó el 31.5 por ciento de los desocupados en el sector agrícola y el 13 por ciento del total de ocupados en el ámbito nacional (BCN 2001).

1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años se viene produciendo la peor crisis en la caficultura mundial. Desde 1996-97 se inicia un ciclo de producción superior a la demanda mundial (PROMECAFE 1999) ocasionando el derrumbe de los precios por debajo de los costos de producción (PROMECAFE 2001). La volatilidad y disminución de los precios en el mercado internacional pone en peligro el medio de subsistencia de 20 millones de pequeños productores, con áreas menores a 10 ha, en 80 países de Africa, Asia y América Latina, los cuales proveen el 70% de la oferta mundial y dependen del café como su fuente principal de ingresos (OXFAM 2001). Ello impacta negativamente, con más dureza, en los países con una alta dependencia del café en sus economías, como el caso de los países centroamericanos y del Caribe, particularmente en términos de costos de producción (PROMECAFE 2001).

Debido a la crisis que atraviesa actualmente el sector cafetalero existe la posibilidad que muchos productores cafetaleros cambien sus plantaciones de café por otros cultivos en busca de mejores alternativas económicas. De llevarse a cabo este cambio de uso del suelo, potencialmente, contribuiría al cambio climático el cual es uno de los problemas ambientales ampliamente reconocido y discutido actualmente a nivel mundial. Muchos científicos reconocen que el incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, provocará aumentos en la temperatura terrestre y los océanos, produciendo cambios drásticos en los patrones climáticos y por ende efectos negativos ambientales, económicos y sociales a nivel mundial. La deforestación de los

bosque, cambio de uso del suelo, quema de combustibles fósiles y bosques, son las fuentes principales de emisiones de estos gases. Según la FAO (2001), cerca de un tercio del calentamiento de la atmósfera y el cambio climático proviene de la agricultura, sobre todo la deforestación, quema y descomposición de la materia orgánica.

También es reconocido que las actividades orientadas al secuestro o reducción de emisiones de GEI, especialmente el CO₂, relacionadas a cambios de uso del suelo y actividades forestales, representan una de las opciones existentes para regular las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero. Dixon (1991) afirma que el manejo de bosques y sistemas agroforestales podrían ayudar a reducir la acumulación del CO₂ en la atmósfera. Según Dixon (1995) los sistemas agroforestales pueden ser manejados para estabilizar la emisión de gases en tres maneras: 1) secuestro del CO₂ en las plantas y capturar carbono y nitrógeno en la vegetación perenne y suelo a largo plazo; 2) tales sistemas producen alimentos y fibra lo cual ayuda a reducir la deforestación y degradación de las tierras y 3) la producción sostenida de leña puede reducir el uso de combustible fósiles.

Gran parte de los sistemas de producción del café en Nicaragua, se caracterizan por tener árboles de usos múltiples asociados al cultivo, contribuyendo, de alguna manera, a reducir las emisiones de GEI, al evitar que el carbono almacenado en la biomasa vegetal y del suelo se emita a la atmósfera. Pese a la importancia que tienen los SAF en mitigar el exceso de CO₂ de la atmósfera, en Nicaragua son pocos los estudios sobre el potencial de fijación y almacenamiento de carbono en estos sistemas de producción, lo cual representa una limitante tanto a los productores como al país para desarrollar mecanismos de compensación por los bienes y servicios ambientales que estos sistemas generan.

Nicaragua esta realizando esfuerzos importantes en el área de legislación ambiental. Desde 1990 se han aprobado 10 leyes y 13 decretos en su mayoría sobre aspectos ambientales; sin embargo aún no se cuenta con legislación específica sobre el pago por servicios ambientales. Hasta ahora, la ley N. 217: General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, aprobada en Junio de 1996, ha sido el marco general vigente en materia ambiental, sobre el cual se ha venido formulando la legislación sectorial que ha servido como base para la creación de la Comisión del cambio climático (Mejías y Segura 2002).

1.2 Justificación del estudio

Muchos autores como Dixón *et al.* (1991), Brown (1998), Alvarado *et al.* (1999), Segura (1999), Andrade (1999), Avila (2000) Márquez (2000), señalan la importancia de realizar estudios que logren obtener la cantidad de biomasa en los diferentes ecosistemas forestales o agroforestales con la finalidad de obtener datos de la cantidad de carbono fijada o almacenada en los mismos; cuantificar económicamente su valor y otorgar un pago por el servicio ambiental brindado.

El presente trabajo fue realizado en el área cafetalera conocida como Yassica Sur, Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa, Región Central Norte de Nicaragua. El estudio aporta información sobre el potencial de almacenamiento de carbono de los SAF de café así como su potencial valor económico por cada 1 tC almacenada durante 1 año. La información brindada podría contribuir al país, en futuras tomas de decisiones orientadas a la implementación de mecanismos de compensación a los propietarios de los sistemas agroforestales de café por los bienes y servicios ambientales que generan a la sociedad. De implementarse un sistema de compensación, se contribuiría a 1) reducir el riesgo del cambio a usos de la tierra menos amigables con el ambiente, tales como cultivos anuales: granos básicos y hortalizas; 2) mitigar los efectos negativos del exceso de CO₂ en la atmósfera por emisiones evitadas y 3) se garantizaría la generación de los beneficios ambientales que actualmente estos sistemas de producción brindan.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

Contribuir al conocimiento sobre el potencial de almacenamiento de carbono y su valor económico en los sistemas agroforestales de café de la comarca Yassica Sur, San Ramón – Nicaragua.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar el carbono total almacenado en los SAF y en las fuentes de almacenamiento (árbol, café, hojarasca y suelo) a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.
- Identificar el sistema de producción que almacena mayor cantidad de carbono (nivel óptimo ecológico) y la actividad productiva que genera mayores beneficios económicos (nivel óptimo económico) dentro de la comarca Yassica Sur.
- Establecer pautas para una metodología de estimación del monto a pagar por el servicio ambiental de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café, tomando en cuenta la mejor opción económica (nivel óptimo económico), situación actual y futura del sector cafetalero, a través del método de valoración costo de oportunidad.

1.4 Preguntas clave

- ¿Cuál sería el sistema de producción que almacena más carbono ?
- ¿Cuánto es el valor económico de la tC año⁻¹ almacenado en sistemas agroforestales tomando en cuenta la mejor opción económica, en la situación actual y bajo una situación futura suponiendo que se de un cambio de uso del suelo?
- ¿Cual sería la actividad productiva que genera los mayores beneficios económicos?.

1.5 Hipótesis

- Existen diferencias significativas en el contenido de carbono en las fuentes de almacenamiento (suelo, árbol, café y hojarascas) de los diferentes sistemas agroforestales de café y rangos de altura de los árboles de sombra.
- Existen diferencias significativas en el contenido de carbono total de los sistemas agroforestales de café y diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.
- El valor económico de la tC año⁻¹ almacenada en los sistemas agroforestales de café tomando en cuenta la mejor opción económica, situación actual y situación futura es menor a \$10.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cambio climático

Desde la década pasada y especialmente los últimos cinco años, el cambio climático es uno de los temas más importante de la comunidad internacional. La razón es obvia: compartimos un planeta común, la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI_s) ha incrementado, marcadamente, durante el siglo pasado y la evidencia científica argumenta que si el incremento de GEI continua habrán efectos significantes sobre el cambio climático y otros aspectos de la ecología de la tierra. El promedio de la temperatura global incremento entre 0.4 °C y 0.8 °C y el nivel del mar incremento de 0.1 a 0.2 m sobre los últimos 100 años (Aldy et al. 2001).

El CO₂ es el más importante de los GEIs, afectado por la actividad humana, tanto en términos de su cantidad como de su potencial efecto sobre el calentamiento global. Este es producido cuando se usa combustible fósil para generar energía y cuando los bosques son deforestados y quemados (UNEP 2001). Desde 1750, las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) ha incrementado por mas del 30% (de 280 ppm a 365 ppm), mientras que el metano por más de 150% y el Oxido nitroso por mas del 15%. Las concentraciones de metano y CO₂ son mas alta ahora que en cualquier tiempo de los últimos 420,000 años (Aldy et al. 2001) y estos son emitidos de las actividades agrícolas, cambio en el uso del suelo y otras fuentes. Millones de toneladas de carbono son intercambiados naturalmente cada año entre la atmósfera, los océanos y la vegetación terrestre (UNEP 2001).

El efecto invernadero consiste en la retención de energía calórica proveniente del sol en la atmósfera inferior, debida a la absorción y reflexión por parte de las nubes y ciertos gases presente en la atmósfera. La radiación solar visible (de baja longitud de onda) atraviesa la atmósfera y calienta la superficie de la Tierra, la cual a su vez emite radiación térmica (de alta longitud de onda), parte de la cual es retenida por los denominados GEIs. La cantidad de GEIs presente en la atmósfera pueden influenciar, por lo tanto, las temperaturas globales de la Tierra: un aumento de dichos gases provoca un aumento en la temperatura global (Beaumont 1999).

2.1.1 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

El efecto invernadero, fruto de la evolución de la vida, hizo posible mantener constante y a un nivel apropiado, las temperaturas medias en la tierra. Sin embargo, desde 1850 hasta el presente y particularmente en las últimas cuatro décadas, las emisiones antrópicas de GEI, han comenzado a amenazar el Sistema Climático Mundial, definiendo consecuencias potencialmente catastróficas (Beaumont 1999).

En razón de ello, en 1988, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) creó el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Dos años más tarde la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció el Comité Intergubernamental de Negociación Convenio (CIN), que en Mayo de 1992 aprobó el texto de una Convención. En junio del mismo año, durante la Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), 165 países firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la que entro en vigor el 21 de marzo de 1994 con la ratificación de los 50 países (Beaumont 1999).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático forma parte de una serie de acuerdos recientes por medio de los cuales los países de todo el mundo se han unido para hacer frente a este problema. No es un documento completo, sino una serie de protocolos que coordinan las negociaciones a nivel internacional. Otros tratados abordan cuestiones como la contaminación marina, la degradación de las tierras áridas, el deterioro de la capa de ozono y la rápida extinción de especies animales y vegetales. La Convención sobre el Cambio Climático se centra en un problema especialmente inquietante: estamos alterando la forma en que la energía solar interactúa con la atmósfera y escapa de ella, y esto quizás modifique el clima mundial. Entre las consecuencias posibles podrían producirse un aumento de la temperatura media de la superficie de la Tierra y cambios en las pautas meteorológicas a escala mundial. Tampoco se pueden descartar otros efectos imprevistos (UNEP, UNFCCC 1999).

El objetivo principal de la Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI, en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antrópicas peligrosas en el sistema climático y el desafío que plantea es el de cumplir tal objetivo asegurando que la producción

de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sustentable (Beaumont 1999).

2.1.1.1 Nicaragua ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (CMNUCC)

La Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo promovida por las Naciones Unidas y realizadas en Río de Janeiro, Brasil en 1992, permitió dar un conjunto de pasos trascendentales para abordar el problema del deterioro ambiental, que a su vez representa una de las más grandes amenazas para la vida de la especie humana del planeta (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2000).

La firma por más de 150 países de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), tiene como objetivo principal, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel adecuado y prevenir un grado peligroso de interferencia antropogénica en el sistema climático.

En esta convención se insta a las partes, a que se comprometan para elaborar, actualizar periódicamente, publicar y poner a disposición de la Conferencia de las Partes, sus inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas, para todos los gases de efecto invernadero (GEI) (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2000).

Nicaragua como miembro de la CMNUCC desde octubre de 1995, así como la ratificación del Protocolo de Kyoto en julio de 1999, ha demostrado su voluntad política de participar y de contribuir en la medida de sus posibilidades al objetivo de reducir las concentraciones de los GEI (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2001).

El hecho de participar en esta priorizada iniciativa universal de reducción de emisiones de GEI, le permitirá a los nicaragüenses mejorar el nivel de la calidad de vida y sobre todo luchar de manera sostenible ante la pobreza que nos agravia, a través de la introducción de tecnologías limpias, la utilización de fuentes renovables de energía y el uso eficiente de la energía, mediante planes de manejo realistas orientados a la protección y reforestación de las zonas degradadas de las áreas protegidas; a través de la conservación de las cuencas hidrográficas y de sus acuíferos estratégicos; mejorando el proceso de tratamiento de los

desechos sólidos y las aguas residuales, con el objetivo final de revertir el proceso de deterioro de nuestro medio ambiente (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2000).

2.1.1.2 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en Nicaragua

El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero es el primer compromiso cumplido por Nicaragua ante la CMNUCC, el cual refleja las emisiones y fijaciones y GEI para el año 1994, que es el año de referencia.

Las mayores emisiones de CO₂ fueron reportadas en el sector CUTS (Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) la cual se caracterizó por una emisión de 57,632.67 Gg de CO₂ por conversión de bosques en praderas, actividad mediante la cual se tala el bosque para transformar la tierra en áreas de pastoreo o agrícolas, más 12.97 Gg emitidos por la descomposición de material orgánico en los suelos, suman 57,645.64 Gg. Por el contrario, se cuantificó una fijación de 59,218.65 Gg de CO₂ por crecimiento del bosque, debido al proceso fisiológico de la fotosíntesis de las plantas, por abandono de tierras cultivadas se captó 13,211.08 Gg de CO₂ debido a la regeneración natural de los suelos que han sido abandonados de la actividad agrícola; dando como resultado un balance de 14,784.09 Gg de CO₂ fijados en este sector (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2000).

El cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura es un sector fundamental, porque es a la vez el mayor emisor y fijador de CO₂. En lo general se obtiene un balance positivo, resultando ser un "país sumidero" debido principalmente a la regeneración natural de la cobertura boscosa y al abandono de tierras agrícolas, estimándose el potencial de fijación de este sector en 14,784.09 Gg para el año de referencia 1994. Sin embargo, de continuarse con la situación actual de no implementar ningún tipo de medida de mitigación, la cantidad de emisiones de GEI llegará a ser mayor que la capacidad de fijación actual (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2000).

Especial atención merecen los sectores Agricultura y Energía, los cuales ocupan el segundo y tercer lugar en emisiones de CO₂ equivalente, con emisiones de 4,891.51 Gg y 2,733.99 Gg respectivamente. El sector energía es el segundo en orden de importancia con relación a la emisión de GEI, principalmente CO₂ proveniente en su mayor parte del subsector industrial energética y transporte; debido a que la producción y consumo de energía en Nicaragua es

altamente dependiente de fuentes fósiles, petróleo y sus derivados. Las emisiones de la industria de la manufactura y construcción se deben a la utilización de Fuel Oil y Diesel para su funcionamiento. El sector Procesos Industriales, la producción de cemento es la que emite la mayor cantidad de GEIs, principalmente CO₂ para un total de 354.84 Gg (PNUD-NIC/98/G31/MARENA 2000).

2.1.2 Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto (PK) negociado en Diciembre de 1997 durante la tercer conferencia de las partes (COP-3) de la CMCC, es el mas importante hasta la fecha, incluye límites legalmente vinculantes para las emisiones de GEIs de los países industrializados (países incluidos en el Anexo B del Protocolo). Aunque los límites para cada país son diferentes, el protocolo compromete a los países industrializados a reducir, en conjunto, las emisiones de GEIs en 5% bajo de los niveles del 1990 (el año base), durante el periodo comprendido entre los años 2008 a 2012 (Brown 1998). El compromiso de EE UU es de 7% por debajo de los niveles de 1990, Japón el 6%, la Unión Europea tiene un compromiso general del 8%, pero este es un promedio entre los miembros del grupo. El compromiso de Rusia es la estabilización de las emisiones al nivel de 1990. El protocolo entrará en vigor cuando sea ratificado por 55 países, incluidos los países responsables de al menos el 55% de las emisiones globales de dióxido de carbono en 1990, que forman parte del grupo de países industrializados (Johansson y Karlsson 2000).

El PK establece tres mecanismos para que los países comprometidos a reducir sus emisiones cumplan con sus compromisos, estos mecanismos son conocidos como Implementación conjunta (IC), Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y comercio de emisiones (CE).

El concepto de Implementación Conjunta (IC) se refiere a la realización de acuerdos por medio de los cuales una entidad o un país cumple parcialmente sus compromisos de reducir los niveles de emisión de GEIs, compensando algunas de sus emisiones domésticas con proyectos que financian en otro país (Beaumont 1999). El artículo 12 define el Mecanismo de Desarrollo Limpio cuyo propósito es asistir a los países no Anexo I para alcanzar el desarrollo sostenible, al mismo tiempo asistir a los países Anexo I para lograr reducir sus emisiones cuantificadas y cumplir con sus compromisos en el artículo 3 (Brown 1999).

El PK, estableció el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para permitir a los países industrializados financiar, a través de un mercado internacional de reducción de emisiones certificadas (CRE), a proyectos en países en vías de desarrollo recibiendo así crédito. Los CERs pueden ser usados por los países desarrollados para cumplir con sus obligaciones de reducciones (UNFCCC 1998). Cualquiera de las partes del Anexo 1 que ha rectificado el protocolo de Kyoto pueden hacer uso de los mecanismos para ayudar a alcanzar sus metas de reducción de emisiones. Sin embargo las partes deben proveer evidencias que el uso de los mecanismos es complementario a las acciones domesticas en el cual deben constituir un significativo elemento de sus esfuerzos por cumplir con sus compromisos.

Cualquier participación en MDL es totalmente voluntaria por parte de los países en desarrollo. Según Stewart y Sands (2000) hay cuatro importantes beneficios que el sistema de comercio del MDL aportará a estos países:

- El comercio del MDL pudiera canalizar cantidades potencialmente elevadas de capital y tecnología hacia los países en desarrollo que les permita modernizar las plantas, equipos y que los desarrollen económicamente. En este contexto, sería esencial la participación de entidades privadas en un programa de comercio e inversiones, como se establece específicamente en el Artículo 12 de Protocolo. El sector privado es en la actualidad responsable de más del 85% de las inversiones directas externas en los países en desarrollo. La cantidad de asistencia bilateral y multilateral desde los países desarrollados hacia los países en desarrollo es limitada y no puede esperarse que se incremente significativamente en el futuro cercano. La utilización de grandes cantidades de inversión nueva y adicional del sector privado a través de un sistema de comercio del MDL sería una importante contribución a la modernización económica y al crecimiento en los países en desarrollo.
- Los proyectos en los países en desarrollo que limiten emisiones de GEIs pudieran aportar beneficios sociales y ambientales. Por ejemplo, los proyectos que elevan la eficiencia energética o que se desplazan hacia combustibles más limpios reducirán las emisiones de dióxido de azufre, partículas y óxidos de nitrógeno, lo que resulta beneficioso significativos para la salud de la población local.

- Se generarían grandes ahorros adicionales en los costos por encima de los que pudieran lograrse utilizando un arreglo que permitiera sólo el comercio entre los países incluidos en el Anexo I. Muchos países en desarrollo carecen de tecnología moderna y utilizan la energía de forma ineficiente. Como resultado a menudo pueden obtenerse grandes limitaciones en las emisiones con menor costo al invertir en la modernización y en nuevas tecnologías en países en desarrollo. El comercio del MDL reducirá aún más los costos para cumplir las obligaciones de limitación de emisiones de los países incluidos en el Anexo I y hace, por tanto, más probable que estos países sean capaces de cumplir con sus obligaciones.
- Los créditos del MDL para la reducción de emisiones contra las obligaciones de limitación de emisiones de los países incluidos en el Anexo I durante el primer periodo de compromiso pueden ser obtenidos por los países incluidos en el Anexo I desde comienzos del año 2000. Este hecho aportará incentivos para que los países incluidos en el Anexo I realicen inversiones tempranas dirigidas hacia la reducción de emisiones de GEI a través de los MDL, produciendo efectivamente beneficios económicos y ambientales adicionales para los países en desarrollo y permitiendo posiblemente mayores reducciones.

2.1.3 Opciones de mitigación al cambio climático

Las actividades de secuestro, almacenamiento o reducción de emisiones de carbono asociadas con los cambios de uso del suelo y las actividades antrópicas de GEI_s, permitiendo por lo tanto mitigar los efectos potenciales del calentamiento global subsecuente (Beaumont 1999).

El cambio de uso del suelo y las actividades de manejo forestal han sido históricamente y son actualmente fuentes de emisión de carbono (como dióxido de carbono) a la atmósfera. Por otro lado existe un potencial por parte de estas actividades (LUCF) para mitigar las emisiones de carbono ya sea por 1) emisiones evitadas o conservación de los stock de carbono existente sobre la tierra (reducir la deforestación o mejorar practicas de extracción forestal); 2) secuestro de carbono o expandir los depósitos de carbono en los ecosistemas forestales por el incremento de áreas o densidad de carbono en los bosques (en plantaciones, sistemas agroforestales, regeneración natural y manejo del suelo) e incrementar el periodo de

secuestro en productos maderables durables y 3) sustituir el uso de energía intensiva y productos derivados del cemento (biocombustible y materiales de construcción) (Brown et al., 1996).

El reconocimiento que las actividades de LUCF pueden ser fuentes y captura de carbono conlleva a su inclusión en el Protocolo de Kyoto. Hay cinco artículos en el Protocolo que hacen referencia a las actividades de LUCF, dos de los cuales se refieren a nivel de proyectos y comercio de emisiones (Artículo 6 y 12). El artículo 6 se relaciona con el comercio de emisiones en el cual los países del Anexo I pueden transferir o adquirir de cualquier otro país Anexo I unidades de reducción de emisiones como resultado de proyectos orientados en reducir las emisiones antropogénicas en cualquier sector de la economía. Existen dos medidas adicionales claves en este artículo: cualquier unidad de emisión reducida de un proyecto debe ser adicional y que la adquisición de reducción de emisiones debe ser complementario a las acciones domésticas (Brown 1999).

Actualmente se reconoce que las masas forestales juegan un importante papel en los ciclos biogeoquímicos a nivel de la biosfera y en particular en el ciclo global del carbono (Dixon *et al* 1994). Dicho ciclo afecta la concentración atmosférica del dióxido de carbono, que se considera un gas clave en el efecto invernadero. La concentración creciente de CO₂ en la atmósfera contribuye al calentamiento del planeta y, por consiguiente, al cambio climático (Brown citado por Dixon *et al* 1994). Los bosques son importante para el ciclo global del carbono porque almacenan grandes cantidades de CO₂ en la vegetación y el suelo, a la vez que lo intercambian con la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis y respiración. El mantenimiento de reservas de CO₂ en los bosques se ha convertido en un servicio ambiental reconocido a escala global, que puede tener un valor económico considerable para países en vías de desarrollo (Ramírez *et al.*, 1999).

2.1.3.1 Importancia de los bosques en la fijación de CO₂

Aunque los bosques no representan una medida de mitigación a largo plazo estos han recibido considerable atención. Los optimistas estiman que la contribución al sector forestal a través del secuestro y prácticas de conservación del carbono para el año 2050 será del 11-15% de la emisión global por la quema de fósiles en el mismo periodo (Houghton *et al.*, 1992 citado por Chandra y Price 1999).

Numerosos estudios realizados en los últimos 10 años han discutido como las medidas tomadas sobre los bosques pudieran o deberían contribuir a los esfuerzos para mitigar el cambio climático. Gran parte de estas investigaciones respaldan la conclusión de que los bosques pueden ser una estrategia para mitigar tanto el cambio climático potencial como para producir beneficios adicionales socioeconómicos y sobre el medio ambiente que acompañarían a la reducción de los ritmos de deforestación y a la expansión de los programas de reforestación en tierras apropiadas (Gómez y Echeverri 2000). Un cierto número de actividades forestales pueden limitar el cambio climático. Cuatro categorías principales han sido identificadas:

- Secuestro de carbono a través del incremento de las reservas de los ecosistemas por ejemplo aforestación y reforestación, desarrollo de agroforestería, recubrimiento de tierras degradadas o enriqueciendo bosques degradados.
- Reduciendo emisiones conservando las reservas existentes en los ecosistemas, por ejemplo evitando la deforestación, previniendo los fuegos o ataques de plagas e introduciendo técnicas de manejo forestales mejoradas tales como aquellas que producen poco impacto.
- Incrementando y conservando reservas en productos forestales.
- Desarrollando combustibles sustitutos y materiales por el uso de biomasa como combustible o materiales en vez de otros en el cual su producción producen grandes cantidades de GEI (Locatelli 2002).

Los proyectos orientados a la conservación de bosques no ayudan a reducir los niveles de GEI en la atmósfera. Mientras la conservación de las reservas de carbono son neutrales en relación al cambio climático es ambientalmente beneficioso comparado a su degradación. Para evaluar sus beneficios es esencial ser capaz de evaluar la situación que hubiera ocurrido sin la medida de conservación. Este punto, escenario de la línea base, es el factor de mayor discusión sobre la inclusión de los proyectos forestales en las estrategias para controlar el cambio climático (Locatelli 2002). En este contexto, el establecimiento de bosques o atraso de la deforestación por algún periodo de tiempo puede ser una herramienta efectiva para

controlar el cambio climático y además debería ser tomado en cuenta bajo el Protocolo de Kyoto (Meinshausen y Hare 2000).

En Costa Rica, estudios de fijación de carbono realizados en bosques han dado los siguientes resultados: en bosque tropical húmedo hasta 16,7 t C ha⁻¹ año (Carranza *et al.* 1996) y en bosque húmedo premontano 5,1 tC ha⁻¹ año⁻¹. Segura (1997) encontró en bosques de altura, 57 tC ha⁻¹ almacenado en *Quercus costarricense* con manejo silvicultural, con una tasa de fijación anual de 1,87 tC ha⁻¹ año⁻¹ , considerando todas las especies. Según Segura (1999) algunas especies forestales en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica tienen una tasa de fijación anual de carbono entre 1,9 y 2,6 tC ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo de la gravedad específica y de la fijación de carbono de las especies, la cual osciló entre 0,43 y 0,47.

En Costa Rica casi 850, 000 ha de bosques fueron cortadas entre 1966 y 1984, de las cuales solo el 35% fueron convertidas a usos posiblemente sostenibles y productivos, sean agrícolas o agropecuarios. Aproximadamente el 65% de esa área mostraba una vocación definida para la producción y/o conservación forestal (Solórzano citado por Ramírez y Gómez 1999).

Los bosques del mundo contienen un estimado de 340 Gt de carbono en la vegetación y el suelo y cerca del 62% del stock se encuentra en la vegetación de bosques tropicales. Sin embargo los bosque tropicales también representan una fuente de emisión de aproximadamente 1.6±0.5 Gt por año, causado principalmente por la deforestación y degradación de los bosques (Brown *et al.*, 1996).

2.1.3.2 Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de CO₂

El prominente rol de los bosques y sistemas agroforestales en el flujo y captura de carbono en la biosfera terrestre ha incrementado el interés global en estos usos del suelo como opción para estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero (Dixon 1995).

Las masas forestales ubicadas en los sistemas agroforestales pueden llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios y si la madera de los árboles es procesada, un 50% de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición (Dixon 1995; Stella 1999 citados por Ávila, 2000).

La cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de los diferentes SAF oscila normalmente de 3 a 25 tC ha⁻¹ (Kurstel y Burschel 1993 citado por Avila 2000). El potencial para el almacenamiento de carbono en SAF, incluyendo el carbono del suelo, oscilan entre 12 y 228 tC ha⁻¹ (Dixon *et al* 1995), siendo el potencial para el almacenamiento de carbono mayor en el trópico húmedo.

En algunos sistemas agroforestales se han estimado tasas de fijación de carbono desde 0,1 a 3,6 tC ha⁻¹. El almacenamiento de CO₂ depende de la especie arbórea y densidad de siembra, características del sitio, factores climáticos y del manejo silvicultural al que se vea sometido (Segura 1999; Cubero y Rojas 1999 citados por Ávila 2000).

Por otra parte en la literatura, se informa que los cafetos pueden tener una tasa neta de fijación diaria de CO₂ de 420 kg/m² de área foliar (Fournier 1988 citado por Fournier 1996). Si en promedio una hectárea de café tiene una área foliar de 15 m², es posible obtener diariamente una fijación de 63,00 Kg y si se le asigna un valor similar a los árboles asociados a los cafetos, este valor sería de unos 126 kg diarios de CO₂. Si esta cifra se reduce mediante el equivalente de carbono (27,30% del peso de CO₂) se podría calcular que en un periodo anual con 200 días efectivos de fotosíntesis, un agro ecosistemas cafetero puede fijar 6.9 tC ha⁻¹ (Fournier 1996).

Por otro lado los sistemas agroforestales pueden retener 35% del stock de carbono original del bosque, mientras que áreas agrícolas y pasturas pueden mantener solamente el 12%. A través del establecimiento de árboles en pasturas degradadas, áreas de cultivos y pastizales el tiempo promedio del stock de carbono en la vegetación incrementa de 50 tC ha⁻¹ en 20-25 años, mientras que en el suelo incrementan en 7 tC ha⁻¹ (Palm *et al.*, 2000 citado por IPCC 2000).

2.2 Valoración económica de los servicios ambientales

El medio ambiente puede tener diferentes tipos de valores para diferentes personas y colectivos. Un cambio en el medio ambiente puede afectar el bienestar de las personas ya que para ellas el bien ambiental tiene un valor ya que es generador de bienestar (Azqueta 1994). Según Azqueta (1994) lo que da valor al medio ambiente son dos líneas de pensamiento:

- La naturaleza tiene un valor intrínscico , per-se (no se necesita nada y de nadie que se le otorgue).
- Lo que da valor al medio ambiente, es su relación con el ser humano, y tiene valor en la medida en que se lo dan las personas.

Rideout y Hesseln (1997) proponen este tipo de clasificación, como antropocéntrica la cual parte de la suposición de que la naturaleza es valiosa en tanto sea útil para el ser humano y egocéntrica que se apoya en el principio de que el valor de la naturaleza es ajena a los intereses del ser humano.

La primera gran distinción que puede establecerse es aquella que separa los valores de uso (cuando una persona utiliza un bien y se ve afectada por cualquier cambio que ocurra respecto al mismo) y de no uso (valor que un individuo asocia a un activo ambiental que no esta utilizando).

La valoración ambiental puede definirse formalmente como un conjunto de técnicas y métodos que permiten medir las expectativas de beneficios y costes derivados de algunas de las siguientes acciones: a) uso de un activo ambiental; b) realización de una mejora ambiental y c) generación de un daño ambiental (Romero 1997).

Debido a las característica de estos servicios, las personas que se benefician de ellos muchas veces no son las mismas que los brindan (Bustamante y Stürzinger 1999). A nivel internacional se han generado muchas discusiones sobre la valoración de los servicios ambientales y la concientización de la sociedad para retribuir económicamente y compensar a los propietarios de los ecosistemas que aporta servicios ambientales (Gregerson *et al.* citados por Ávila 2000).

Al darle un valor monetario a los servicios ambientales, que el que "contamine pague y el que conserve gane", se establecen los castigos e incentivos para conservar el entorno natural. La internalización de estos beneficios está basada en el principio de "El que contamina paga" expresado en otra forma sería, "El que se beneficia paga". Con base a este principio se está implementando en algunos países ,últimamente, mecanismo de "pagos por servicios

ambientales" de tal forma que se garantice la sostenibilidad de la generación de los mismo en el tiempo (Herrador 1999).

El principal problema que surge a la hora de diseñar métodos que permitan valorar mejoras y daños ambientales reside en la no existencia de mercados para dichas mejoras o daños. Los problemas derivados de la ausencia de mercado reales para los daños o beneficios ambientales pueden resolverse siguiendo dos caminos alternativos: el primero consiste en construir artificialmente un mercado que subrogue al inexistente mercado para el bien o el mal ambiental; el otro camino sería de un enfoque de tipo indirecto el cual pretende estimar el valor del activo ambiental a través de comportamientos que se revelan en mercados reales (Romero 1997).

Muchos de los aspectos del ambiente no tienen precios de mercados establecidos. Aspectos tales como el aire limpio, las vistas panorámicas y los alrededores agradables son bienes públicos, sin embargo raramente se disponen para ellos de precios directos en el mercado. En muchos casos es posible estimar un valor implícito para un bien o servicio ambiental por medio del precio pagado por otro bien que esta en el mercado. A pesar que hay limitaciones a estas técnicas, ellas pueden, en ciertos casos, ser muy útiles para valorar una gama amplia de cualidades ambientales. Los métodos de valoración directa utilizan precios de mercado y /o sombra, algunos de estos son: cambios de productividad, costos de reemplazo, costo de sustitución, pérdida de ingresos, costo efectividad, costos de oportunidad y costos preventivos (Dixon *et al* 1994).

El método costo de oportunidad, se basa en el concepto de que el costo de utilizar un recursos para otros propósitos, usualmente sin precio o fuera del mercado (por ejemplo, preservación de la tierra para un parque nacional en vez de cosechar sus árboles para aprovechar la madera), puede aproximarse utilizando el ingreso dejado de percibir por otros usos del recurso. Más que tratar de medir directamente los beneficios logrados por la preservación de estos recursos lo que se trata de hacer es cuantificar cuánto ingreso debe sacrificarse para satisfacer los propósitos de preservación. El enfoque de costo de oportunidad es, pues, una manera de medir el costo de preservación (Dixon *et al.* 1994)

El primer paso del proceso es un análisis convencional de beneficio-costos del proyecto propuesto. Si el análisis tradicional del proyecto muestra que no es económico, el análisis no

necesita continuar. Sin embargo, si el proyecto propuesto tiene beneficios netos positivos, éstos deberían confrontarse con los beneficios del proyecto alternativo de preservación que pueden ser medidos fácilmente. La técnica es relativamente rápida y directa, y provee información valiosa a los tomadores de decisiones y al público (Dixon *et al.* 1994).

2.3 Mercado de Gases de efecto invernadero (GEIs) y valoración económica del almacenamiento de Carbono

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

Un mercado de emisiones de GEI_s ha comenzado a surgir en los últimos cinco años. Este mercado es manejado en gran parte por negociaciones bajo el tratado internacional del cambio climático global. El mercado ha sido conformado por programas exitosos de comercio de emisiones establecidos en décadas pasadas, tales como el comercio de SO₂ incorporado en los EEUU (Rosenweig 2002).

El incentivo que dio origen a la idea de establecer mecanismos de mitigación de carácter internacional entre países industrializados y países en desarrollo (AIC MDL), fue la ventaja de estos últimos en los costos de reducción de emisiones. Precisamente, este margen de diferencia es el que ofrece a la comunidad internacional la oportunidad de reducir los costos globales de mitigación (Beaumont 1999). El desarrollo de un sistema de comercio de emisiones entre los países incluidos en el Anexo I, como se establece en el Artículo 17 del Protocolo, generaría grandes ahorros en los costos. Estos ahorros ayudarían a asegurar que los países incluidos en el Anexo I cumplieran sus obligaciones en la limitación de emisiones bajo el Protocolo y facilitarían nuevos acuerdos de reducciones luego que se cumpliera el primer periodo de compromisos. Además, como se reconoce en el Artículo 12 del Protocolo de Kyoto, hay poderosas razones para incluir a los países en desarrollo, que no están sujetos a obligaciones de limitación de emisiones, en un programa de comercio del MDL conjuntamente con los países incluidos en el Anexo I que le permitiría a los países industrializados a cumplir

una parte de sus obligaciones de limitación de emisiones al invertir en proyectos de países en desarrollo que limiten las emisiones o desarrollen sumideros (Stewart y Sands 2000).

El valor por créditos de carbono son muy bajos del costo real (Chomitz 1998). El rango es muy amplio de US\$ 1-38 por tC, aunque los valores comunes están entre US\$ 2.5 y 5 (Robert 2001).

El almacenamiento de carbono fue uno de los primeros servicios ambientales en ser negociado internacionalmente entre Costa Rica y Noruega, obteniendo en dicha negociación un precio de \$10 t C, mientras que a nivel nacional se han negociado y desarrollado proyectos por medio de la Oficina de Implementación Conjunta, ECOLAND; CNFL; P.A.P.; EARTH; KLINK; utilizando el precio de \$5 por tonelada de carbono (OCIC 1998 citado por Ávila 2000).

En enero de 2000, el Banco Mundial lanzó su Fondo Prototipo de Carbono (PCF, por sus siglas en inglés) como mecanismo comercial disponible dentro del mercado de equilibrio global del carbono. El fondo está cubierto a \$ 150 millones de dólares US y esta programado que termine para el 2012. El PFC no existe sin controversias y hay muchos que cuestionan su estructura e impacto potencial. En la actualidad, el PCF ha recibido compromisos de seis naciones y quince compañías. Veinte países han expresado interés en propiciar proyectos de PCF y se buscan co-inversionistas adicionales del sector privado. Este fondo es un ejemplo de participación pública-privada, creada para enfrentar las necesidades financieras del mercado de carbono (Seth y Kasius 2000).

3. METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de estudio

La comarca Yassica Sur pertenece al municipio de San Ramón, departamento de Matagalpa. Se ubica a 10 Km de la cabecera departamental de Matagalpa con coordenadas 85°50'00" Latitud Norte y 12°55'30" Longitud Oeste. El municipio de San Ramón tiene una extensión territorial de 611 Km² ; limita al Norte con el municipio de El Tuma - La Dalia, al Sur con el municipio de Muy Muy, al Este con el municipio de Matiguás y al Oeste con el municipio de Matagalpa. Tiene 16 comarcas rurales con más de 100 comunidades (Lira y Ruiz 1998).

En Yassica Sur se localizan los mejores suelos (tierra negra), donde se han establecido cultivos perennes, semiperenne (café y musácea) (INRA FAO 1997). Los suelos se caracterizan por tener una textura franco arcillosa, franco limoso y arcillo limoso; estos van de color rojizo claro a oscuro dependiendo del grado de oxidación del hierro y su contenido de materia orgánica. Los tipos de suelo predominante son alfisoles y mollisoles (Aragón y Arauz 2000). La profundidad va de 70 a 100 cm y el contenido de materia orgánica de 3 a 8% (Vallejos y Velásquez 1998).

El clima es muy variado, encontrándose el trópico húmedo en las partes más altas y boscosas de Yassica Sur (FAO-INRA citado por Lira y Ruiz 1998). Presenta excelentes condiciones para el cultivo del café y otros cultivos como granos básicos, hortalizas de clima fresco, aunque no es recomendable por las severas restricciones topográfica (Marín citado por Lira y Ruiz 1998).

Las precipitaciones oscilan de 1,500 a 1,700 mm anuales, de acuerdo a las características ambientales es la mejor zona de producción cafetalera; la temperatura máxima es 35 ° C la que se presenta en las partes más bajas durante los meses de Marzo. La humedad relativa en el período lluvioso es mayor de 80%. Los meses de mayor intensidad de lluvia son Septiembre y Octubre (Aragón y Arauz 2000).

3.2 Esquema general de la metodología

El cuadro 1 y la figura 1, presenta el esquema y la estructura general de la metodología, respectivamente, empleada para alcanzar los objetivos propuestos de este estudio.

Cuadro 1. Esquema general de la metodología para cuantificar y valorar el servicio ambiental, almacenamiento de carbono en sistemas de producción de café en la Comarca Yassica Sur, Nicaragua.

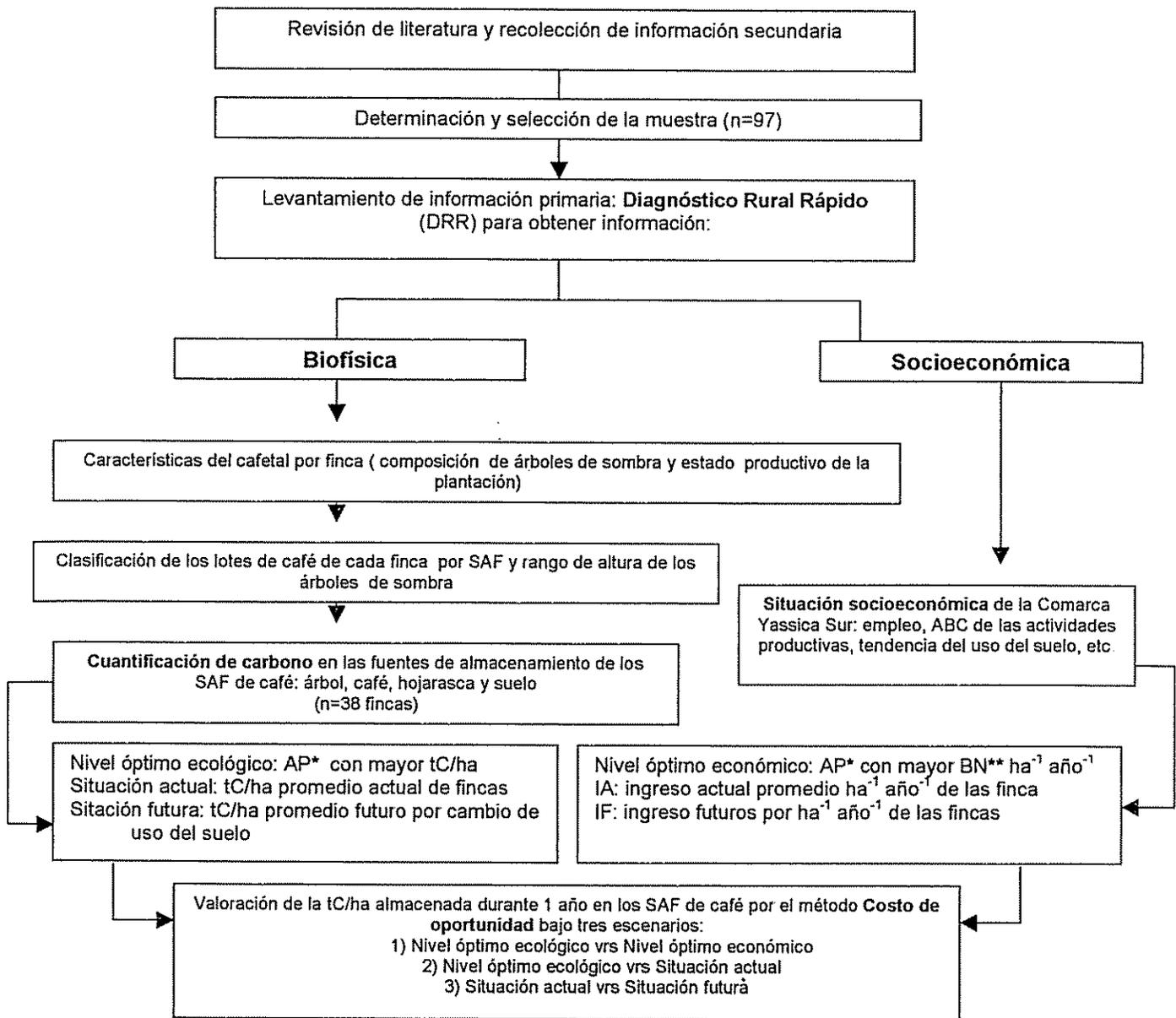
- Revisión de literatura y recolección de información secundaria
- Determinación y selección de la muestra de productores
- Levantamiento de información primaria: Diagnóstico Rural Rápido (entrevista semi-estructurada a productores cafetaleros) para obtener:
 - Información socioeconómica:

Panorama general de la zona
Análisis Costos-Beneficios de las actividades productivas dentro de la zona
Tendencias del cambio de uso de la tierra
 - Información biofísica:

Características de los lotes de café de cada finca para:
Clasificar los lotes de café por tipo de SAF de café (CJSD, CPSD, CPI, CPEM, CPAB)* y rango de altura de los árboles (<5 m, 5-10 m, >10m)
- Selección de lotes para realizar las mediciones en las fuentes: árboles, café, hojarasca y suelo.
- Establecimiento de parcelas de muestreo y mediciones en las fuentes de almacenamiento
- Desarrollo de ecuaciones alométricas de biomasa aérea total para árboles de sombra y plantas de café con el programa estadístico SAS SYSTEMS
- Cuantificación de biomasa y carbono en las fuentes: árboles de sombra, café, suelo y hojarasca
- Análisis estadístico del carbono total y por fuente de almacenamiento por SAF y rango de altura de los árboles de sombra. (Pruebas de DUNCAN).
- Valoración del carbono almacenado en los SAF, a través del método costo de oportunidad considerando tres escenarios:
 - Nivel óptimo ecológico vrs Nivel óptimo económico
 - Nivel óptimo ecológico vrs Situación actual
 - Situación actual vrs Situación futura
- Comparación con otros estudios y precios del mercado internacionales de carbono.

* CJSD: Café Joven con Sombra Diversificada, CPSD: Café Productiva con Sombra Diversificada, CPI: Café Productivo con Inga spp., CPEM: Café Productivo con Especies Maderables, CPAB: Café Productivo en Abandono.

Figura 1. Estructura general de la metodología



Revisión de literatura y recopilación de información secundaria

Se visitaron instituciones, oficina de proyectos y organizaciones que trabajan dentro y fuera del Municipio de San Ramón, con el fin de obtener información secundaria de la zona y determinar el número de productores cafetaleros habitantes dentro de la Comarca Yassica Sur. La mayor parte de las entidades visitadas brindan servicios de capacitación, asistencia técnica y/o

AP*: Actividades Productivas; BN**: Beneficios Netos IA: Ingreso Actual Promedio; IF: Ingreso Futuro promedio de las fincas por un cambio de uso de suelo; ABC: Análisis Beneficio Costo.

créditos a los productores cafetaleros como la UCA- San Ramón, la UNAG, INTA, UNICAFE, CATIE-MIP, entre otras.

3.2.2 Determinación y selección de la muestra del estudio

Una lista de 482 productores cafetaleros fue determinada, de los cuales fueron seleccionados aquellos productores propietarios de áreas cafetaleras mayores o iguales a 0.7 ha (1 mz). 292 productores fueron seleccionados, los cuales representaron la población total del estudio. No fue posible determinar el número real de productores cafetaleros dentro de la comarca, debido a que ninguna institución visitada contaban con tal información. La mayor parte de la población encontrada son pequeños productores (1-14 ha) puesto que los medianos (>14-50 ha) y grandes productores (>50 ha) por lo general no trabajan con este tipo de instituciones ya sea por que estas entidades dan prioridad a los pequeños productores o por que a ellos (medianos y grandes) no les interesa trabajar con este tipo de instituciones. Aunque estos productores no se encontraban en la lista original se obtuvo información sobre ellos, por fuentes adicionales, los cuales fueron incorporados a la población total.

De la población total, se seleccionó una muestra representativa del 33% ($n = 97$), la cual fue determinada de manera arbitraria tomando en cuenta el recurso tiempo y financiero disponible. Una vez determinada la muestra (97), las fincas se agruparon en estrato de acuerdo al área del cafetal, para realizar, posteriormente, un muestreo aleatorio estratificado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de entrevistas (DRR) a los productores cafetaleros de la comarca Yassica Sur realizar, de acuerdo al tamaño de cada estrato.

Estratos (ha)	Nh	Nh/N	n(Nh/N)
0.7-3.5	225	0.77	75
>3.5 – 7	27	0.09	9
>7- 35	19	0.06	6
>35	21	0.07	7
Total	N = 292	1	n = 97

Nh: Población del estrato h; Nh/N: Proporción del tamaño de estrato, Nh: muestra del estrato h proporcional al tamaño de la población del estrato h; n: total de muestra

3.2.3 Levantamiento de información primaria: Diagnóstico Rural Rápido (DRR)

La fase de campo, sin tomar en cuenta la selección de la muestra, consistió en dos partes, la primera de esta fue el levantamiento de información primaria a través del un Diagnostico Rural Rápido (DRR). El DRR permitió conocer parte de la situación socioeconómica de la comarca y las características biofísicas de los lotes de café dentro de cada finca. Posteriormente se clasifico cada lote cafetalero por tipo de SAF de café y rango de altura de los árboles de sombra. Una vez clasificados los lotes por SAF y rangos de alturas se seleccionaron, aleatoriamente, aquellos lotes en los cuales se realizarían las mediciones para cuantificar carbono en las diferentes fuentes de almacenamiento (árbol, café, hojarasca y suelo) por SAF, la cual consistió en la segunda fase.

Antes de realizar el DRR, se realizó una prueba piloto de las encuestas, para comprobar la validez de la información recolectada y determinar la posibilidad de ajustes el formato de la entrevista original.

3.2.3.1 Información socioeconómica

El DRR, permitió conocer algunos aspectos socioeconómicos de los productores cafetaleros dentro de la comarca tales como: actividades productivas, empleo, costos totales operativos (CO), ingresos brutos (IB) y beneficios netos (BN) de los diferentes cultivos dentro de cada finca las cuales fueron determinadas haciendo uso de las ecuaciones 1,2,3, respectivamente. El CO por ha por año de todas las actividades productivas, se determinó tomando los costos variables tales como: mano de obra, transporte, cosecha, compra de insumos, costo de beneficiado en el caso de la producción de café oro y orgánico, etc. No se tomaron en cuenta los costos fijos, como el valor de la tierra. También se conoció sobre las tendencias del cambio de uso de la tierra. Por otro lado, a través del DRR se determinó la actividad productiva más rentable, la cual representa el nivel óptimo económico.

$$CO_i = \sum C V_i \quad [1]$$

Donde:

CO_i: costo total operativo de la actividad productiva i; $\sum CV$: sumatoria de los costos variables operativos que incurre la actividad productiva i .

$$IB_i = Q_j \times P_j \quad [2]$$

Donde

IB_i: ingresos brutos de la actividad i; Q_j: cantidad vendida del producto j; P_j: precio del producto j

$$BN_j = IB_i - CO_i \quad [3]$$

Donde

BN_j: beneficios netos de la actividad productiva i; IB_i: ingresos brutos de la actividad productiva i; CO_i: costo total operativo de la actividad i.

3.2.3.2 Información biofísica

3.2.3.2.1 Clasificación de fincas y lotes de café por sistema agroforestal

Las características biofísica de los lotes de café en lo que respecta a la composición y altura promedio de los árboles de sombra y estado productivo de la plantación de café (productiva si es mayor o igual a 3 años; joven o no productivo si es menor de 3 años) identificados durante el DRR, permitió clasificar, a priori, los SAF de café en: Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD); Café Productivo Sombra Diversificada (CPSD); Café Productivo con *Inga spp.* (CPI), Café Productivo con Especies Maderables (CPEM) y Café Productivo en Abandono (CPAB). Algunas fincas tenían varios lotes de café con características diferentes y estos eran clasificados en diferente SAF. Una vez clasificados los lotes, por tipos de SAF, la variabilidad encontrada en la altura promedio de los árboles de sombra fue considerable, por lo que se procedió a realizar una estratificación de los SAF por rangos de altura (< 5 m, 5-10 m, >10 m) para tratar de disminuir la variabilidad producida por este factor.

Es importante mencionar que durante la planificación del estudio, los sistemas CPAB no fueron considerados, puesto que no se tenía conocimiento acerca de ellos, sin embargo fueron incluidos al identificar 10 fincas con estas características durante el DRR. Estos fueron tomados en cuenta por su importancia en términos de almacenamiento de carbono; posible tendencia del cultivo del café ante la crisis actual del sector cafetalero y comparación con los otros sistemas cafetaleros. El número de fincas y lotes encontrados por sistemas de café y rangos de altura (m) de los árboles de sombra, en el estudio se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Número de lotes y fincas encontrados por sistema agroforestal y rango de altura en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.

Tipos de Sistemas Agroforestales de café	Altura total de los árboles de sombra					
	< 5 m		5-10 m		>10 m	
	Lote	Finca	Lote	Finca	Lote	Finca
Café Joven con sombra diversificada (CJSD)	44	32	14	14	10	10
Café Productivo con sombra diversificada (CPSD)	13	13	44	44	43	43
Café Productivo con Inga spp (CPI)	2	3	8	6	3	3
Café Productivo con árboles maderables (CPEM)					14	13
Café Productivo en abandono (CPAB)					10	10

Lote: número de lotes por sistema de café y rango de altura ; Finca: número de finca por sistemas o rangos de altura.

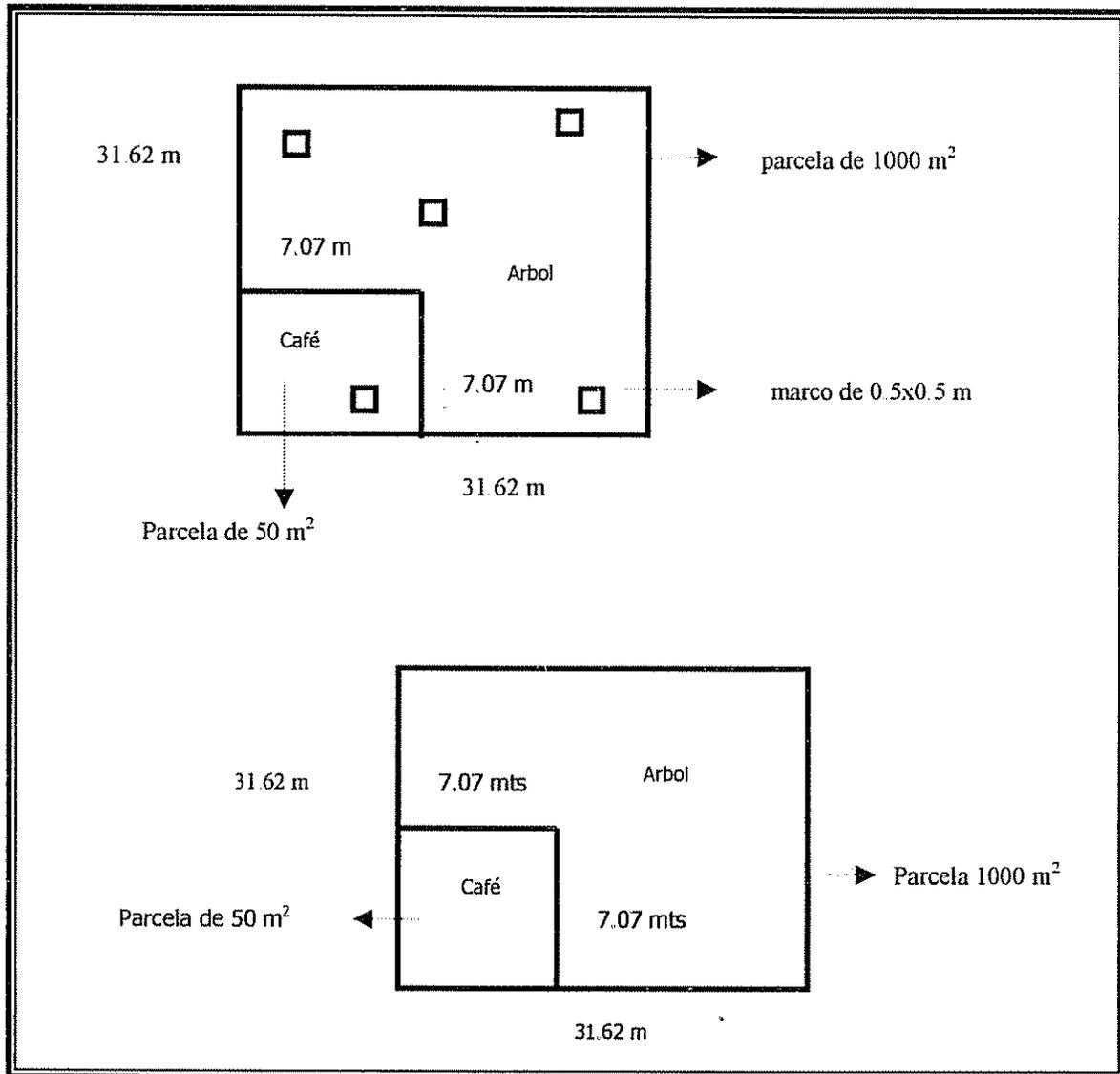
Fuente: Datos propios

3.2.3.2.2 Selección de lotes de café y establecimiento de las parcelas de muestreo

El número de fincas, en las cuales se realizaron las mediciones se determinó con base en los recursos financieros y el tiempo disponibles para la realización de esta fase del estudio.

Una vez clasificados todos los lotes de café de cada finca, se seleccionaron aleatoriamente tres lotes, uno por finca, por SAF de café y rangos de altura de los árboles de sombra. En cada lote de café seleccionado se establecieron dos Parcelas Temporales de Muestreo (PTM) de 1000 m² (31.6 m x 31.6 m) cada una para medir los árboles de sombra. En cada una de estas, se establecía una subparcela de 50 m² (7.07 m x 7.07 m) para medir las plantas de café. Se seleccionaba aleatoriamente una de las parcelas de 1000 m² para realizar el muestreo de hojarasca y suelo, a través de un marco de 0.25 m² (0.5m x 0.5 m). La distancia entre las parcelas grandes (1000 m²) dependía del tamaño del lote, esta distancia podía variar de 20 a 50 m. El esquema del establecimiento de las parcelas se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Esquema del establecimiento de las unidades de muestreo en lotes de café donde se establecían dos parcelas de 1000 m², en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.



El punto de referencia para establecer la PTM de 1000 m², se realizó a partir de una planta de café seleccionada al azar. Esta planta se determinó por números aleatorios asignados a las hileras y plantas de café. En los lotes donde se establecieron dos parcelas de 1000 m², la segunda de estas, se hizo a partir de la primera de la siguiente manera: de una de las esquinas de la primera parcela, se midió de 20 a 50 m hacia el centro de la plantación, dependiendo del tamaño del lote, se seleccionó una planta de café al azar, a partir de la cual se establecieron los

límites o bordes de la segunda parcela. Se corrigió la pendiente de las parcelas ubicadas en terrenos con fuerte inclinación.

Las sub parcelas o unidades de muestreo de 50 m², se establecieron sistemáticamente a partir del punto de referencia de las PTM de 1000 m², se estableció la sub parcela de café en donde se midió todas las plantas de café que estuvieran dentro de esta (Figura 2). En los lotes de café donde se establecieron las dos parcelas grandes (1000 m²), se seleccionaba aleatoriamente una de estas, en la cual se realizó el muestreo de hojarasca y suelo.

En algunos lotes seleccionados, no fue posible establecer las dos PTM de 1000 m² ya que la superficie del lote no era suficiente para establecerlas, por lo que se establecía solamente una PTM de 1000 m², una de 50 m² y el muestreo correspondiente para suelo y hojarasca. Luego se procedía a seleccionar otro lote, dentro o fuera de la finca, clasificado en el mismo sistema y rango de altura. El número de unidades de muestreo de suelo y hojarasca, no fue homogéneo en todos los SAF, en cambio para café y árboles se establecieron seis unidades de muestreo, por subgrupo. El número de unidades de muestreo por fuente de almacenamiento de carbono (café, árbol de sombra, hojarasca y suelo) dentro de cada SAF de café y rango de altura, de los árboles de sombra, se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Número de fincas y muestreo realizado por cada fuente de almacenamiento de carbono (café, suelo, árbol y hojarasca) por SAF y rango de altura de los árboles de sombra de la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.

Tipo de sistemas agroforestales (SAF)	Rangos de altura de los árboles de sombra (m)														
	< 5					5-10					>10				
	F	A	C	S	H	F	A	C	S	H	F	A	C	S	H
CJSD	3	6	6	3	3	5	6	6	4	5	5	6	6	5	5
CPSD	3	6	6	2	3	4	6	6	4	4	3	6	6	3	3
CPI	3	6	6	2	3	3	6	6	3	3	3	6	6	3	3
CPEM											3	6	6	3	3
CPAB											3	6	6	3	3

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada; CPI: Café productivo con Inga spp ; CEM: Café con especies maderables; CAB: Café abandonado; F: Número de fincas muestreadas ; A: número de unidades de muestreo en árboles (1000 m²); C: número de unidades de muestreo para café (50 m²) ; S: número de muestreos en suelo; H: número de fincas en las cuales se tomó muestras de hojarasca

Fuente: Datos propios

3.2.3.2.3 Mediciones en las fuentes de almacenamiento de carbono dentro de los SAF: árbol, café, hojarasca y suelo

Árboles de sombra

Se midió el DAP (diámetro (cm) a la altura del pecho) y la altura total (m) a los árboles localizados dentro de las PTM de 1000 m². Las mediciones del DAP se realizaron con cinta diamétrica y la altura de los árboles con un clinómetro SUUNTO.

Plantas de café

Se midió la altura total de las plantas de café y el diámetro del tronco (d) , a 15 cm del suelo, en plantas de café con crecimiento normal, es decir que no habían sido podadas. En caso contrario, se medía el diámetro, a 15 cm del suelo, de todos los troncos de la planta de café. El diámetro del tronco se obtuvo utilizando un pie de rey y la altura total con cinta métrica.

Hojarasca

El muestreo de hojarasca se realizó de forma aleatoria, en una de las dos PTM de 1000 m². Se tomaron cinco submuestras de hojarasca, sin incluir maleza u otro material que no fuera hojarasca, a través de un marco de 0.5x0.5 m. Se mezclaron y pesaron, para obtener el peso fresco total, luego se tomó una muestra de 250 g aproximadamente para enviarlas al laboratorio de la Universidad Centroamérica (UCA), debidamente etiquetadas y selladas en bolsa plástica, para obtener el peso seco de la muestra a 75°C y determinar el porcentaje de materia seca. Las muestras se mantuvieron en el horno de 24 a 72 horas hasta obtener el peso seco constante.

Suelo

El muestreo de suelos consistió en tomar muestras de dos profundidades (0-25 cm y 25-50 cm) para determinar el porcentaje de materia orgánica (%MO) y la densidad aparente del suelo por cada profundidad.

Materia orgánica (%MO): Se seleccionaron aleatoriamente tres de los cinco puntos donde se tomaron muestras de hojarasca; las muestras de suelo se extrajeron con un barreno; se mezclaron las muestras extraídas de igual profundidad para tomar una muestra de 250 g, aproximadamente. Estas fueron debidamente empacadas y etiquetadas en bolsas plásticas para ser enviadas al laboratorio de suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE Turrialba, Costa Rica donde se realizó el análisis de materia orgánica por el método de Walkley y Black.

Densidad aparente: En tres de los puntos donde se tomaron muestras para análisis de MO, se seleccionaron dos puntos para tomar muestras de suelo, por cada profundidad, para realizar análisis de densidad aparente. Las muestras fueron extraídas a través de un cilindro metálico de volumen conocido. Las muestras extraídas de cada profundidad fueron debidamente etiquetadas y empacadas en bolsas plásticas para enviarlas al laboratorio de Suelos del CATIE, Turrialba, Costa Rica y realizar el análisis correspondiente.

3.2.3.2.4 Construcción de modelos alométricos de biomasa aérea de árboles de sombra y café

Modelo de biomasa aérea de árboles de sombra

El desarrollo del modelo alométrico para estimar biomasa aérea de los árboles de sombra se realizó a través del muestreo destructivo de 35 árboles de sombra de cuatro especies (Laurel (*Cordia alliodora*), Guaba roja (*Inga spp.*), Guaba negra (*Inga spp.*) y Nogal (*Juglans jamaicensis*)). Estos fueron seleccionados aleatoriamente dentro de las plantaciones de café, a los cuales se les midió el DAP, antes de cortarlos, y la longitud total una vez tumbados en el suelo. El cuadro 5 muestra el número de árboles destruidos por especie y clase diamétrica.

Cuadro 5. Número de árboles muestreados por especie y clase diamétrica para desarrollar el modelo de biomasa de los árboles de sombra.

Especies de árboles	Clase diamétrica (cm)				Total
	5-10	10-15	15-20	>20	
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	2	3	1	4	10
Nogal (<i>Junglans jamaicensis</i>)	2	2	2	2	8
Guaba roja (<i>Inga spp.</i>)	2	2	2	2	8
Guaba negra (<i>Inga spp.</i>)	2	2	2	3	9
TOTAL	8	9	7	11	35

Fuente: Datos Propios

Los árboles fueron cortados dejando un tocón de 35 cm de longitud, aproximadamente. Una vez tumbados se procedió a cortar y separar por componente vegetal (hojas, tallo, ramas >2 cm y ramas < 2 cm) para pesarlas posteriormente y obtener el peso fresco total por componente. Se tomó una muestra aproximadamente de 250 g para ser enviadas al laboratorio de la Universidad Centroamérica, Managua, Nicaragua; obtener el peso seco y determinar el porcentaje de materia seca por componente haciendo uso de la ecuación 4.

$$\%MS = (PS / PF) \times 100 \quad [4]$$

Donde:

%MS: porcentaje de materia seca por muestra de cada componente; PS: peso seco de la muestra del componente; PF: peso fresco por componente obtenido en el campo.

Con el %MS de la muestra se realizó la conversión para cada componente con el peso fresco total obtenido en el campo. La biomasa por componente vegetal se determinó a través de la ecuación 5 y la biomasa del tocón se determinó a través de la ecuación 6.

$$B = PFC \times (\%MS/100) \quad [5]$$

Donde

B: biomasa (t); PFC: peso fresco total (t); %MS: porcentaje de materia seca

$$B_{tc} = V_{tc} \times GE \quad [6]$$

Donde

B_{tc} : biomasa del tocón (t); V_{tc} : volumen del tocón (m^3); GE: gravedad específica

El volumen del tocón de cada árbol se determinó a través de la ecuación 7. En cambio para determinar la gravedad específica fue necesario tomar muestras de los fustes de los árboles para ser enviadas al laboratorio. El resultado promedio fue 0.52 (Anexo 2a).

$$V_{tc} = \pi/4 \times d^2 \times L \quad [7]$$

Donde

V_{tc} : volumen del tocón (m^3); d^2 : diámetro medido en el centro? (m^2); L: longitud o largo del tocón (m).

La biomasa aérea total por árbol resultó de la sumatoria de la biomasa de todos los componentes (8).

$$BT = B_R + B_H + B_{Tr} + B_T \quad [8]$$

Donde

BT: biomasa aérea total (t); B_R : biomasa en ramas (t); B_H : biomasa en hojas (t); B_{Tr} : biomasa del tallo o tronco; B_T : biomasa del tocón.

Con la biomasa total, DAP y altura total por árbol se probaron diferentes modelos, a través del programa Statistical Analysis System (SAS), entre los cuales se destacan el lineal, exponencial, logarítmico, semi logarítmico y cuadráticos. La biomasa aérea represento la variable dependiente, mientras que el DAP y altura total las variables independientes. Los criterios empleados para seleccionar el modelo de mejor ajuste de los datos fueron:

Prueba F (Análisis de varianza)

Coefficiente de determinación (R^2)

Cuadrado Medio del Error

Lógica biológica del modelo

Prueba de normalidad, mediante el análisis gráfico de los residuos

El modelo que mejor explicó la variabilidad de la biomasa aérea de los árboles de sombra, de mejor ajuste, es logarítmico en función del DAP (Cuadro 12).

Modelo de biomasa aérea en café

El procedimiento para desarrollar el modelo para estimar la biomasa aérea del café fue similar al de los árboles de sombra, con la diferencia que se destruyeron 102 matas de café a las cuales se les midió el diámetro del tronco a los 15 cm del suelo y altura total de la planta. Una vez realizadas las mediciones, se procedió a cortar, separar y pesar las partes vegetales (hojas, ramas y fuste) seleccionando, posteriormente, una muestra de 250 g, aproximadamente, para obtener peso seco y posteriormente el porcentaje de materia seca, según componente (4), para luego obtener biomasa por componente (5) y biomasa total por planta (8), donde la biomasa del tocón es igual a cero. El modelo de mejor ajuste de biomasa aérea en café fue logarítmico en función del diámetro a 15 cm del suelo y altura total de la planta (cuadro 13).

3.2.3.2.5 Carbono almacenado en las diferentes fuentes de almacenamiento: árboles de sombra, plantas de café, hojarasca y suelo

Fracción de carbono y carbono almacenado en árbol y café

Se tomaron muestras de árboles de sombra de diferentes partes (hojas, fuste y ramas) y de plantas de café, para realizar análisis de fracción de carbono a través de dos métodos, el Nelson y Sommer en el Laboratorio de Suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica y por el método de Calorimetría (Eduarte y Segura 1998) en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Se tomó el valor promedio para árboles (Anexo 2b) y plantas de café (Anexo 2c).

Para obtener el carbono almacenado para árboles de sombra y plantas de café se utilizó la ecuación de mejor ajuste de biomasa aérea total y el valor promedio de la fc según especies (Ec. 9)

$$CA: Bt \times fc$$

[9]

Donde

CA : carbono almacenado por los árboles de sombra o plantas de café ($tC\ ha^{-1}$) B: es biomasa de los árboles ($t\ ha^{-1}$) ó plantas de café; fca : fracción de carbono promedio de los árboles de sombra ó plantas de café

Carbono en hojarasca

El calculo del carbono almacenado en la hojarasca se realizó a partir de la ecuación (5) y la ecuación (10). Se asumió una fracción de carbono de 0.5 (IPCC 1996).

$$CA : Bt \times fc \quad [10]$$

Donde

CA : carbono almacenado en la hojarasca ($tC\ ha^{-1}$) ; B : biomasa de la hojarasca ($t\ ha^{-1}$); fc: Fracción de carbono

Carbono en suelos

Para estimar el contenido de carbono almacenado en el suelo se utilizó la ecuación (11) que relaciona el % de carbono en el suelo con la densidad aparente del mismo y la profundidad a la cual fue obtenida la muestra. Este procedimiento se realizó para cada una de las profundidades. El carbono total a los 50 cm de profundidad se obtuvo sumando las cantidades encontradas en cada profundidad (12).

$$CA = \% CO \times DA \times P \quad [11]$$

Donde

CA: carbono almacenado ($tC\ ha^{-1}$); %CO: es el porcentaje de carbono orgánico del suelo; DA: densidad aparente del suelo y P: es la profundidad (m) a la cual se tomó la muestra.

$$CAT: Cp_1 + Cp_2 \quad [12]$$

Donde

CAT: carbono total almacenado en el suelo ($tC\ ha^{-1}$) ; Cp_1 : carbono en suelo ($tC\ ha^{-1}$) de la profundidad 1 (0-25 cm); Cp_2 : carbono en suelo ($tC\ ha^{-1}$) de la profundidad 2 (25-50 cm).

3.2.4 Análisis estadísticos

Se utilizó estadísticas descriptiva (media y desviación estándar) en los resultados de costos, ingresos y beneficios netos de las diferentes actividades productivas de las fincas. Se identificó la actividad productiva que genera mayor beneficio neto por ha al año, la cual representa el nivel óptimo económico.

El diseño del experimento consistió en un diseño completamente al azar desbalanceado con arreglo factorial 4x5x3 (4 corresponde a las cuatro fuentes de almacenamiento del sistema: suelo, árbol, café y hojarasca; 5 corresponde a los sistemas estudiados y 3 a los rangos de altura) y el número de repeticiones desbalanceado, el modelo corresponde a $y_{ij} = \mu + T_i + A_j + e_{ij}$.

El análisis correspondiente al carbono almacenado en suelo, árboles de sombra, hojarasca, café y carbono total por sistemas (café joven con especies maderables, café productivo con especies maderables, café productivo con *Inga spp.*, café abandonado y café productivo con sombra diversificada) y rangos de altura de los árboles de sombra (<5 m, 5-10 m, >10 m) se realizaron a través de comparación entre medias, utilizando las pruebas de DUNCAN. El nivel de significancia de las pruebas fue de 99% ($\alpha = 0.01$).

3.2.5 Valoración del almacenamiento de carbono por el método de costo de oportunidad

El enfoque de la valoración calcula costo de oportunidad comparando dos situaciones, una situación localmente rentable y una situación mejorada desde el punto de vista de almacenamiento de carbono. La valoración se realizó bajo tres escenarios (Cuadro 6).

Cuadro 6. Esquema de valoración de la tC almacenada durante 1 año en los SAF, a través del método costo de oportunidad bajo tres escenarios

Escenarios	Situación		Significado de costo de oportunidad
	1	2	
1	Óptimo ecológico	Óptimo económico	Costo teórico de evitar la pérdida de carbono por practicar la actividad productiva más rentable en vez de la actividad productiva más ecológica
2	Situación actual (Punto medio actual)	Óptimo ecológico	Costo de aumentar el stock de carbono, desde el punto medio de la situación actual hasta el punto óptimo ecológico.
3	Situación futura (Punto medio futuro)	Situación actual (Punto medio actual)	Costo de evitar la pérdida de carbono por cambios de usos del suelo previstos. Se supone reducción del stock de carbono y aumentos en los ingresos asumiendo precios del café constantes.

3.2.5.1 Nivel óptimo económico vrs Nivel óptimo ecológico

El nivel óptimo económico (actividad productiva más rentable) se determinó por comparación de los beneficios netos de las diferentes actividades productivas. La actividad productiva con el mayor beneficio neto, representa el nivel óptimo económico. El nivel óptimo ecológico es representado por el promedio de la actividad productiva cafetalera ($tC\ ha^{-1}$ promedio y US \$ ha^{-1} año $^{-1}$ promedio de todos los SAF de café), ya que es el sistema de producción que almacena mayores cantidades de carbono.

$$\$tC = \frac{BN_2 - BN_1}{tC_1 - tC_2} \quad [13]$$

Donde

BN_2 : beneficio neto de la situación 2 (US \$ ha^{-1} año $^{-1}$); BN_1 : beneficios netos promedio de la situación 1 (US \$ ha^{-1} año $^{-1}$); tC_1 : carbono almacenado promedio de la situación 1 ($tC\ ha^{-1}$); tC_2 : carbono almacenado de la situación 2 ($tC\ ha^{-1}$)

3.2.5.2 Nivel óptimo ecológico Vrs Situación actual (Punto medio de la situación actual)

Tanto el $BN\ ha^{-1}\ año^{-1}$ como el carbono almacenado ha^{-1} de la situación actual será representado por el promedio o punto medio de todas las fincas bajo estudio. Para cada finca se determinó, tanto el $BN\ ha^{-1}\ año^{-1}$ como el carbono ha^{-1} promedio de los diferentes usos del suelo. Para cada uso de suelo o actividad productiva dentro de cada finca, se determinó su $BN\ ha^{-1}\ año^{-1}$ y el carbono almacenado ha^{-1} . Para determinar el carbono promedio por finca fue necesario asignar un valor de carbono almacenado a aquellas actividades productivas o usos del suelo, en los cuales no se realizaron mediciones para cuantificar carbono, tales como las áreas destinadas a la ganadería y cultivos anuales como granos básicos y hortalizas.

El carbono almacenado, asignado a granos básicos y hortalizas, se determinó a través de los datos provenientes de la literatura, utilizando el promedio reportado por diferentes autores tales como: Alvarado *et al.*, (1999), Máquez (2000), Winrock (1998) y Cairns y Meganck (1994). Se asignó, la misma cantidad de carbono almacenado a los cultivos anuales (hortalizas y granos

básicos), en cambio a la actividad ganadera se le asignó el valor promedio reportado en la literatura, para sistemas silvopastoriles, por Alvarado *et al.* (1999) y Avila (2000).

Una vez estimado, el carbono almacenado por ha de cada uso de suelo, dentro de cada finca, así como su BN ha⁻¹ año⁻¹, se procedió a determinar el ingreso neto promedio (14) y el carbono almacenado promedio (15).

$$\text{BNF} = \sum (\text{BN } U_i \times \text{AU}_i) / \text{AT} \quad [14]$$

Donde

BNF: Beneficio neto promedio por finca (US \$ ha⁻¹ año⁻¹); BN U_i : Beneficio neto de la actividad productiva i (US \$ ha⁻¹ año⁻¹); AU_i : área del actividad productiva i (ha); AT: Area total (suma de las áreas de los diferentes usos del suelo o actividades productivas) (ha).

$$\text{CP} = \sum (\text{tC ha}^{-1} U_i \times \text{AU}_i) / \text{AT} \quad [15]$$

Donde:

CP: carbono almacenado promedio por finca (tC ha⁻¹); tC ha⁻¹ U_i : tonelada de carbono por ha del uso de suelo i ; AU_i : área total del uso i (ha); AT: área total (suma de las áreas de los diferentes usos del suelo) (ha)

El punto que representa la situación actual de todas las fincas bajo estudio, en términos de ingresos y carbono almacenado, es el promedio o punto medio de todas las fincas. El costo de oportunidad bajo este escenario, situación actual, se determinó a partir de la ecuación (13), tomando en cuenta el BN ha⁻¹ año⁻¹ y carbono almacenado (tC ha⁻¹) del punto medio actual (situación actual) y la actividad productiva que representa el nivel óptimo ecológico

3.2.5.3 Situación actual vrs Situación futura

Bajo esta situación, el costo de oportunidad se estimó con base en el punto medio futuro, que representó las fincas, bajo un escenario futuro, asumiendo que los productores cafetaleros dispuestos a sustituir las áreas de café por otros cultivos, han implementado estos nuevos usos dentro de la finca. Lo cual provoca un cambio en el carbono almacenado debido a este nuevo uso del suelo al igual que los ingresos promedios. La información recopilada en el DRR, sobre las tendencias de usos del suelo, en lo que respecta al porcentaje de área de café por finca a ser afectada y los cultivos sustitutos del café así como los ingresos generados por estas actividades productivas, fue la base para determinar este punto medio futuro.

El punto medio futuro fue estimado a partir de la ecuación 14 y 15 y el promedio total de todas las fincas, partiendo que se dio un cambio de uso del suelo en aquellas fincas, en las cuales se realizó este cambio de uso. El valor de la tC se determinó haciendo uso de la ecuación (13).

3.2. 6 Comparación con precios internacionales en el mercado de carbono

El almacenamiento de carbono es algo temporal que se puede valorar solamente tomando en cuenta la duración del almacenamiento. Al contrario, evitar la emisión de C en el sector energético es un beneficio para siempre. Dada la temporalidad del secuestro, el almacenamiento solamente retrasa los impactos del cambio climático a los esfuerzos de reducción de emisión. Debido a esto no se puede comparar el almacenamiento de C y la reducción de emisión de C del sector energético.

Para valorar el servicio ambiental de almacenamiento de C, se supone que son iguales: evitar emitir 1 tC ahora en el sector energético y secuestrar 1 tC durante 1 año y evitar emitir 1 t C en el sector energético durante 1 año (16).

$$\$C = \$TC + \frac{\$C}{(1+i)} \Rightarrow \$TC = \$C - \frac{\$C}{1+i} \quad [16]$$

Donde

\$C: valor de la tC no emitida (precio si hay mercado, valor de daño/ costo de reducción) permanentemente; \$TC: valor de 1 tC almacenada durante 1 año.

Para comparar el valor estimado de la tonelada de carbono almacenada durante 1 año en los sistemas agroforestales con algunos precios internacionales por reducción de emisiones permanente, Créditos por Reducción de Emisiones (CRE), del sector energético, fue necesario transformar estos precios de reducción de emisión permanente a valor anual a través de la ecuación (17).

$$\$ TC = \$ C - \frac{\$ C}{(1 + i)} \quad [17]$$

Donde

$\$TC$: valor de la tC almacenada durante el año t; $\$C$: valor de la TC no emitida permanentemente; i: tasa de descuento i.

Se utilizaron diferentes tasas de descuento, 5, 8 y 12%, para observar la sensibilidad del valor anual ante la variación de la tasa de descuento y observar la proximidad de estos a los valores calculados en el estudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Información Socioeconómica (DRR) de la comarca Yassica Sur

4.1.1 Panorama general de la zona

La comarca Yassica Sur, se destaca dentro del municipio de San Ramón, como la principal zona cafetalera y donde se concentra la mayor parte de la población. El café ha representado, tradicionalmente, la actividad productiva de mayor importancia, lo cual confirma lo expuesto por INRA y FAO (1997). Sin embargo, en la actualidad, existe cierto descontento por parte de los productores cafetaleros debido a la crisis del precio del café que ha disminuido drásticamente los beneficios económicos y ha provocado cierto interés en los productores en : 1) abandonar las plantaciones del cultivo, en caso que el precio continúen descendiendo, es decir no brindar ningún tipo de asistencia técnica; 2) reducir el uso de insumos y mano de obra del cultivo y 3) sustituir el cafetal por otros cultivos que generen mayores beneficios económicos.

En la comarca Yassica Sur, existen alrededor de 15 Comunidades entre las cuales tenemos: San Antonio, La Grecia, La Corona, Ilapo, El Carmen, La Laguna, El Enredo, La Lima, Los Limones, El Escondido, La Pacayona, El Roblar, La Cornubia, La Chocolate, Las Rosas, entre otras. Parte de estas comunidades también son conocidas como cooperativas, puesto que se originaron a partir de cooperativas formadas después del triunfo de la Revolución Popular Sandinista (1979-1989). Los socios de estas cooperativas eran los trabajadores permanentes de las grandes haciendas cafetaleras que existían antes de la Revolución. Algunas de estas comunidades ó cooperativas, aún conservan el nombre de las haciendas, como La Laguna, El Roblar, La Lima, El carmen, El Enredo, San Antonio, La Grecia.

Durante la revolución, estas haciendas fueron confiscadas a sus dueños, que en esa época eran llamados "grandes terratenientes", y repartidas equitativamente entre sus trabajadores, quienes pasaban a ser socios, automáticamente, de la nueva cooperativa. Una vez que se le asignaba su parcela (1.05 - 2.1 ha)¹ a cada trabajador o nuevo dueño, estos recibían una carta de derecho de propiedad, la cual les permitía seguir trabajando la parcela de café, otorgándole el derecho de venta de la producción del mismo pero no de vender la parcela ni

¹ 1 ha = 0.7 mz

cambiar el cultivo de café por otro uso del suelo como hortalizas, granos básicos o ganadería.

Estas cooperativas, aún se rigen bajo una Junta Directiva cuyas funciones son de velar por los intereses de sus miembros. Antes de la crisis actual del café, esta junta hacía gestiones de créditos, gestiones de venta de la producción, compra de insumos, entre otras. Actualmente, estas cooperativas no trabajan como tal, ya que no cuentan con los recursos financieros necesarios. Por otra parte los socios de algunas cooperativas han optado por abandonar el cultivo, como el caso de la cooperativa El Enredo donde 12 de sus socios han abandonado por completo su parcela de café, debido al bajo precio y rendimientos de la producción, los cuales no compensa la inversión realizada.

4.1.2 Empleo

En base a la información recopilada en el DRR, se determinó que el 42.3% de los productores entrevistados utilizan la mano de obra familiar para realizar las diferentes actividades agrícolas dentro de las fincas; el 6,2% de los productores, laboran fuera de la finca durante todo el año, pero una vez terminada su labor, diaria se incorpora a las actividades agrícolas dentro de su finca; el 16,5% de los entrevistados informaron que la mano de obra empleada en las actividades agrícolas dentro de la finca es aportada por los hijos, los cuales son apoyados en algún momento por mano de obra externa contratada debido a que el cabeza del hogar trabaja fuera de la finca. Mientras que el 14.4% , el jefe de familia esta involucrado en todas las actividades agrícolas y es apoyado en cierto momento por los hijos o por mano de obra contratada (Gráfico 1). La contratación de mano de obra externa depende de la disponibilidad de recursos económicos en el hogar y del tiempo de los hijos, ya que en algunas familias asisten a la escuela.

Por otro lado, el 11.3%, es el jefe del hogar el único miembro que realiza todas las labores agrícolas y no es apoyado en ningún momento por otros miembros del familia ni por mano de obra externa contratada. En dos casos se encontró que el jefe de familia, además de trabajar fuera del hogar atiende las labores de los cultivos dentro de su finca, una vez que regresa al hogar (Gráfico 1).

El 11.3%, el jefe o dueño de la finca no vive dentro de la finca y esta es manejada por una persona responsable y algunos trabajadores permanentes. Estos casos se dan en pequeñas y medianas haciendas, donde el propietario trabaja o vive fuera de la zona. Mientras que las grandes haciendas, 4.12%, el número de trabajadores permanente oscila entre 10 y 288 durante el año. En este grupo, al igual que el anterior, los dueños no viven dentro de la zona y la finca es manejada por el responsable y los trabajadores (Gráfico 1).

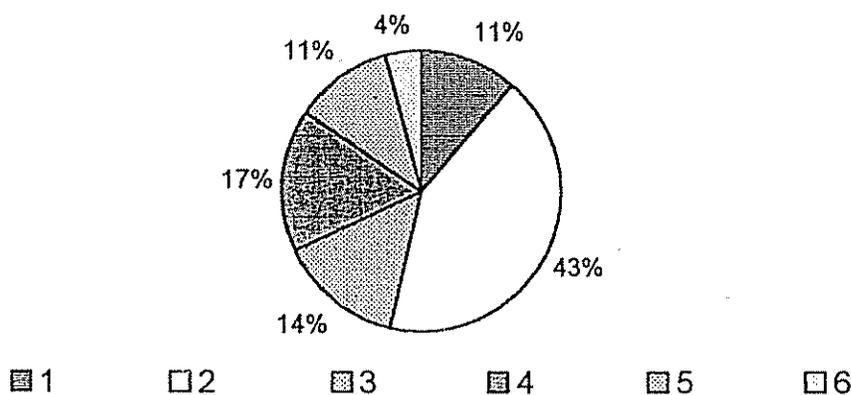


Gráfico 1. Distribución del empleo dentro de la Comarca Yassica Sur

1: Jefe de familia; 2: Mano de obra familiar; 3: Cabeza de familia, hijos y mano de obra externa; 4: Hijos y mano de obra externa; 5: Mano de obra externa (1-9 trabajadores); 6: Mano de obra externa (10-288 trabajadores).

Fuente: Datos propios

Como se observa en el gráfico 1, gran proporción de los productores cafetaleros, son auto empleados de su propia finca, es decir que no trabajan por salario fuera de esta, ya que su mano de obra dentro de la finca es indispensable para el sostenimiento del hogar. Por otro lado, las grandes y medianas haciendas, a pesar de la crisis, aún juegan un papel muy importante en la generación de empleo dentro de la zona. Se estimaron 659 empleos asalariados dentro de la comarca, de los cuales, el 91.5% son trabajadores permanentes de estas haciendas. El resto de empleos son temporales, generados en las pequeñas y medianas fincas por el cultivo de granos básicos, hortalizas y café.

4.1.3 Tipos de productores cafetaleros

La muestra del estudio abarcó los tres tipos de productores cafetaleros conocidos en el país como grande, mediano y pequeño. En Nicaragua los productores cafetaleros se clasifican de acuerdo al área de su cafetal. Según el BCN (2001), el pequeño productor es el

que tiene áreas menores de 14 ha (20 mz); el mediano productor cuenta con áreas entre 14 a menos de 35 ha (20-50 mz) y los grandes productores cuentan con más de 35 ha (50 mz).

En total se entrevistaron 97 productores cafetaleros de los cuales el 88.7% son pequeños, el 10.3 % son grandes productores y mediano productor solamente se encontró uno. Los grandes productores concentran el 79% del área cafetalera contabilizada en el estudio, mientras que los pequeños, a pesar que son la mayoría, solo concentran el 20.5% (Cuadro 7). Del área total de café, el 80 % son áreas productivas, mientras que el restos son plantaciones en desarrollo.

Cuadro 7. Clasificación de productores cafetaleros de acuerdo al área de café para la aplicación del DRR.

Tipo de Productor	Estrato (ha)	Nº productores	Area Total (ha)	Area promedio por productor (ha)
Pequeños	<14	85	236.3	2.7 (± 2.5)
Medianos	14-35	1	14	14
Grandes	> 35	11	1051.7	95.6 (± 65.6)
Total		97	1302	

Fuente: Datos propios

4.1.4 Tipo de café: café pergamino, café oro convencional y Café oro orgánico

En la comarca Yassica Sur, los productores venden su producción de café, ya sea en grano de oro (café oro convencional), café pergamino¹ o en café oro orgánico, el cual es producido solamente por tres productores de la muestra del estudio y son los únicos productores certificados dentro de la comarca. Del total de productores entrevistados, el 11% vende café oro convencional y el 85% venden café pergamino. Del área total productiva de café (998.7 ha) el 75% es ocupada para la producción de café oro, el 23% para café pergamino y el resto para la producción de café oro orgánico (Cuadro 8). El área promedio de producción de café oro, por finca, supera en 95% y 96% al área promedio, por finca, de la producción de café pergamino y orgánico, respectivamente.

Por otro lado, el rendimiento de producción de café oro convencional supera en más del 100% al rendimiento de café pergamino² y orgánico. El precio del café orgánico supera en 169 % y 563% al precio de café oro convencional y pergamino, respectivamente. De igual

¹ 2 qq pergamino = 1 qq oro

² 1 qq=46 Kg

manera, los ingresos bruto por ha generados por café orgánico son 15% superior al de café oro convencional y 202% al de café pergamino, mientras el costo total por ha, supera en un 53% y 366%, respectivamente. La producción de café pergamino no asume costos por beneficiado húmedo, el cual representa el 15% y 8% del costo total de la producción de café oro y orgánico, respectivamente (Cuadro 8).

A pesar que el café orgánico genera mayores ingresos brutos por ha, los beneficios netos generados, por este tipo de producción, son 38% inferiores a los generados por la producción de café oro. Mientras que el beneficio neto de café oro convencional, supera en 56% al beneficio neto de la producción de café pergamino (Cuadro 8).

Cuadro 8. Datos productivos de la producción de Café Oro, Pergamino y Orgánico

Concepto	Café pergamino		Café oro		Café orgánico oro	
Area Total	239		752		7.7	
Número de fincas	82		12		3	
Area Promedio por finca	2.88	(6)	62.7	(57)	2.39	(1.3)
Rendimiento (qq/ha)	19.5	(15)	20.72	(12)	9.17	(1.7)
Precio qq	19.4	(3.5)	48.3	(6)	130	
INGRESOS BRUTOS/ ha	393	(310)	1033.3	(672)	1199	(221)
Costo transporte/ ha	6.8	(5)	9.7	(7)	6.47	(1.2)
Costo mano obra/ ha	50.5	(27)	156	(172)	514	(223)
Costo beneficio húmedo/ha	—		75.4	(55)	75	(40)
Costo cosecha/ ha	85	(79)	51	(29)	61	(11.5)
Costo insumos/ ha	74.7	(84)	98	(8)	209	(9)
*COSTO TOTAL / Ha	187	(145)	557.9	(372)	905	(304)
Costo qq	11	(7)	28.5	(11)	98.7	(24)
BENEFICIO NETO/Ha	206	223)	475.4	(470)	293.6	(249)
Beneficio neto qq	12	(11)	14.8	(13)	32.1	(24)
B/C	2.1		1.85		1.32	

qq: quintales (46 2 kg) ; ha: hectárea ; B/C: relación beneficio- costo; datos en paréntesis corresponde a desviaciones estándar; * costo total calculado en base a costos variables

Fuente: Datos propios

En el cuadro 8, se puede observar que a pesar de la crisis los productores cafetaleros, aún perciben ciertos beneficios por la producción de café. Los rendimientos de producción influyen directamente con los beneficios o pérdidas económicas generadas. Los productores de café oro convencional son los que obtienen los mayores beneficios económicos, puesto que los rendimientos de producción son superiores al resto (Cuadro 8).

La producción de café orgánico tiene la relación Beneficio- Costo más baja que la producción de café oro convencional y pergamino, lo cual se debe al bajo beneficio neto y el alto costo de producción.

4.1.5 Tipo de Sistemas Agroforestales de café (SAF)

4.1.5.1 Café joven (CJSD) y productivo (CPSD) con sombra diversificada

La diferencia entre ambos sistemas consiste en el estado productivo de la plantación. Sistema de café joven, se le denomina al sistema, en el cual la plantación de café no ha alcanzado su etapa productiva, es decir no ha dado cosecha alguna, mientras que los sistemas de café productivo han generado varias cosechas consecutivas y algunas de estas plantaciones pueden tener más de 20 años de haber sido establecidas y las plantas de café han recibido más de dos podas o recepas⁴.

Café con sombra diversificada, se les denomina aquellas plantaciones de café, sean productivas o no, en las cuales el estrato sombra está compuesto por una gran diversidad de árboles. Estas especies, pueden ser especies forestales maderables y no maderables como las *Musa spp.* (plátano, banano, guineo) combinada con árboles frutales. Este tipo de sombra por lo general se encuentra en plantaciones cafetaleras características de los pequeños productores, los cuales tratan de maximizar y diversificar la producción de sus fincas, a través de la introducción de árboles frutales, maderables, medicinales, para leña y/o de servicio como el caso de la *Inga spp.* Los productos obtenidos del sistema son destinados principalmente al autoconsumo y/o venta del excedente de algunos productos como el caso de las musáceas y cítricos.

Las especies que se encuentran con frecuencia en estos sistemas son *Musa spp.* (guineo, plátano o bananos), *Inga spp.* (guaba negra y/o guaba roja), Aguacate (*Persea americana*), Cítricos (*Citrus spp.*), Mango (*Mangifera indica*) o maderables como: Laurel (*Cordia alliodora*), Nogal (*Juglans jamaicensis*), Coyote (*Platymiscium dimorphan*), Majague (*Heliocarpus appendiculatus*), Chaperno (*Lonchocarpus salvadorensis*), Gavilán (*Albiria sp.*), Guácimo (*Guasuma ulimofolia*), Madero negro (*Glinicidia sepium*), Helequeme (*Erythina guaco*), entre otros.

⁴ Poda o recepa: tipo de raleo parcial o total de la plantación que se aplica cada cierto periodo de tiempo para renovar las plantaciones de viejas y/o plantas de café enfermas o dañadas. La planta vieja se troza de 0.35 – 0.50 m del suelo, para permitir el nacimiento de nuevos retoños a partir del tronco.

A este tipo de sistema también se le denomina tradicional. Para Alpizar (1988), la importancia de un sistema tradicional radica en la gran diversidad de árboles de sombra, que se mezclan bajo un sinnúmero de combinaciones y cuyo uso más frecuente son la producción de alimentos (frutas, cítricos, plátanos, etc.), la producción de madera o leña y el mejoramiento de las condiciones ecológicas. La sombra mantiene una distribución irregular, mientras el café aparece uniformemente distribuido.

El 22.7% y 19% del área considerada en el estudio, corresponden al sistemas de Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD) y Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD), respectivamente (Cuadro 9). Ambos sistemas, se encontraron bajo los tres rangos de altura de altura de los árboles de sombra <5, 5-10 y >10 m (Cuadro 3).

4.1.5.2 Café productivo con *Inga* spp. (CPI)

Este tipo de sistemas se caracteriza por que el estrato sombra está compuesto, en su mayor parte, por árboles del género *Inga* spp. (Guaba roja y Guaba negra). La distribución de ambas especies dentro del sistema puede ser de diferentes maneras, ya sea combinadas equitativamente; una de las especie predomina sobre la otra o solamente existe una de ellas en toda la plantación. En algunos casos las *Inga* spp. pueden estar asociadas con *Musa* spp. y algunos árboles de sombra.

Este tipo de sombra o sistema de producción de café, es típico de las grandes y medianas plantaciones. Las plantaciones encontradas bajo este sistema, tenían un amplio rango de edad, encontrándose plantaciones desde 3 años hasta más de 20 años. El 52% del área total de café considerada en el estudio, pertenece a este tipo de sistema de producción de café (Cuadro 9). Las plantaciones encontradas bajo este sistema son productivas y estas se encontraron en todos los rangos de altura de los árboles de sombra, <5 m, 5-10 y > 10 m (Cuadro 3).

4.1.5.3 Café productivo con especies maderables (CPEM)

El estrato sombra de este sistema de café está compuesto por árboles maderables, principalmente por Laurel (*Cordia alliodora*) y Nogal (*Juglans jamaicensis*). Aunque también se pueden encontrar árboles de *Inga* spp. y otras especies, pero en menores cantidades.

Estos sistema, se caracterizan por que fueron establecidas sobre áreas de bosques naturales, en los cuales se removieron las especies de los estratos inferiores, dejando los árboles más altos y de valor comercial para la sombra del café. Este sistema tiene mucha similitud con el sistema rusticano o silvestre denominado por Alpizar (1988). En el cual el bosque natural se usa como sombra del cafeto. La siembra se realiza una vez realizado el aclareo del bosque y la tumba de algunos árboles grandes. El 4.6% del área bajo estudio, pertenece a este tipo de sistemas (Cuadro 9). Las plantaciones encontrados bajo este sistema se encontraron, solamente, en el rango de altura del estrato sombra >10 m (Cuadro 3).

4.1.5.4 Café productivo en abandono (CPAB)

Se le denomina productivo, aunque su producción es baja o nula, para diferenciarlo de café joven. Estas plantaciones fueron establecidas hace más de 20 años, actualmente tienen bajos rendimiento de producción, 1-4 qq ha⁻¹, no reciben ningún tipo de manejo ni asistencia técnica y algunas plantaciones están cubiertas en su totalidad por maleza o enredaderas, la mayor parte del año, tanto la superficie del suelo como el cultivo. En época de cosecha reciben cierto nivel de limpieza, el cual permite extraer la baja producción que aún proporcionan. Al igual que el sistema CPEM, las plantaciones encontradas fueron bajo el rango >10 m (Cuadro 3). El área ocupada por este sistema representa el 0.69 % del área total del estudio (Cuadro 9).

La sombra de estos sistemas esta compuesta, en su mayoría, por Laurel (*Cordia alliodora*), guaba roja (*Inga spp.*) y otras especies de árboles, pero en menores cantidades, como Coyote (*Platymiscium dimorphan*), Gavilán (*Albiria sp.*), Chaperno (*Lonchocarpus spp.*), etc.

Debido a la crisis que atraviesa el sector cafetalero, los propietarios de estas plantaciones, han decidido no brindar la asistencia técnica adecuada al cultivo por que los rendimientos de producción y los precios del grano no compensan la inversión. Se encontraron alrededor de 10 productores con este tipo de café, los cuales pertenecen a la cooperativa El Carmen.

4.1.6 Análisis de Costos- Beneficios de las actividades productivas de la Comarca Yassica Sur

Dentro de la comarca Yassica Sur, además del cultivo del café se cultivan otros rubros, como granos básicos, frijol (*Faseolus vulgaris*) y maíz (*Zea maiz*), los cuales son producidos exclusivamente para el autoconsumo. Algunas veces, el excedente de producción es comercializado, sobre todo del frijol. También se cultivan algunas hortalizas como Tomate (*Lycopersicum esculentum*), Chiltoma (*Capsicum sp.*), Pipián (*Cucurbita mixta*) y Chayote (*Sechium edule*), los cuales son destinados para la comercialización y en pequeña escala al autoconsumo. El número de productores y el área destinada para estos cultivos es relativamente reducido en comparación a otros cultivos (Cuadro 10). Ganadería de doble propósito también se presenta en la zona aunque son productores los productores de la muestra que practican dicha actividad.

4.1.6.1 Costos y beneficios en los sistemas agroforestales de café (SAF)

En el cuadro 9, se presentan los datos productivos de los sistemas agroforestales de café bajo estudio. Los sistema que ocupan mayor área, son el sistema de Café Productivo con *Inga spp.* (CPI), Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD) y Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD). El sistema que ocupa menos área es el sistema Café Productivo en Abandono (CPAB), el cual ocupa un área 98.7% inferior al área ocupada por el sistema CPI.

Por otro lado, el sistema que tiene el rendimiento de producción más altos, es el sistema CPI y los más bajos son CPEM y CPAB. El sistema CJSD no produce cosecha alguna, puesto que las plantaciones bajo este sistema, aún se encuentran en etapa de desarrollo. Razón por la cual no generan beneficios económicos. El rendimientos de producción del sistema CPI, se expresa en quintal oro, puesto que los propietarios de las plantaciones bajo este sistema, venden su cosecha en café oro, mientras que la producción del resto de los sistemas se expresa en quintal pergamino, puesto que los productores con estos sistemas de producción, venden su cosecha de café en pergamino.

Cuadro 9. Datos productivos de los diferentes sistemas agroforestales de café de la comarca Yassica Sur

Concepto	CJSD	CPSD	CPI	CPEM	CPAB
Area Total Sistema	296.4	247.6	688	60.5	9.1
Número de fincas	44	63	10	12	9
Area Promedio por finca (ha)	6.1 (27)	3.9 (8)	68.8 (65)	5 (10)	1 (0.4)
Rendimiento (Qq/ha)	0	22.9 (15)	18.4 (9.9)	8.8 (5)	7.3 (2.6)
Precio Qq (US \$)	0	23.3 (16)	45 (6.8)	17.8 (2)	17.2 (2)
IB Musáceas (US\$/ha/año)	0	130	0	0	0
BBT (US \$/ha/año)	0	604 (448)	829 (536)	161.3 (114)	126.8 (48)
Costo Transporte	0	7 (5.6)	12.4 (7.5)	3.1 (1.9)	2.6 (0.9)
Costo Mano obra	105 (163)	71 (103)	247 (266)	32.2 (8)	0
Costo Beneficio Húmedo	0	7.5 (32.7)	99.4 (62)	0	0
Costo Cosecha	0	80 (58)	84 (58)	30.8 (19)	25.4 (9.8)
Costo Insumos	57 (65.8)	55 (81)	110.4 (67)	6.2 (17.5)	0
Costo <i>Musa spp.</i> (US \$/ha/año)*	0	19	0	0	0
**CTO (US \$/ha/año)	162.6 (205)	239.4 (206)	553.2 (371)	72.3 (43)	28 (10.7)
Costo qq (US \$)	0	13.3 (14)	30 (14)	8 (2.5)	8.6 (2.9)
Beneficio neto de <i>Musa spp</i>	0	110.5	0	0	0
BNT (US \$/ha/año)	0	364.6 (296)	276 (282)	89 (73)	98.2 (38)
Beneficio neto qq (US \$)	0	16.6 (13)	14.2 (9)	9.1 (3.6)	8.4 (3.9)
B/C	0	2.5	1.49	2.2	4.5

CJSD: café joven con sombra diversificada; CPSD: café productivo con sombra diversificada; CPI: café productivo con *Inga spp.*; CPEM: café productivo con especies maderables; CPAB: café productivo en abandono; números en paréntesis corresponden a desviación standar; * corresponde al costo de corte y transporte; ** CTO: costo total operativo, calculado en base a los costos operativos variables; IB: Ingresos Brutos; BBT: Beneficio Bruto Total; BNT: Beneficio Neto Total; B/C: relacion beneficios brutos totales - costos totales operativos.

Fuente: Datos propios

Si convertimos la producción de café oro del sistema CPI en café pergamino, se obtendría una producción promedio de 36.8 quintales pergamino, lo cual supera en 37%, 74% y 80% a la producción de los sistema CPSD, CPEM y CPAB, respectivamente. El alto rendimiento de este sistema, posiblemente se deba al alto uso de insumos, en comparación al resto de los sistemas de producción. En el Cuadro 9, se puede observar que el costos incurridos por la compra de insumos, en este sistema, supera en 48%, 50% y 75% al costo de insumos de los sistemas CJSD, CPSD y CPEM, respectivamente.

A pesar que el sistema CPI tiene los rendimientos de producción más altos, no genera el mayor beneficio económico lo cual podría explicarse a los altos costos operativos que incurre este sistema. El costo operativo total de producir una ha de café al año del sistema CPI, supera en 71%, 57%, 86% y 95% al costo del sistema CJSD, CPSD, CPEM y CPAB, respectivamente (Cuadro 9).

La razón por la que este sistema (CPI) tiene el costo total por ha más alto, se debe a que todos los costos son mayores al resto de los sistemas. Este grupo asume costo por beneficiado, es decir el costo de transformar el grano pergamino a oro, ya que la mayoría de los productores bajo este sistema venden su producción de café en oro. El costo de mano de obra, supera en 57%, 71% y 90% al sistema CJSD, CPSD y CPEM, respectivamente; el costo por uso de insumos, de este sistema, superar en 54%, 49% y 74% al costo por la compra de insumos de los sistemas CJSD, CPSD, CPEM, respectivamente. Los costos de transporte y cosecha también son superiores al resto de los sistemas (Cuadro 9).

En cambio, el sistema de Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD) genera los mayores beneficios económicos, superando en 25%, 70% y 82% al beneficio neto generado por los sistemas CPI, CPEM y CPAB, respectivamente (Cuadro 9). Sin embargo, el 30% de estos beneficios netos proviene por la comercialización de las *Musa spp* producidas dentro del sistemas. Además de aportar con los beneficios netos del sistema, también contribuyen con el 9% del costo total de la producción del sistema (café y *musa spp.*), el cual se deriva del costo por los días invertidos en cortar la cosecha y transportarla hacia la ciudad de Matagalpa.

El 33% de las fincas encontradas con este sistema de producción, comercializan las *Musa spp* de forma periódica, es decir que obtienen varias cosecha durante el mes, 2-4, y las comercializan en el mercado de Matagalpa. Mil unidades de Musáceas se comercializa a \$5.6 aproximadamente. El resto de fincas con este sistema, producen las musáceas exclusivamente para el autoconsumo familiar.

Cuatro productores con este sistema, CPSD, comercializan su producción de café en oro convencional, los cuales incurren, a excepción del resto, en costos por beneficiado húmedo. El resto de los productores comercializan su producción de café en pergamino.

A pesar que el sistema CPAB no recibe ningún tipo de manejo, este genera ciertos beneficios económicos producto de su baja producción. Lo cual justifica el hecho de tener la relación B/C más alto, en comparación al resto de los sistemas (Cuadro 9).

En el cuadro 9, se observa que a pesar de la crisis, debido a los bajos precios del café, los productores cafetaleros aún perciben ciertos beneficios económicos derivados de la actividad cafetalera. Para hacerle frente a la crisis los productores han optado por reducir los costos de producción, ya sea utilizando menos insumos y/o mano de obra contratada. Por lo general las grandes y medianas haciendas mantienen sus plantaciones de café a través de la mano de obra local contratada. Sin embargo, ante la situación actual, pagan a un precio menor el valor de la mano de obra y/o han disminuido el número de trabajadores permanente.

En el cuadro 9, también se puede observar que existen aproximadamente 296.4 ha de plantaciones en desarrollo (CJSD), lo cual no refleja la crisis que atraviesa actualmente el sector cafetalero. La mayor parte de estas plantaciones pertenecen a pequeños productores, los cuales, posiblemente, no están conciente de la gravedad que atraviesa el sector sumado a la experiencia que han vivido en su larga trayectoria produciendo el café, donde han experimentado periodos de recuperación del precio después de crisis similares a la actual. Por otro lado, algunos productores están concientes de la gravedad de la crisis y han optado por abandonar sus plantaciones o no brindar asistencia técnica adecuada al cultivo, ya que no cuentan con los medios necesarios para hacerle frente al problema.

4.1.6.2 Granos básicos: Frijol (*Faseolus vulgaris*) y Maíz (*Zea maiz*)

El Frijol (*Faseolus vulgaris*) y el Maíz (*Zea maiz*), representan una fuente de alimento muy importante para los hogares cafetaleros, ya que garantizan la sustentabilidad alimenticia durante el año. El 70% de los productores cafetaleros entrevistados utilizan un área aproximada entre 86-98 ha para producir granos básicos. El área promedio utilizada por productor para sembrar granos básicos es menor a 2 ha.

Además de ser fuentes importantes de alimento, estos pueden ser comercializados. El precio de los granos básicos es fluctuante durante el año. Estos alcanzan los niveles más altos en época de escasez, caso contrario en épocas de cosecha. El precio del Frijol oscila entre \$19.7 y \$24.6 el quintal, mientras que el Maíz de \$2.8 a \$ 12.7 el quintal.

El rendimiento promedio del Frijol, durante el ciclo de siembra 2001, fue de 12 qq ha⁻¹ (Anexo 3), el costo de producir un quintal es aproximadamente \$ 13.1. El costo por mano de obra es el costo más alto de producción, el cual representa el 67% del costo total, seguido por la compra de insumos con el 29% y el resto corresponde a transporte. El beneficio neto generado por cada quintal de frijol vendido es \$ 5.2 (Cuadro 10).

El maíz obtuvo un rendimiento promedio de 18.48 qq ha⁻¹ (Anexo 3); el costo de producir un quintal de maíz equivale a \$7.2; el cual supera en un 61 % al precio de venta durante la época de cosecha, es decir el nivel de precio más bajo, generando pérdidas económicas de \$ 5.6 por cada quintal producido. El costo de mano de obra es el mayor costo de producción del maíz, al igual que el frijol, el cual representa el 62.6% del costo total; seguido por la compra de insumos con 29.6% y por último el costo de transporte con el 7.8%.

Del total de productores que siembran maíz, solamente el 16% venden 12 qq ha⁻¹, en promedio, durante el año. El resto de productores destinan la producción total al autoconsumo familiar.

El costo total de producir una ha de frijol y maíz es similar, sin embargo el Frijol genera mayores beneficios económicos que el maíz. Los ingresos brutos y beneficios netos por ha generados por el frijol superan 69% y 36% a los del maíz, respectivamente (Cuadro 10). El 18% (12) de los productores que sembraron Frijoles incurrieron en pérdidas económicas, desde \$ 6.9 hasta \$ 70.4 ha⁻¹; en el caso del maíz el 35% (24) de los productores perdieron entre \$ 5 y \$ 87.8 ha⁻¹.

Las razones por las cuales hubieron pérdidas económicas en estos cultivos, posiblemente se deban por condiciones climáticas desfavorables y no por el bajo uso de insumos, ya que según los costos de insumos hace suponer que se utilizaron los insumos necesarios en el cultivo, al menos el 50% de los productores. Mientras que para el resto de productores estas pérdidas pudieron haber sido originadas por ambas razones o solamente por el poco uso de insumos.

El cultivo de maíz no tiene las mismas ventajas de comercialización como el Frijol, a pesar de la importancia que tiene en la sustentabilidad alimenticia dentro de los hogares tanto para la familia como para la crianza de animales domésticos., debido a los bajos precios en el mercado, aún en sus niveles más altos.

Es importante mencionar, que los ingresos netos calculados no son los beneficios que realmente perciben la mayor parte de los productores, ya que la producción generada, en la mayoría de casos, es exclusivamente para el autoconsumo. El beneficio principal que se genera por la siembra de granos básicos se debe a la obtención de alimentos para el año, lo cual evita realizar desembolsos monetarios, de los cuales no disponen, para la obtención de estos bienes. Por otro lado, el costo por mano de obra es asumido por la familia.

4.1.6.3 Hortalizas

En la zona también se cultivan y comercializan en pequeñas proporciones algunas hortalizas como Tomate (*Lycopersicum esculentum*), Chiltoma (*Capsicum sp.*), Pipián (*Cucurbita mixta*) y Chayote (*Sechium edule*). El número de productores y área promedio por cultivo es menor a 1 ha lo cual es relativamente baja en relación al área promedio por finca ocupada por el cultivo del café y granos básicos. Sin embargo la rentabilidad que generan estos cultivos, a excepción del Pipián, es mayor que las producidas por los granos básicos e incluso el café (Cuadro 10).

El área ocupada por el cultivo del Chayote (*Sechium edule*) es mayor al área ocupada por el resto de las hortalizas. Esta es 72%, 95% y 97% superior al área ocupada por el Tomate, Chiltoma (*Capsicum sp.*) y Pipián (*Cucurbita mixta*). Sin embargo es 92% y 91% inferior al área destinada para el cultivo del Fríjol (*Faseolus vulgaris*) y Maíz (*Zea maiz*), respectivamente (Cuadro 10).

El cultivo del chayote (*Sechium edule*) tiene el más alto costo de producción, superando en un 73%, 85% y 91% al costo de producción del Tomate (*Lycopersicum esculentum*), Chiltoma (*Capsicum sp.*) y Pipián (*Cucurbita mixta*), respectivamente. De igual manera los ingresos brutos y los beneficios netos por ha son mayores en el cultivo del Chayote (*Sechium edule*). Este último supera en 25%, 77% y 97.6% a los beneficios netos generados por el cultivo de Tomate (*Lycopersicum esculentum*), Chiltoma (*Capsicum sp.*) y Pipián (*Cucurbita mixta*) (Cuadro 10).

El hecho que el cultivo del Chayote (*Sechium edule*) sea más rentable que el resto de las hortalizas se debe a que es un cultivo que produce cosecha durante todo el año, siempre y cuando se le de manejo adecuado, sobre todo en época seca. Mientras que el resto de hortalizas se cosecha tres meses después de su establecimiento.

A pesar que el cultivo del Chayote (*Sechium edule*) genera los mayores beneficios económicos, son pocos los productores cafetaleros, de la muestra del estudio, que producen este rubro. La razón de esto, podría ser entre otras, el alto costo de establecimiento del cultivo, ya que según algunos productores, por comunicación verbal, estiman un costo de inversión durante el primer año de aproximadamente US \$2,464 por ha¹. Sin embargo esta inversión realizada se recupera en el primer año de cosecha.

En general, el hecho que sean pocos los productores cafetaleros que producen Chayote y hortalizas podría ser a varios factores, entre los cuales tenemos la incertidumbre de los precios, puesto que existe mucha variabilidad durante el año, altos costos de insumos y mano de obra; incertidumbre en las condiciones climáticas y limitado conocimiento técnico sobre el manejo de estos cultivos y en el caso de los pequeños productores es posible que tengan limitaciones de tierras para producirlas

La mayor rentabilidad de la producción de hortalizas es generado cuando se cosecha en época seca, bajo condiciones de riego, pero no todos los productores tienen la capacidad de asumir estos costos. Si la cosecha se da en época lluviosa existe, por lo general, sobre oferta en el mercado, lo cual provoca la caída de los precios y por ende pérdidas económicas; además existe la incertidumbre de los daños que pueden sufrir el cultivo debido al exceso de humedad.

4.1.6.4 Ganadería

De los 97 productores entrevistados solamente 4 (4.12%) tienen ganado. Esta actividad productiva ocupa un área promedio de 168 ha y cuenta en promedio con 103 cabezas por finca, lo cual equivale a una carga animal de 1.61 UA ha⁻¹. Para obtener el costo total por ha dedicada a la ganadería se tomó en cuenta el costo de mano de obra y el costo de los insumos por año. Se determinó un costo de \$ 76.9 y \$ 5.2 respectivamente y un costo total de \$ 82 ha⁻¹ año⁻¹ (Anexo 4). El beneficio bruto (US\$ 271) y neto anual (US\$ 189.2) generado por esta actividad productiva se determinó en base a la comercialización de los productos derivados de la leche. Estos datos fueron

estimados sin tomar en cuenta el número de animales que se venden y compran por año ni el peso en Kg por animal, ya que la información recaudada no fue lo suficiente para obtener estas estimaciones. Los datos estimados reflejan el flujo de caja originados por los productos derivados de la leche. En promedio se generan alrededor de 70.66 litros por finca por día, la leche puede ser vendida por litro, el cual tiene un costo de \$0.35 aproximadamente, o en otro tipo de productos.

4.1.7 Selección de la mejor alternativa económica (nivel óptimo económico)

Los beneficios económicos generados por la hortalizas son mayores que los de los sistemas agroforestales de café y de los granos básicos. El Chayote (*Sechium edule*) y el Tomate (*Lycopersicum esculentum*) son los cultivos que generan los mayores beneficios de las hortalizas, mientras que los sistemas de CPSD y CPI son los sistemas de producción de café con mayor rentabilidad. En cambio los beneficios generados por el cultivo del Frijol (*Phaseolus vulgaris*) supera en 70% a los beneficios generados por el Maíz (*Zea mays*).

Los beneficios del Chayote (*Sechium edule*) superan en 25%, 83.5%, 87.6%, 94.9% y 91.5% a los beneficios del cultivo de Tomate, CPSD, CPI, cultivo del Frijol y la actividad ganadera, respectivamente. Debido a que el cultivo de Chayote (*Sechium edule*) es la actividad productiva que genera mayor beneficio neto por ha por año de todas las actividades productivas dentro de la zona, este representa el nivel óptimo económico.

No fue posible clasificar la actividad ganadera entre las actividades más rentables o menos rentables, pero es posible que esta actividad no sea tan rentable como el cultivo de Chayote ni poco rentable como el cultivo de Maíz. Por lo que su no clasificación no afecta la selección del Chayote como la actividad productiva con mayores beneficios netos.

Cuadro 10. Datos productivos del cultivo de granos básicos y hortalizas Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.

Rubro	Nº Productor	Area Total (ha)	APF (ha)	IB/ha/Año \$	CT/ha/año \$	BN/año/Ha \$
Maíz	68	98.3	1.44 (1.55)	140 (81.7)	106 (39)	34.3 (73.8)
Frijol	67	86.6	1.29 (1.52)	219 (142.9)	106.2 (37)	113 (113.3)
Chayote	8	7.17	0.89 (1.1)	3,301 (1996)	1,065 (342)	2236 (1793)
Tomate	5	2.1	0.42 (0.4)	1,958 (1885)	284 (262)	1674.6 (2393)
Chiltoma	2	0.35	0.175	663 (572)	153 (0.8)	510.6 (399.5)
Pipián	1	0.175	0.175	141	88	53.2

APF: area promedio por finca (ha); IB/ha/Año: ingresos brutos $ha^{-1} año^{-1}$ en dólares; CT/ha/año \$: costos totales $ha^{-1} año^{-1}$ en dólares; BN/año/Ha \$: beneficios netos $ha^{-1} año^{-1}$. Números en paréntesis Desviación Estándar; números en paréntesis, desviación estándar.

4.1.8 Tendencias de cambio de uso de la tierra

El 34% de los productores cafetaleros de la muestra, estarían dispuestos a sustituir sus cafetales por otros cultivos, si el precio del café alcanza niveles críticos. En base a la información recaudada en el DRR, sobre las tendencias del cambio de uso del suelo, se determinó el nivel del precio del café al cual los productores estarían incentivados a cambiar sus áreas cultivadas de café por otros usos del suelo. Los productores que venden su producción en café pergamino, destruirían sus cafetales, si el precio por quintal alcanza un precio de \$9.5 por quintal, actualmente este tiene un costo de \$23.3, mientras que, los productores que venden café oro convencional, cambiarían el cafetal si el precio del quintal oro alcanza los \$35, actualmente tiene un precio de \$45.

El 51% de los productores prefieren no sustituir el café por otra actividad productiva, aunque el precio alcance los niveles más bajos. Mantendrán sus plantaciones de café, esperando mejoras en los precios, sin realizar ningún tipo de inversión, ni mantenimiento al cafetal (Cuadro 11).

Cuadro 11. Tendencia del uso de la tierra de la comarca Yassica Sur

Opciones	N° productor	Area actual / café (ha)	% Area afectar	Area afectada (ha)
Mantiene	50	272.2	100	
Ganadería	9	215	75	123.95
Abandonado	7	70.35	100	70.35
Granos básicos	5	7.17	73	4.59
Hortalizas	6	6.6	85	4.5
Granos básicos y hortalizas	4	11.55	65	7.87
Otros	7	5	62	5
No responde	9	713.6	-	
Total	97	1,302		216.2

Fuente: Datos propios

Por otro lado, el 7% de los productores abandonarían por completo el cultivo del café, lo cual implicaría que en estas plantaciones, posiblemente, se permita la regeneración de la vegetación natural. Si el precio de café baja, hasta los niveles mencionados anteriormente, en la zona se tendría 70.35 ha adicionales a las 10.5 ha de CPAB, que actualmente existen (Cuadro 11).

El 9.2% de los productores prefieren cambiar sus cafetales por ganadería, la mayor parte de estos productores son los propietarios de las grandes plantaciones de café. Aunque no representan la mayoría de los productores, el área de café que podría ser convertida a este uso del suelo, sería 86.3% superior al área de café convertida a cultivos anuales y hortalizas. De seguir bajando el precio del café, el 10% del área total de café actualmente establecida pasarían a ser área de pastoreo (Cuadro 11).

El 15.4% de los productores convertirían 1.3% del área total de café, actualmente establecida, en áreas para cultivos anuales como granos básicos y hortalizas. Donde el 27% de esta área sería destinada a granos básicos; el 26.5% para hortalizas y el 46.3% para granos básicos y hortalizas.

Siete de los productores cambiaría sus cafetales por otros cultivos como musáceas y frutales es decir que, posiblemente se incremente la densidad de siembra de las musáceas y pasaría a ser el producto principal del sistema en cambio el café representaría un ingreso adicional. Posiblemente la densidad del cultivo disminuya por la introducción de especies frutales. Cinco ha de café serían afectado por este sistema de producción.

Un cambio futuro del cafetal por cultivos anuales y hortalizas es muy probable en la mayoría de los pequeños productores debido a que estos disponen de áreas limitadas de terreno al mismo tiempo que dependen de los granos básicos como la fuente principal de alimento. En el caso de las hortalizas, resulta viable para los pequeños puesto que se requiere de poco espacio para su establecimiento y los beneficios generados por estos cultivos son mayores que otros, incluyendo el café.

El beneficio económico que generan las hortalizas, es posible obtenerlos siempre y cuando no existan circunstancias negativas que puedan afectarlos, tales como sobre oferta en el mercado, baja demanda del producto o condiciones climáticas adversas a estos cultivos.

4.2 Información biofísica

4.2.1 Modelos alométrico para estimar biomasa aérea en árboles de sombra y café

4.2.1.1 Modelo para estimar biomasa aérea en árboles de sombra

Según el Coeficiente de Correlación de Pearson, existe una alta correlación entre la biomasa aérea y el DAP ($Pr < 0.01$). El coeficiente de correlación entre la biomasa y el diámetro es 0.92; mientras que el de biomasa con altura es 0.48. El hecho que la altura no explique la biomasa, en igual proporción que el DAP, posiblemente se deba al hecho que estos árboles muestreados en algún momento recibieron tratamiento de poda tanto en las ramas como en la parte terminal del tallo, para regular el efecto de sombra brindado por estos al cafetal, por lo tanto la altura que estos árboles tienen no representan un desarrollo normal.

Los modelos probados mediante el análisis de varianza (Pruebas F) fueron altamente significativos, lo cual garantiza su confiabilidad (Segura y Venegas 1999). Los modelos fueron desarrollados en base a un rango de 5 a 44 cm de DAP, distribuidos en cuatro especies, (Cuadro 5). Estos tienen valores de R^2 entre 0.83 y 0.95, lo cual indica que gran parte de la biomasa de los árboles es explicada por esta variable independiente. Además tienen valores bajos del CME (cuadrado medio del error), lo cual significa que no existe mucha diferencia entre los valores observados y los estimados (Anexo 5b).

De todos los modelos, el que mejor estima la biomasa aérea, es un modelo logarítmico a partir de la variable DAP con el R^2 más altos; cuadrado medio del error más bajo y bajo coeficiente de variación. Tanto el modelo como los parámetros fueron altamente significativos ($P < 0.01$). El modelo M14, es el modelo de mejor ajuste y el que explica más del 90% de la variabilidad de la biomasa aérea (Cuadro 12, Gráficos 2). Se graficaron los valores observados y estimados por el modelo. Como se observa en el gráfico 3, estos son similares por lo que los datos se ajustan al modelo estimados. La validez del modelo se comprobó a través del análisis de los residuos (Anexo 5a).

Cuadro 12. Modelo de biomasa de los árboles de sombra, de mejor ajuste, en función del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de cuatro especies y n=35.

Ecuación No.	Modelo	R ²	CV (%)	CME	Pr>F
M14	$L(B) = -0.9578 + 2.3408 * L(D)$	0.95	6.67	0.015	0.0001

L (B): Log 10 de la biomasa del árbol; D: Diámetro a la Altura del Pecho.
 Fuente: Datos propios

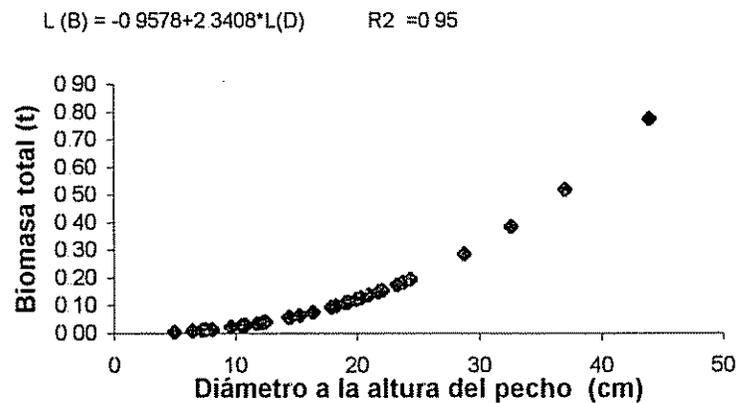


Gráfico 2. Relación entre la biomasa estimada, con el modelo de mejor ajuste (M14), y el DAP de los árboles de sombra

La ventaja de utilizar estos modelos de estimación de biomasa aérea a partir del DAP se debe a que, además de obtener resultados confiables, permite un cálculo simple, a partir de mediciones simples realizadas en el campo.

Por otro lado, las estimaciones de dos o varias variables independientes permiten estimar biomasa con resultados más exactos. Según Segura (1999), al utilizar ecuaciones de dos entradas (DAP y altura) se proveen estimaciones de biomasa más exactas, sin embargo, para utilizar estos modelos se requiere medir la altura total de los árboles y éstas son costosas y sujetas a un alto error, debido principalmente a la presencia de varios estratos y en muchos casos la copa del árbol no es completamente visible, como el caso de ecosistemas boscosos.

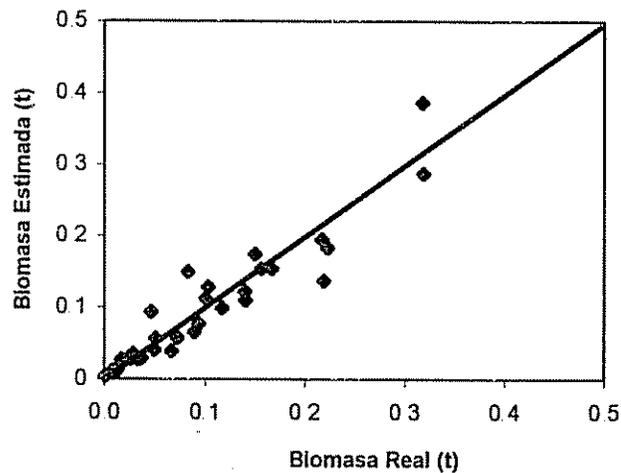


Gráfico 3. Relación de la biomasa aérea real y biomasa estimada de los árboles de sombra con el modelo de mejor ajuste

4.2.1.2 Modelo para estimar biomasa aérea en café

El Coeficiente de Correlación de Pearson fue altamente significativo ($Pr < 0.01$), lo que significa que la probabilidad de que la correlación sea cero, es muy pequeña. El coeficiente de correlación entre biomasa aérea total y el diámetro a 15 cm del suelo es 0.72; mientras que el de biomasa aérea total y la altura de la planta es 0.63.

Los modelos probados mediante el análisis de varianzá (Pruebas F) fueron altamente significativos, al igual que los parámetros estimados, lo cual garantiza su confiabilidad (Segura y Venegas 1999). Todos los modelos seleccionados con mejor ajuste, fueron logarítmicos, de los cuales dos de estos, son en función de la altura total de la planta, siete en función del diámetro del tronco a 15 cm del suelo y el de mejor ajuste esta en función de ambas variables independientes (Anexos 6b). La mayoría de estos modelos tienen un R^2 mayor de 0.8, lo cual indica que la variabilidad de la biomasa es explicada en más del 80% por estas variables. Los valores del CME son bajos, lo cual indica que existe poca diferencia entre los valores observados y los estimados por los modelos.

De todos los modelos desarrollados, el que mejor se ajusta a los datos es un modelo logarítmico a partir de la variable diámetro, a 15 cm del suelo y altura total (Gráfico 4a y 4 b, Anexo 6b). Se graficaron los valores observados y estimados por el modelo, como se observa en el Gráfico 5, estos valores son similares, comprobando con esto, el buen ajuste de los datos al modelo aplicado. Este modelo, M32, tiene el R^2 más alto de todos los modelos y el Cuadrado Medio del Error (CME) más bajo (Cuadro 13 y Anexo 6b). La validez del modelo se comprobó a través del gráfico de los residuos (Anexo 6a), en el cual se demuestra que no existe una tendencia clara de los datos, por lo que se confirma su validez.

Cuadro 13. Modelo de biomasa de café de mejor ajuste, en función al diámetro del tronco a 15 cm del suelo (Rango de diámetro: 0.3 cm-7.5 cm) y altura total de la planta (Rango de altura:0.31m-3.4 m). (n=102).

Modelo No.	Modelo	R^2	CV	CME	Pr>F
M32	$LN(B) = -2.39287 + 0.95285 * LN(D) + 1.2693 * LN(H)$	0.89	53.6	0.237	0.0001

LN: logaritmo natural; B: biomasa ; D: diámetro del tronco a 15 cm del suelo; H: altura total de la planta de café (m)

Fuente: Datos propios

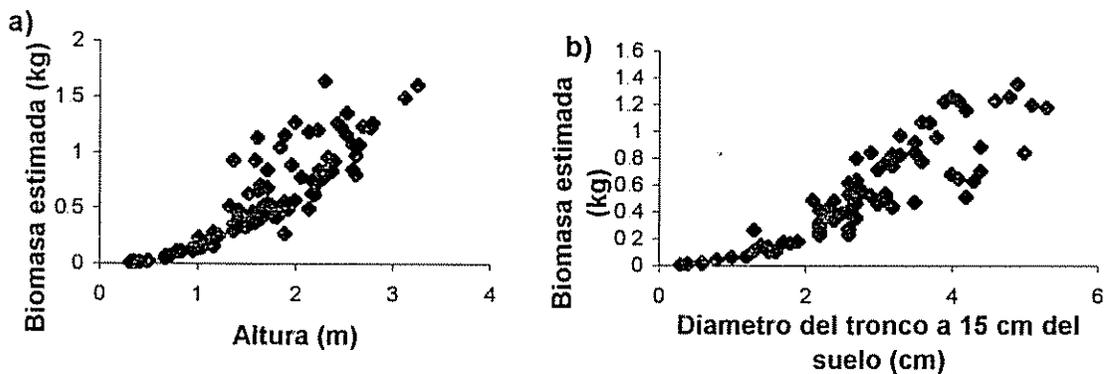


Gráfico 4. Relación entre la biomasa estimada, con el modelo de mejor ajuste, y la altura total de las plantas de café (a); diámetro del tronco a 15 cm del suelo (b).

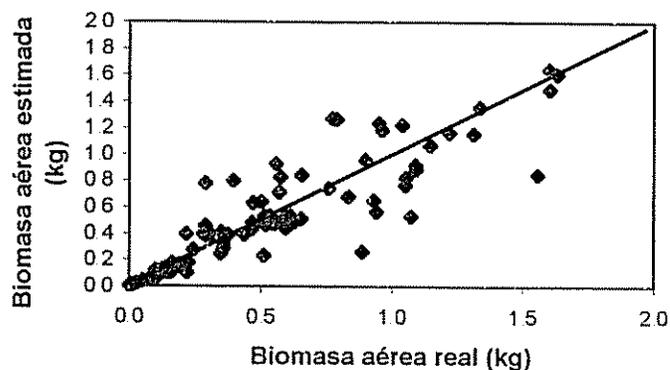


Gráfico 5. Relación entre biomasa real de las plantas de café y biomasa estimada con el modelo de mejor ajuste (M32).

4.2.2 Biomasa y carbono almacenado en las fuentes de almacenamiento: árbol, café, hojarasca y suelo.

4.2.2.1 Biomasa y carbono almacenado en árboles

Los sistemas con mayor cantidad de biomasa y carbono en árboles fueron el sistema de Café Productivo en Abandono (CPAB) y el sistema de Café con Especies Maderables (CPEM). El sistema CPEM supera apenas en 13.8% al carbono y biomasa del sistema CPAB y en 99.9% al sistema con menos carbono y biomasa en los árboles de sombra como es el CJSD <5 m (Gráfico 6 y anexo 7). Los valores encontrados de biomasa y carbono en los árboles de sombra de los diferentes sistemas agroforestales de café por rango de altura se presentan en Anexo 7.

Los factores que podrían influir en que estos sistemas tengan mayores cantidades de biomasa y por ende carbono, podrían ser entre otros: la altura, mayor DAP promedio (Anexo 13) y la edad de estos sistemas, ya que la mayor parte de estos, fueron establecidas hace más de 20 años, lo cual ha permitido el máximo desarrollo y crecimiento de estos árboles de sombra. Algunos de estos árboles parecen haber sido establecidos con la plantación de café, como las *Inga spp*, y el resto ser remanentes de la vegetación original (bosques). Los sistemas de CPAB tienen características similares en cuanto a la edad, composición y variedad de los árboles de sombra y café ya que pertenecían a una sola plantación, la cual fue dividida entre sus trabajadores en la década de los 80. Actualmente los propietarios de estas parcelas son los socios de la cooperativa El enredo.

Los sistemas con menor cantidad de biomasa y carbono en los árboles de sombra fueron los sistemas dentro del rango de altura <5 m, Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD), Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD) y Café Productivo *Inga spp* (CPI), ambos dentro del rango de altura de 5-10 m (Gráfico 6, Anexo 7). El hecho que estos cuenten con menor cantidad de biomasa y por ende carbono, se explica por el hecho de ser árboles pequeños recién plantados, los cuales no han desarrollado suficiente biomasa como los árboles de los sistemas con rangos de altura superiores. En los sistemas con rangos de altura <5 m, los árboles de sombra aportaron entre el 1.02 y 2.06% al carbono total del sistema y tienen en promedio 6.4 (± 1.25) de DAP (Anexo 7 y 13).

Mientras que los árboles de los sistemas con rangos de altura 5-10 m tiene valores intermedios entre los rangos extremos. Por lo que se observa una clara relación entre la altura y el carbono de los árboles, es decir que a mayor altura de los árboles, mayor carbono almacenado. Los resultados encontrados concuerda con lo encontrado por Romero citado por Escobar *et al.* (2002) quien determinó una relación entre altura de árboles y fijación de carbono de 1:1.

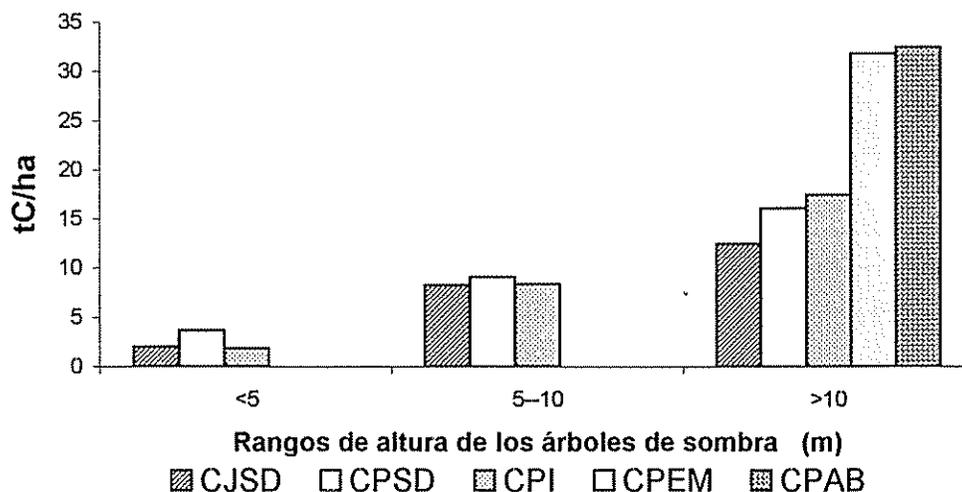


Gráfico 6. Carbono almacenado (tC/ha) en los árboles de sombra de los sistemas de café a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra (m)

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada; CPI: Café productivo con *Inga spp*; CPEM: Café prodespecies maderables; CPAB: Café productivo en abandono

La cantidad de carbono almacenado en los árboles de sombra de los sistemas de CPEM y CPAB son superiores al rango encontrado por Kursten y Burschel (1993), los cuales determinaron un rango de 3 y 25 tC ha⁻¹ para árboles de sombra en sistemas agroforestales. Mientras que Alvarado *et al.* (1999), determinaron que el aporte de los árboles de sombra dentro de los cafetales de Guatemala, a nivel nacional, fue de 15.82 tC ha⁻¹, lo cual se asemeja a los tres primeros sistemas del rango >10 (Anexo 7), aunque no se menciona el tipo de sombra ni las densidades de los árboles promedios. Por otro lado Fournier (1996) determinó 24.2 tC ha⁻¹ en los árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*) asociados con café en Ciudad Colón, Costa Rica. Mientras que Avila (2000), encontró 2.08 a 4.43 tC ha⁻¹ en cuatro sistemas agroforestales de café, tres asociados con *E. deglupta* de diferentes edades y un sistema de café con Poró (*Erythrina poeppigiana*) mayor de 10 años. El rango de valores encontrados por Avila (2000) se asemejan a los valores encontrado en los sistemas de café con rango de altura < 5 m.

Comparando los resultados del estudio y lo reportado por la literatura, se puede afirmar que la cantidad de carbono aportado por los árboles dentro de los sistemas agroforestales de café es menor en relación a una plantación forestal y bosques naturales. Según Gómez y Ramírez (1999), una plantación con una especie de "turno de cosecha" corto (12 años), alcanzaría un almacenamiento máximo de 92.4 t ha⁻¹ al final del año 12, lo cual superaría en 190.5% al sistemas con mayor cantidad de carbono en árboles (CPEM); mientras que una especie de "turno de cosecha" mediano (18 años) alcanzaría un almacenamiento máximo de 138.6 t ha⁻¹ siendo 335.8% superior al carbono almacenado en árboles del sistema CPEM y para una especie de "turno de cosecha" largo (24 años) alcanzaría un almacenamiento máximo de 184.8 t ha⁻¹ superando en 481.1% al sistema CPEM.

La razón por la que el estrato árboles de un SAF de café, almacenan menos cantidades de carbono, comparado a una plantación forestal, posiblemente se deba a que las densidades de siembra de árboles es menos en los SAF, debido a la limitación del espacio, ya que la mayor parte es ocupada por el cultivo de café. En un SAF de café los árboles de sombra ocupan un segundo lugar de importancia, dentro del sistemas, debido a los beneficios que estos proveen al desarrollo del cultivo y mantenimiento del sistema. Mientras que en una plantación forestal el producto principal se derivada de los árboles de la plantación, por lo tanto estos son distribuidos con mayores densidades de siembra dentro del área, lo cual almacena más carbono que en un SAF.

Por otro lado Segura (1999), determinó 133.8 y 111.4 tC ha⁻¹ en parcelas permanentes de muestreo (PPM) localizados en zonas de vida de bosque muy húmedo tropical, según Holdrige. El valor superior del rango encontrado por Segura (1999), es 320% mayor al valor encontrado en el sistema de CPEM, el cual fue el sistema con mayor cantidad de carbono en los árboles de sombra, mientras que el valor inferior encontrado por Segura (1999), es 5763% superior a la cantidad de carbono encontrado en el sistemas con menos carbono en esta fuente (CPI <5 m) (Anexo 7). Los resultados obtenidos por Segura (1999) provienen de especies dominantes según el área basal por tratamientos silvicultural.

Los árboles de sombra, representa la segunda fuente de almacenamiento, importante, en los sistemas agroforestales de café. Esta fuente, aporta entre 5.6% y 13.8% al carbono total del sistema. Los árboles de los sistemas con rangos de altura >10 m, aportaron mayores cantidades de carbono al sistema que los de rangos de alturas menores. En los sistemas con rangos de altura <5 m, esta fuente contribuyó, apenas con el 1.4% al carbono total y su aporte es menor que el de la hojarasca.

4.2.2.2 Biomasa y carbono en café

El rango de valores encontrados de biomasa en el cultivo del café fue de 0.4 a 5.6 t ha⁻¹, mientras que en carbono fue de 0.2 a 2.8 t ha⁻¹ (Anexo 8). Los sistemas con mayores cantidades de biomasa y carbono en el cultivo del café fueron el CPI y el CPAB ambos en el rango de altura >10 m. La razón por la que estos sistemas superan al resto de los sistemas podría ser el hecho que son plantaciones con más de 20 años, en la mayoría de caso, las cuales han recibido de dos a tres podas totales, encontrándose muy frecuentemente, plantas de café compuesta por dos o más tallos, originados en los troncos recepados⁵. Otra factor que puede tener influencia sobre el resultado obtenido en CPI >10 m, además de la edad y el manejo recibido por el café, podría ser la densidad de siembra del cultivo (5500 plantas ha⁻¹) (Anexo 13). Por otro lado los sistemas CPSD >10 m y CPEM>10 m tienen 4660 y 4433 plantas ha⁻¹, respectivamente. De igual manera tienen 43% (CPSD >10 m) y 39% (CPEM >10 m) menos biomasa y carbono por ha que el sistema CPI>10 m (Anexo 8 y 13).

⁵ tronco de 0.35 – 0.50 cm, producto de la poda total de plantas viejas y/o enfermas, de los cuales nacen los retoños que sustituyen a la planta original.

Los sistemas con menos biomasa y carbono en el cultivo de café fueron los sistemas de CJSD en todos los rangos de altura de los árboles de sombra (Gráfico 7). La razón por la que estos sistemas tienen los resultados más bajos se debe a que el cultivo de café dentro de estos sistemas han sido establecidos recientemente, menos de tres años, por lo que no han desarrollado suficiente biomasa como el resto de sistemas.

Algunos autores han reportado datos sobre biomasa en café superiores, a los encontrados en el estudio, en diferentes sistemas agroforestales de México, Costa Rica y Venezuela. Alpizar et al. (1985) obtuvo en Turrialba, Costa Rica, 7.9 t ha^{-1} de biomasa aérea del café en un sistema asociado con laurel (*Cordia alliodora*) mientras que en café con Poró gigante (*Eritrina poeppigiana*) determinaron 15.3 t ha^{-1} . Mientras que Aranguren y Herrera (1982) determinaron en Venezuela, 40.5 t ha^{-1} de biomasa aérea de café con una densidad de $5,597 \text{ plantas ha}^{-1}$, asociado con *Inga spp* y otros árboles de sombra; Aranguren et al (1982), encontraron en Veracruz, México un sistema de café asociado con *Inga jinicuil* y musáceas, 16.7 t ha^{-1} de biomasa de café a una densidad de $3,600 \text{ plantas ha}^{-1}$.

De igual manera los valores del carbono almacenado en el cultivo del café encontrados en el estudio son inferiores a resultados encontrados por otros autores tales como Alpizar et al. (1985), el cual determinó 3.93 tC ha^{-1} en sistemas de café asociado con Laurel (*Cordia alliodora*) y 7.6 tC ha^{-1} en café asociado con Poró (*Eritrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. Mientras que Avila (2000) encontró de $4.1- 5 \text{ tC ha}^{-1}$ en café asociado con *E. deglupta* a diferentes edades en Costa Rica. Por otro lado Fournier (1996) encontró 8.4 tC ha^{-1} en un sistema de café asociado con Poró en el Valle Central de Costa Rica y Márquez (1997) encontró 3.77 t ha^{-1} en Guatemala.

En general, se puede observar que tanto la biomasa como el carbono del cultivo de café en los sistemas estudiados es baja en relación a los datos reportados por la literatura, aún cuando las densidades de siembra del cultivo de los sistemas bajo estudio son mayores. El hecho de tener poca biomasa en el café posiblemente se deba a que estos sistemas, en general, no tienen el nivel de sombra adecuada para que las plantas alcancen su máximo crecimiento. Alpizar et al. (1985) concluye, con base en investigaciones de varios autores, que el crecimiento del cafeto y con ello su producción de biomasa, disminuye considerablemente cuando el porcentaje de luz que la planta recibe es menor a 30%, observándose un crecimiento normal, pero no máximo, en condiciones de sombra media

considerablemente cuando el porcentaje de luz que la planta recibe es menor a 30%, observándose un crecimiento normal, pero no máximo, en condiciones de sombra media entre 40 y 75%; el máximo crecimiento se logra con valores cercanos a 100% de luz recibida, siempre y cuando factores como fertilización y agua no sean limitante. Esto unido al efecto de auto sombramiento del cultivo, lo cual es la causa principal de la disminución fotosintética del cafeto y por lo tanto de su crecimiento.

Otro de los factores podría ser el tratamiento de poda que reciben las plantas de café para impedir el desarrollo de retoños y el crecimiento de la planta a través del corte de las partes terminales con el fin de permitir el desarrollo de nuevas ramas o bandolas y obtener mayores niveles de fructificación por planta, lo cual evita que la planta tenga un desarrollo normal, menor biomasa y por ende menor carbono. En todos los sistemas agroforestales, el café es la fuente que almacena menos carbono al sistema.

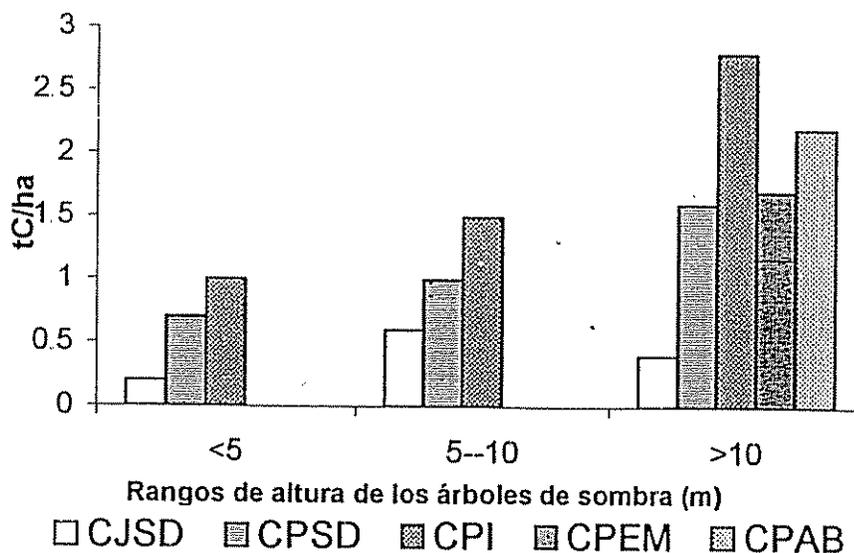


Gráfico 7. Carbono almacenado (t /ha) en el cultivo del café de los diferentes sistemas por rango de altura de los árboles de sombra (m)

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada; CPI: Café productivo con Inga spp ; CPEM: Café productivo con especies maderables; CPAB: Café productivo en abandonado.

4.2.2.3 Biomasa y carbono almacenado en hojarasca

La biomasa encontrada en la hojarasca de los sistemas oscila entre 6.3 y 19.7 t ha⁻¹. El carbono representa el 50% de la biomasa, con un rango de 3- 9.6 t ha⁻¹. Los sistemas con mayor cantidad de carbono son los sistemas dentro del rango >10 m, excepción del sistema de Café Productivo Abandonado (CAB), y los sistemas de Café Productivo con Sombra Diversificado (CPSD) <5 y 5-10 m. El sistema que reportó la mayor cantidad tanto en biomasa como en carbono en la hojarasca fue el Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD) con rango de altura > 10 m y el sistema que reportó las cantidades más bajas fue Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD) con rango de altura entre 5-10 m (Gráfico 8 y Anexo 9).

La cantidad de biomasa encontrada en hojarasca en los SAF bajo estudio, se asemejan a algunos resultados encontrados por otros autores. Suárez de Castro y Rodríguez (1955) citados por Alpizar et al. (1983), encontraron 13.07 t ha de biomasa en una plantación vieja de café asociada con *Inga* spp, cuyos resultados se asemeja al sistema CPI >10 m; mientras que Jiménez y Martínez (1979) citados por Alpizar et al. (1983), encontraron de 7,4 y 6.7 t ha de biomasa en plantaciones bajo condiciones similares con un rango de 2-20 años de edad, en Veracruz, México. Estos valores se asemejan a la biomasa encontrada por los sistemas CPI <5 y 5-10 m. Por otro lado Alpizar et al (1983), encontró de 5.7 y 7.6 t ha⁻¹ año⁻¹ en un sistema de café con laurel (*Cordia alliodora*), cercano a los resultados de los sistemas de CPI <5 y 5-10 m, CPSD de 5-10 m y al sistema CAB >10 m. Estos resultados se encuentran en el ámbito reportado por la literatura de 4 - 8 t ha⁻¹ para los sistemas con sombra (Alpizar et al. 1983) y los de Suárez de Castro (1961) citado por Alpizar (1985) los cuales oscilan de 0.89 t ha⁻¹ para plantaciones jóvenes hasta 23.06 t ha⁻¹ en cafetales viejos.

Mientras que Aranguren et al. (1982) citados por Alpizar et al. (1983), determinaron 11.2 t ha⁻¹ de biomasa en un sistema de café con *Inga* spp, *Erythrina* sp. y otros árboles de sombra con 7 años de edad. Dicho valor se asemeja a los sistemas de CPSD <5 y 5-10 y al sistema de CJSD >10 m. (cuadro 21). Por otro lado Alpizar et al. (1983), determinó 20 t ha⁻¹ de biomasa de hojarasca producto de la poda y caída natural de las hojas de los árboles de sombra en un sistema de café con poró (*Erythrina poeppigiana*), mientras que Beer y Glover (1983) citados por Alpizar (1983) determinaron 17.8 y 16.1 t ha para un sistemas de café con poró (*Erythrina poeppigiana*) y café, poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*),

respectivamente. Dichos valores se asemejan a los sistemas de café productivo con sombra diversificada y café con especies maderables (Anexo 9).

Por otro lado el carbono almacenado en la hojarasca de los sistemas estudiados se encuentran entre algunos rangos encontrados por otros autores. Russo y Fournier (1984) citados por Fournier (1996), determinaron que en un sistema agroforestal de café en asocio con árboles de Poró (*Erythrina poeppigiana*), con crecimiento libre y densidad de 90 árboles ha⁻¹, la hojarasca almacena 4 tC ha⁻¹, lo cual coinciden con el sistema CJSD <5 m, CPI <5m y 5-10 m (Gráfico 8). Mientras Alvarado et al. (1998) determinaron el potencial de almacenamiento de la hojarasca, en Guatemala a nivel nacional, con un promedio de 6.23 tC ha⁻¹ el cual contribuye con el 6.8% del carbono total almacenado en el agro ecosistema.

La tercera fuente de importancia de almacenamiento en los SAF con rangos de altura de los árboles de sombra de 5-10m y >10 m es la hojarasca, mientras que en los sistemas de café con rangos de altura <5 m esta representa la segunda fuente de almacenamiento importante. Esta fuente contribuye con el 2.3% y 3.9% al carbono total del sistema.

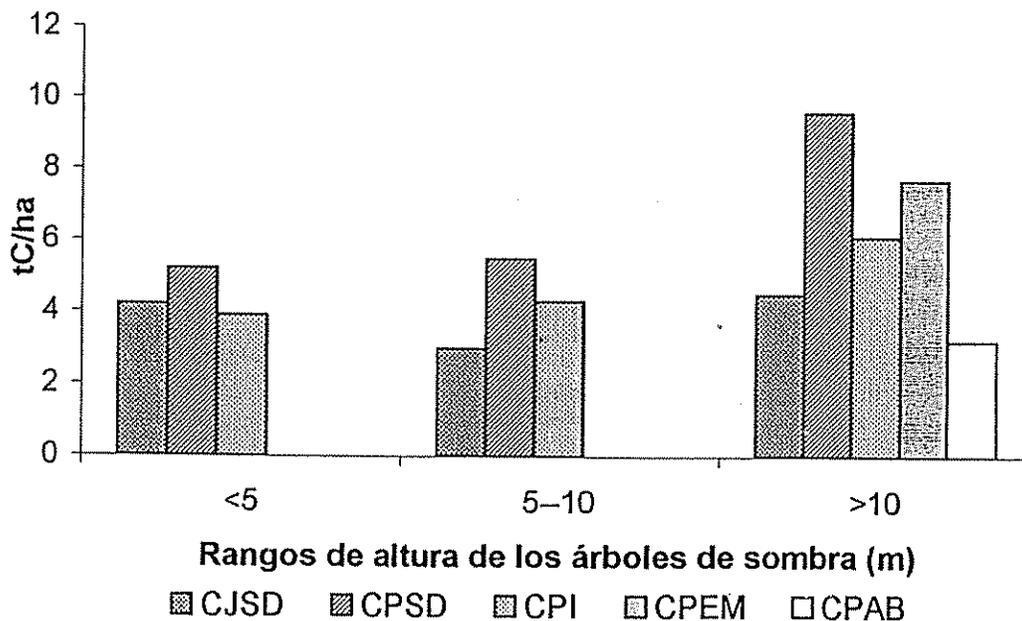


Gráfico 8. Carbono almacenado (tC/ha) en la hojarasca de los diferentes sistemas por rango de altura de los árboles de sombra (m)

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada; CPI: Café productivo con Inga spp.; CPEM: Café productivo con especies maderables; CPAB: Café productivo en abandonado.

4.2.2.4 Contenido de Materia Orgánica (MO) y carbono en suelo

El suelo, es la fuente de almacenamiento de C más importante dentro de los sistemas agroforestales de café, el cual aporta entre el 80-95.8% del carbono total del sistema. El rango de % MO, contenido en los primeros 25 cm de profundidad del suelo fue de 3.7-5.9, mientras que en los subsiguientes 25 cm (25-50 cm) fue, en promedio, 54% (± 10) inferior a los primeros 25 cm. Los resultados encontrados se encuentran dentro del rango de valores encontrados por Vallejos y Velásquez (1998), los cuales determinaron de 3 – 8% de MO en suelos dentro de la zona.

Es importante mencionar que la materia orgánica de los suelos dependen de varios factores, por lo que al realizar comparaciones entre sistemas con diferentes condiciones agro ecológicas hay que comparar también los factores que los afectan. Según Robert (2002) los factores que afectan la materia orgánica son: la vegetación, ingreso de residuos, composición de las plantas, factores climáticos, condiciones de temperatura, humedad y las propiedades del suelo como textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez. Por otro lado, Okeke y Omalito (1992) afirma que la descomposición de la hojarasca contribuye a la fertilidad del suelo a través de la regeneración de nutrientes para las plantas y el mantenimiento de la materia orgánica en el suelo .

El contenido de carbono en los sistemas agroforestales de café varió de 112 a 188.3 t ha⁻¹. Los sistemas con los valores más altos de MO y carbono en el suelo fueron los sistemas de café con rangos de altura <5 m y el sistema CPI > 10 m. Los sistemas con menos carbono en el suelo fueron CPEM y CPAB, ambos >10 m (Anexo 10, Gráfico 9).

Los resultados de MO encontrados en el estudio, son inferiores a los encontrado por Ávila (2000), a 30 cm de profundidad sin incluir biomasa radicular mayor a 0.25 mm de diámetro, en tres sistemas de café asociados con *Eucalyptus deglupta* de diferentes edades, café con poró (*Erytrina poeppigiana*) y café a pleno sol, en Costa Rica. Avila (2000) determinó 7.2 en el sistema café- *E. deglupta* de 8 años y 12.2 para café con poro (*Erytrina poeppigiana*) y a pleno sol. El valor superior encontrado por Avila, supera en 121% y 107% a los sistemas con los valores más altos de MO en el estudio, CPSD >10 y CPI > 10 m respectivamente; en 197% y 230% a los sistemas con menos contenido de MO, CPEM y CPAB respectivamente (Anexo 10).

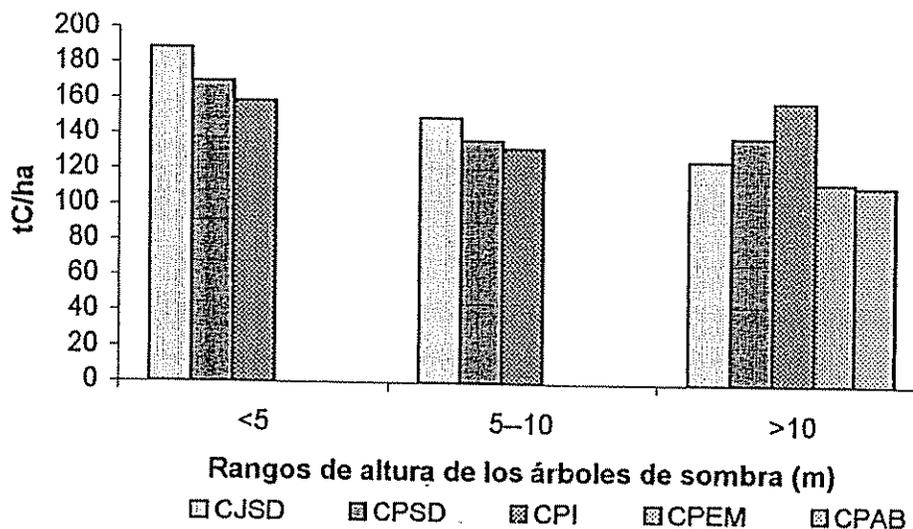


Gráfico 9. Carbono almacenado (tC/ha) en el suelo de los diferentes sistemas de café por rango de altura de los árboles de sombra (m)

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada; CPI: Café productivo con *Inga* spp.; CPEM: Café productivo con especies maderables; CPAB: Café productivo en abandonado

Los resultados encontrados en el estudio, son superiores a los obtenidos por otros autores en agroecosistemas cafetaleros de Costa Rica y Guatemala. Avila (2000), determinó un rango de 87.3 – 66.24 tC ha⁻¹, a 30 cm de profundidad, en tres sistemas de café asociados con *Eucalyptus deglupta* a diferentes edades y café con Poró >10 años, en Costa Rica.

Alvarado *et al.* (1999) estimaron un promedio de 60.8 tC ha⁻¹ en suelos de sistemas agroforestales de café a nivel nacional de Guatemala. Dicho estudio no da referencias sobre la profundidad a la cual se estimaron los resultados; mientras que Winrock (1998), estimó un promedio de 47.7 tC ha⁻¹ a 30 cm de profundidad en la región de San Juan La Laguna, también en Guatemala. Este último dato es el valor más bajo reportado en la literatura tanto para el tipo de sistema como para la profundidad mencionada. La razón por la que los resultados obtenidos por estos autores sean inferiores a los encontrados en el estudio podría ser, entre otros factores, a que estos resultados provienen de muestras tomadas a menores profundidades.

Por otro lado, en sistemas de producción silvopastoriles Fournier (1996) determinó 160.7 tC ha⁻¹ a 40 cm de profundidad; López (1998) determinó a 50 cm de profundidad 233 tC ha⁻¹, en sistemas silvopastoriles de laurel (*Cordia alliodora* R&P) con pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq) en suelos fértiles, mientras que estos mismos sistemas, con suelos menos fértiles, determinó entre 180-200 tC ha⁻¹, en la Costa Atlántica de Costa Rica. El hecho que estos sistemas de producción contienen cantidades similares o superiores a los SAF de café bajo estudio, se deba al aporte de C de las raíces del pasto. Según López (1998), las pasturas mejoradas en los sistemas silvopastoriles adicionan carbono en el suelo por medio de la descomposición rápida de sus raíces.

Según los resultados obtenidos en el estudio, parece existir una relación inversa entre el carbono almacenado en el suelo y el carbono almacenado en los árboles de sombra, ha medida que estos incrementan la altura. Sin embargo, no es posible justificar o explicar la influencia del tipo de SAF de café sobre el contenido de carbono en el suelo, debido a la existencia de otros factores los cuales podrían explicar de mejor manera el contenido de carbono en el suelo tales como: propiedades físico-químicas del suelo, antecedentes del uso del suelo, dinámica del ingreso y egresos del carbono en el sistemas entre otros, los cuales no fueron considerados en el estudio. Resultados similares fueron obtenidos por Winrock (1999), los cuales determinaron que existe una relación inversa entre el carbono almacenado en la biomasa aérea y el contenido de carbono en el suelo en una plantación de *E. camaldulensis* y en un ecosistema Cerrado, Savana húmeda – subhúmeda, la cual cubre más del 50% del estado de Minas Gerais y cerca del 20% de Brasil Central.

El hecho que los sistemas de café con rangos de altura de los árboles de sombra <5 m, tengan los valores más altos de carbono en el suelo, no significa que se deba al tipo de sistema de café establecido, sino más bien, podría ser por el uso anterior del suelo, lo cual permitió que estos obtengan contenidos altos de materia orgánica y por lo tanto carbono. Estos sistemas además de tener valores altos de carbono, también tienen valores altos de materia orgánica. Esto podría complementarse con la composición química del suelo. Según Vogt et al. (1996), la composición química del suelo puede ser un factor importante en la determinación de la producción de la materia orgánica del suelo, en vez de las condiciones climáticas.

Por otro lado se observa que, los sistemas con los niveles más bajos de carbono en el suelo, tales como CPEM y CPAB, compensan con el carbono almacenado en los árboles de sombra. Ambos sistemas tienen los valores más altos de carbono en árboles (Gráfico 6) y los más bajos en suelo (Gráfico 9).

Turner y Lambert (2000), determinaron el efecto en el carbono orgánico del suelo (COS) por el establecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en el este de Australia, en el cual se demuestra un patrón definido de disminución del carbono orgánico del suelo (COS), aún 20 años después de haber sido establecidas la plantación, comparado con la vegetación nativa. Los autores concluyen que la intervención del suelo producto de plantaciones forestales resulta en la pérdida de carbono en diferentes tasas a lo largo del perfil del suelo. Sin embargo, estas pérdidas podrían ser compensadas por la acumulación de carbono en la vegetación.

4.2.3 Biomasa y carbono total aéreo almacenado en los sistemas agroforestales de café a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.

La biomasa aérea (café, árboles y hojarascas) encontrada en los sistemas de café se encuentra entre 12.9 y 83.95 t ha⁻¹, mientras que el carbono aéreo se encontró entre 6.4 y 41.2 tC ha⁻¹ (Gráfico 10 y Anexo 11). Los sistemas con mayor biomasa y carbono aéreo fueron los sistemas de café con rangos de altura >10 m, siendo los árboles de sombra los que aportan con más del 60% de la biomasa aérea total de estos sistemas, al igual que los sistemas con rangos de altura 5-10. Mientras que en los sistemas de café con rangos de altura <5 m, la mayor parte de la biomasa y el carbono aéreo es aportada por la hojarasca puesto que tanto el cultivo de café como los árboles de sombra son muy pequeños, los cuales no han desarrollado la cantidad de biomasa existente en otros sistemas (Gráfico 10 y anexo 11).

El hecho que los sistemas con rangos de altura de los árboles de sombra >10 m tengan mayores cantidades de biomasa aérea y carbono aéreo, posiblemente se debe al hecho de que los árboles dentro de estos sistemas son más desarrollados que los árboles de los sistemas con rangos de altura menores. Esto sumado a la edad y tratamientos de poda que han recibido los sistemas. Los sistemas que tienen mayor biomasa y carbono aéreo son CPAB y algunos de CPEM, los cuales fueron establecidos hace más de 20 años, encontrándose plantas de café con varios tallos productivos originados de troncos de 8-12

cm de diámetro a los 15 cm del suelo y de 0-35-50 cm de longitud, lo cual aporta biomasa tanto a las plantas de café como al sistema. Por otro lado, en plantaciones con menos años de establecimiento las plantas de café por lo general tienen un solo tallo principal o un tallo originado por un tronco podado.

Existe mucha variabilidad entre los resultados obtenidos en el estudio, sobre biomasa aérea y algunos reportados en la literatura. Alpizar *et al.* (1985), determinaron, en el experimento central de CATIE, 37.4 y 35.5 t ha⁻¹ de biomasa aérea en un sistema de café con laurel (*Cordia alliodora*) y café con Poró (*Erythrina poeppigiana*) respectivamente. Ambos resultados son mayores a los datos obtenidos en los sistemas con rangos de altura < 5 y 5-10 m y menores a los de > 10 m.

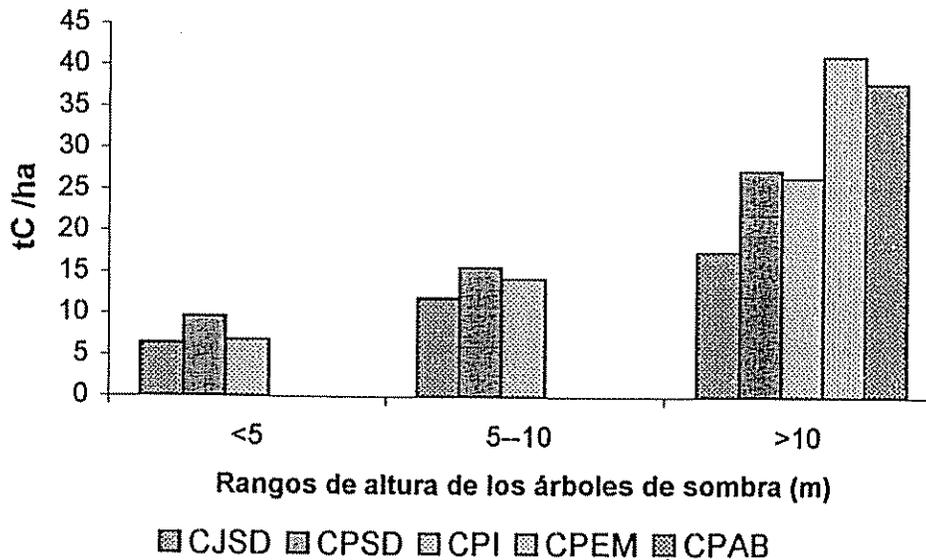


Gráfico 10. Carbono aéreo (tC/ha) de los sistemas agroforestales de café a diferentes rangos de altura de los árboles de sombra (m)

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada; CPI: Café productivo con Inga spp.; CPEM: Café productivo con especies maderables; CPAB: Café productivo en abandonado.

Por otro lado Ávila (2000), determinó biomasa y carbono aérea en tres sistemas agroforestales de café con *Eucalyptus deglupta* de edades diferentes y en un sistema de café con poró (*Erythrina poeppigiana*) mayor a 10 años en Costa Rica. Los valores encontrados de biomasa y carbono fueron de 27.8 t ha⁻¹ y 15.53 tC ha⁻¹ para café con *E.*

deglupta de 4 años; 17.8 t ha⁻¹ y 7.7 tC ha⁻¹ para café con *E. deglupta* de 6 años; 27.5 t ha⁻¹ y 12, 3 tC ha⁻¹ para *E. deglupta* de 8 años y en café con Poró (*Erythrina poeppigiana*) encontró 24.15 t ha⁻¹ y 10.57 tC ha⁻¹ respectivamente. El sistema café con *E. deglupta* de 4 años se asimila al sistema de CJSJ de 5-10 m y CPI 5-10 m.

La gran variabilidad encontrada entre los resultados obtenidos en el estudio y los obtenidos por otros autores posiblemente se deba entre otros factores a la edad, densidad, altura y manejo, tanto del cultivo como de los árboles de sombra, además de las especies de árboles dentro de los agroecosistemas.

En los agroecosistemas cafetaleros provistos de sombra o con especies maderables intercaladas con los cafetos, se mantiene una considerable biomasa en pie, caso contrario a otros sistemas de monocultivo como las pasturas y los cultivos agrícolas donde la biomasa aérea es muy baja en comparación a los sistemas agroforestales por el número reducido o nulo de árboles de sombra (Fournier 1996). En sistemas silvopastoriles combinados con *Eucalyptus deglupta* y *Acacia mangium*, Andrade (1999) determinó que biomasa aérea total proveniente de los árboles y pastos varió entre 8-10.1 t ha⁻¹, sin tomar en cuenta la biomasa aportada por la hojarasca, lo cual es alrededor del 50% inferior a lo encontrado por Avila (2000) en sistemas similares donde la biomasa aérea fue de 15.62 a 18.95 t ha⁻¹ para el sistema de pasto *B. rizanta* con *E. deglupta* y *B. bizanta* con *A. Mangium*, respectivamente.

4.2.4 Carbono total en los sistemas agroforestales de café con diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.

Según Fournier (1996), los agroecosistemas cafeteros provistos de sombra o con especies maderables intercaladas con los cafetos, mantienen una considerable biomasa en pie, así como una gran cantidad de carbono, fijado tanto en esta biomasa como en la hojarasca y en el suelo. Por otro lado Dixon et al. (1994) citado por Dixon (1995), afirma que el rango de valores encontrados para carbono almacenado en sistemas agroforestales se encuentra entre 12 y 228 tC ha⁻¹, incluyendo el suelo.

Mientras que el carbono total almacenado por los diferentes sistemas de café, bajo estudio, oscila entre 143.6 y 194.7 tC ha⁻¹, los cuales se encuentran dentro del rango propuesto por Dixon et al., (1994) citado por Dixon (1996). El sistema con mayor cantidad de carbono total fue el CJSJ <5 m, seguido por el CPI >10 y el CPSJ <5 m (Anexo 12, Gráfico 11). La razón

por la que el sistema CJSD <5 m, tenga el valor más alto encontrado se debe al aporte del suelo ya que, además de ser el que tiene mayor cantidad de carbono de todos los sistemas (Gráfico 9 y Gráfico 11), contribuye con el 96.7% del carbono total. La parte aérea contribuyo solamente con 6.4 tC ha⁻¹. En el caso del sistema de CPI >10 m se justifica al hecho que el carbono en la hojarasca obtuvo el valor más altos de todos los sistemas (Gráfico 8, Anexo 9), mientras que el carbono del suelo, fue el tercer valor más alto encontrado en los sistemas. Por otro lado, en el sistema de CPSD < 5 m se debe al carbono encontrado en el suelo, el cual fue el segundo valor más alto encontrado.

Los sistemas con menos carbono son el CJSD >10 m, seguido por el sistema CPI 5-10m y CPAB >10 m. Los resultados obtenidos en el sistema CJSD >10 m se deben al bajo aporte de los árboles y el cultivo de café, en comparación del resto de los sistemas con ese mismo rango; en el sistema CPI 5-10 m, se debe al bajo aporte del suelo. En relación al sistema CPAB >10 m se debe al bajo aporte del suelo y la hojarasca al carbono total del sistema (Gráfico 8 y 9).

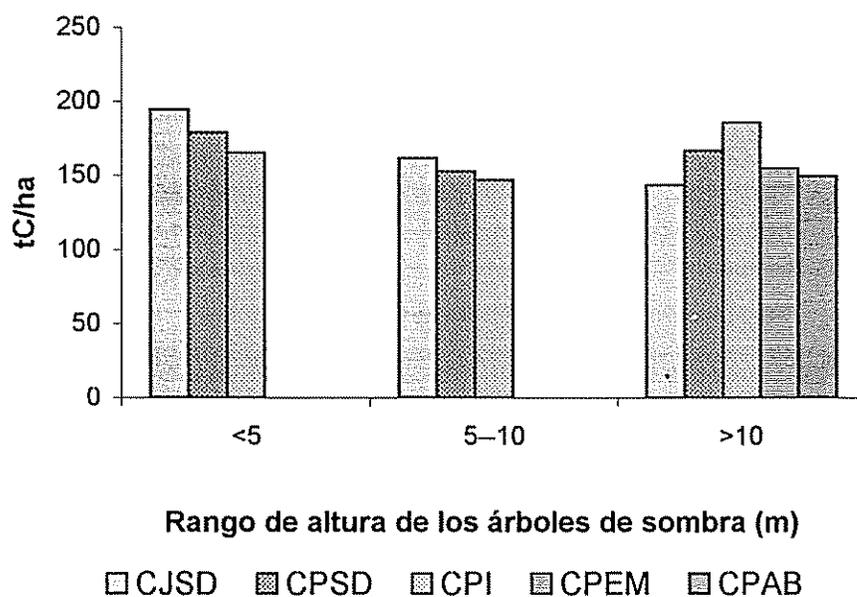


Gráfico 11. Carbono total (tC/ha) en los sistemas agroforestales de café a diferentes alturas de los árboles de sombra

CJSD: Café joven con sombra diversificada; CPSD: Café productivo con sombra diversificada ;CPI: Café productivo con Inga spp ; CPEM: Café productivo con especies maderables ; CPAB: Café productivo en abandonado

En los sistemas con rangos de altura 5-10, el sistema que más carbono almacenó fue el CJSD, seguido por CPSD y en tercer lugar el CPI (Gráfico 11). Estos sistemas tienen un promedio de 12.63 (± 1.44) cm de DAP.

Existe cierta similitud entre los resultados obtenidos en el estudio y algunos reportados por otros autores en la literatura sobre sistemas agroforestales de café. Por ejemplo, en ciudad Colón, Costa Rica, Russo y Fournier (1984) determinaron 198.5 tC ha⁻¹ en un agro ecosistema cafetalero con Poró, de libre crecimiento, lo cual es ligeramente superior al valor encontrado en CJSD < 5 m (Anexo 12), sin embargo estos resultados incluyen raíces de los árboles y del cultivo de café los cuales contribuyeron con 2.5% aproximadamente, al total almacenado. Si no se tomara en cuenta el factor raíz la cantidad total almacenada fuera de 194.12 tC ha⁻¹, cuyo valor es similar al sistema CJSD < 5 m. Por otro lado Avila (2000), determinó un rango de almacenamiento de 120 a 195 t C ha⁻¹ en tres plantaciones de café asociadas con eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) de diferentes edades y un sistema de café con Poró (*Erythrina poeppigiana*) en el Valle Central de Costa Rica.

Sin embargo los resultados obtenidos en el estudio superan los resultados encontrados para sistemas agroforestales de café en Guatemala. Según Alvarado *et al.* (1998), el carbono total almacenado de los sistemas agroforestales de café, a nivel nacional, es de 64-111 tC ha⁻¹. Mientras que Winrock *et al.* (1998) determinaron un rango de 73 – 100 tC ha⁻¹ para sistemas de café en la región San Juan La Laguna. El sistema con más carbono acumulado, hasta ahora reportado, es el sistema café con Poró reportado por Fournier (1996) con 198.52 tC ha⁻¹ y los de menos carbono son los sistemas de la región San Juan La Laguna, Guatemala con un promedio de 85 tC ha⁻¹.

Aunque existe mucha variabilidad entre los datos obtenidos en el estudio y los reportados por la literatura, estos superan al carbono almacenado por otros usos de suelo como cultivos anuales o áreas degradadas. Márquez (2000) al igual que Winrock *et al.* (1998) determinó que los sistemas con cultivos anuales y tierras degradadas almacenan alrededor de 35 tC ha⁻¹ y 34 t C ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado Alvarado *et al.* (1999) encontró que el cultivo de maíz almacena 61.7 tC ha⁻¹; Cairns y Meganck (1994) determinaron 15 tC ha⁻¹ y en tierras dedicadas a la agricultura 5 tC ha⁻¹. Estos usos del suelo almacenan menos carbono que el agro ecosistema café ya que no cuentan con el componente arbóreo y por lo

tanto la biomasa arriba del suelo depende de la contribución de la maleza o residuos de los cultivos lo cual nunca igualará al potencial de fijación de la masa forestal.

4.2.5 Selección del nivel óptimo ecológico

Para seleccionar el nivel óptimo ecológico, en base a la cantidad de carbono almacenado en los diferentes sistemas de producción de la zona, se asignó un promedio de 33.6 tC ha⁻¹ (±28) a granos básicos y hortalizas tomando en cuenta lo reportado por Alvarado *et al.*, (1999), Máquéz (2000), Winrock (1998) y Cairns y Meganck (1994). Los sistemas de producción que se les asigna este valor son Maíz (*Zea maiz*) y Frijol (*Faseolus vulgaris*), ya que ambos son cultivados en el mismo terreno, pero en diferentes épocas del año y al cultivo del Chayote (*Sechium edule*), Chiltoma (*Capsicum sp.*) y Tomate (*Lycopersicum esculentum*); mientras que el sistema de producción ganadera, se le asigna un valor promedio de 75 tC ha⁻¹ (±8.3); en base a lo reportado por Alvarado *et al.* (1999) y Avila (2000).

En relación a los sistemas agroforestales de café, el sistema de CJSD almacena en promedio 166.7 tC ha⁻¹ (± 26); CPSD almacena 166.3 tC ha⁻¹ (±13.2); mientras que los sistemas CPI, CPEM y CPAB almacenan 166.1 (±19.5), 155.1 (± 31.5) y 144.7 (± 17.3), respectivamente.

De todos los sistemas de producción, el sistema Café Joven con Sombra Diversificada, contiene mayores cantidades de carbono, en teoría, este sistema representa el nivel óptimo ecológico, sin embargo este sistema representa la etapa inicial de desarrollo del sistema CPSD y su stock actual de carbono posiblemente cambie a medida que los árboles de sombra y cultivo del café se desarrollen. Por esta razón se determinó como nivel óptimo ecológico el punto medio de todos los sistemas de café (159.8 tC ha⁻¹) ya que representa los diferentes estados productivos, sistemas de café y abarca un amplio rango de edad de las plantaciones de los sistemas de café considerados en el estudio.

4.3 Valoración económica del carbono almacenado de los sistemas agroforestales de café

En los últimos años, se han desarrollado una gran diversidad de estudios para asignar un valor monetario al carbono fijado y almacenado en diferentes tipos de ecosistemas a nivel mundial. Según Sedjo *et al.* (1995), el costo por unidad de carbono secuestrado, es importante para asignar la relación Beneficio-Costo de usar ecosistemas terrestres para reducir el carbono atmosférico y compararlos con el costo relativo eficiente de diferentes técnicas de valoración.

Estudios recientes han desarrollado algunas técnicas de valoración, lo cual permite estimar el valor real del carbono almacenado en ecosistemas terrestres. Entre estas se pueden mencionar: el desarrollo de funciones de costos, las cuales permiten estimar incrementos en los costos asociados a plantaciones forestales a gran escala ; costo de oportunidad de la tierra conforme a algunos usos o pagos de renta; refinamiento de los costos estimados de establecimiento de plantaciones al reconocer la diferencia de los costos asociados con el lugar y sitio en consideración y por último utilizando procedimientos descontados (Sedjo *et al.*, 1995).

En este estudio, se decidió utilizar el método de costo de oportunidad para determinar el valor aproximado de la tC almacenada durante un año en los SAF de café bajo tres escenarios diferentes: a) el costo de oportunidad de la tierra asumiendo que existe una mejor alternativa económica; b) el costo de oportunidad actual de aumentar 1 t C, al incrementar en número de árboles o plantas de café y c) el costo de oportunidad futuro, asumiendo un cambio de uso del suelo y un precio constante en el café.

En el gráfico 12, se presenta el óptimo ecológico (Nivel óptimo ecológico) (US \$ 206.9, 159.8 tC ha⁻¹), el óptimo económico (Nivel óptimo económico) (US \$ 2,236, 33.6 tC ha⁻¹), el punto medio de la situación actual (US\$ 52.27, 146.8 tC ha⁻¹) y el punto medio de la situación futura (US\$ 133.8, 71.6 tC ha⁻¹). La mejor opción económica ó el nivel óptimo económico, corresponde al cultivo del Chayote (*Sechium edule*), el cual representa la actividad productiva más rentable y la mejor opción ecológica, el promedio de tC ha⁻¹ y US \$ ha⁻¹ año⁻¹ de la actividad cafetalera, es decir el promedio de todos los SAF de café.

4.3.1 Nivel óptimo económico vrs Nivel óptimo ecológico

La estimación del costo de oportunidad bajo este escenario contempla tanto el carbono como la rentabilidad generada por el nivel óptimo ecológico y el nivel óptimo económico. Bajo este contexto, el costo de oportunidad se refiere a los ingresos que dejan de percibir los productores cafetaleros, por mantener actualmente sus cafetales y no dedicar la tierra a otros usos del suelo, específicamente el cultivo del chayote.

Tomando en cuenta los beneficios netos, US \$ ha⁻¹ año⁻¹ y el carbono almacenado, t ha⁻¹, en ambos sistemas de producción, se determinó un costo de oportunidad de US \$ 16.1 por t C almacenada durante un año en el cafetal. Este valor representa el ingreso teórico que dejan de percibir, por año, los productores cafetaleros por cada tonelada de carbono almacenada en sus sistemas de café. Al mismo tiempo representa el costo teórico por evitar emitir 1 t C a la atmósfera, o su equivalente en términos de CO₂, y es el valor que se les tendría que compensar a los productores cafetaleros por cada tonelada de carbono almacenada en sus cafetales y evitar así que sustituyan el café por el cultivo del Chayote (*Sechium edule*).

Sin embargo, este costo representa algunos riesgos en el momento de considerarlo, ya que el número de productores que cultivan este rubro, representan, apenas el 5% de la muestra. Basado en el número de productores que cultivan Chayote, no es aplicable a la realidad actual de la zona ya que no representa los intereses de la mayoría de los productores cafetaleros.

4.3.2 Situación actual vrs Nivel óptimo ecológico

Bajo este escenario se considera, al igual que el anterior, los beneficios netos, US \$ ha⁻¹ año⁻¹, y el carbono almacenado, t ha⁻¹, del punto medio de la situación actual, el cual representa las fincas bajo estudio, y el nivel óptimo ecológico. Se determinó un costo de oportunidad de US \$ 0.6 tC año⁻¹, lo cual representa lo que dejan de percibir los productores cafetaleros por almacenar una tonelada de carbono adicional al punto medio actual de todas las fincas bajo estudio. A la vez representa el valor teórico que habría que compensarles a los productores cafetaleros para que aumenten su stock de carbono, a través del incremento de la densidad del cultivo de café o del número de árboles de sombra dentro del sistema, hasta alcanzar el nivel óptimo ecológico (Gráfico 12).

En caso que los productores cafetaleros aumenten sus áreas de cultivo, para almacenar más carbono, habría que pagarles US \$ 0.6 tC⁻¹ año⁻¹, adicional al sistema. Sin embargo, la aplicación de este costo, bajo este escenario, tampoco es aplicable a la situación actual, debido a la crisis que atraviesa actualmente el sector cafetalero. Lo cual no genera incentivos para que los productores incrementen sus áreas cafetaleras.

4.3.3 Situación actual vrs Situación futura

Bajo este escenario se asume una reducción del stock de carbono almacenado y un incremento en los ingresos promedios por finca, generado por la conversión de los cafetales por otros usos del suelo. La información obtenida en el DRR sobre las tendencias del cambio de uso de suelo, en lo que respecta al porcentaje del área de café afectada por nuevos usos del suelo o actividades productivas que sustituirían al café, en caso que el precio del café continúe descendiendo, (Cuadro 11) y los ingresos generados por estos usos de suelo (Cuadro 10), permitió determinar el punto medio de la situación futura, el cual representa la situación futura de las fincas, en relación a ingresos ha⁻¹ año⁻¹ y carbono almacenado por ha, ante un cambio de uso del suelo. Este punto se determinó en base a la información brindada por los productores dispuestos a sustituir sus cafetales por otros usos de suelo, en caso de continuar bajando el precio del café.

La diferencia entre este punto medio futuro y el punto medio actual, permitió determinar el costo de oportunidad del carbono almacenado, actualmente, en los sistemas de café en caso de darse un cambio de uso del suelo. Se determinó un costo de oportunidad de US \$ 1.5 tC⁻¹ año⁻¹, asumiendo que el precio del café se mantiene constante. Este valor estimado, representa el costo por evitar reducir el stock del carbono existente, actualmente en los cafetales. Si se pretende mantener el stock actual de carbono para no emitir carbono, en términos de CO₂, a la atmósfera habría que compensarles a los productores cafetaleros US \$ 1.5 t C⁻¹ año⁻¹ almacenada en los cafetales.

Este valor, puede ser tomado en cuenta para compensar a los productores por mantener sus cafetales o stock de carbono. El cual se ajusta a la realidad actual ya que existe la posibilidad de destruir los cafetales y sustituirlos por otros cultivos, debido a la crisis que atraviesa, actualmente, el sector cafetalero.

Una vez valorada la tC almacenada durante un año en los sistemas agroforestales de café, surge la incertidumbre sobre que valorar, si el carbono total del sistema o el carbono almacenado en la biomasa aérea (árbol y cultivo). Una valoración total del carbono almacenado en los sistemas cafetaleros, incluyendo el carbono en suelo, los productores cafetaleros, recibirían mayores beneficios económicos que con una valoración parcial, es decir tomando en cuenta el carbono almacenado en las fuentes árbol y café.

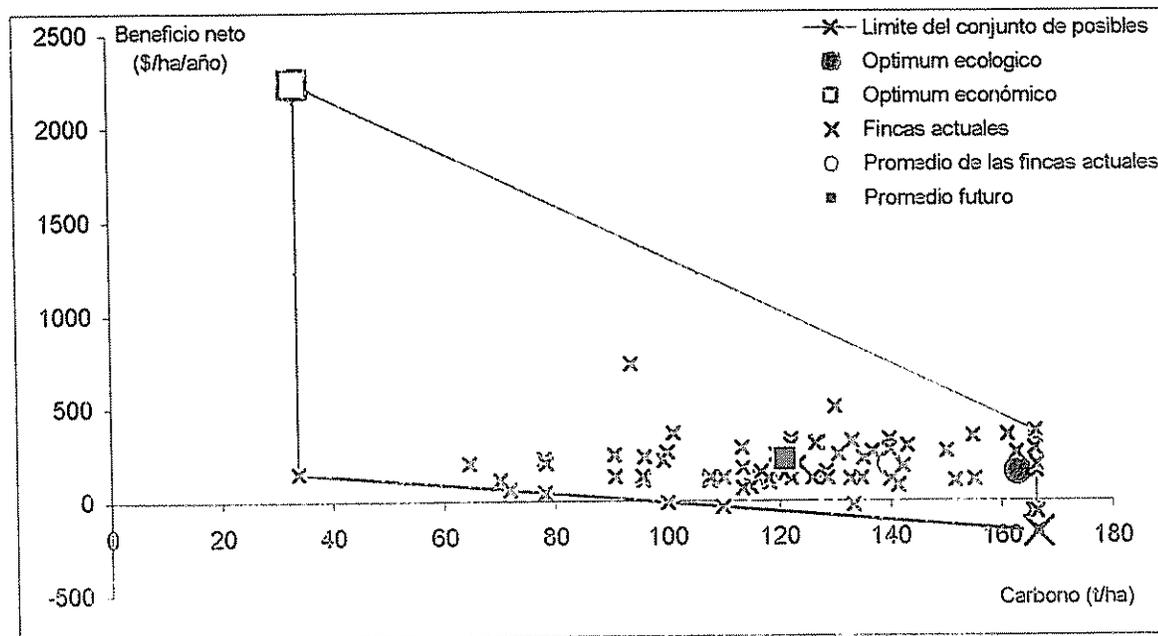


Gráfico 12 Ingresos por finca, promedio de la situación actual, promedio de la situación futura, nivel óptimo ecológico, nivel óptimo económico.

4.4 Comparación con otros estudios de costos de oportunidad

Los valores estimados de la tC almacenada por 1 año en los SAF tomando en cuenta el nivel óptimo ecológico y la situación futura, se encuentran dentro de algunos rangos de valores reportados en la literatura, aunque con técnicas de valoración diferentes. Dixon (1995), estimó en base al costo de establecimiento, durante los tres primeros años, de sistemas agroforestales (SAF) para conservar y secuestrar carbono, alrededor de 50 naciones del mundo, un rango de $\$1-69 t C^{-1}$, con una media de $\$13 t C^{-1}$. Para los trópicos, estimó un costo entre $\$5-10 t C$, aproximadamente, aunque el valor de la tC estimada en el estudio sobrepasa tomando en cuenta el nivel óptimo económico. Por otro lado, Dixon *et al.* (1991), estimaron un rango $\$2-11 / tC$ y Winjum *et al.* (1992), estimó que el costo de secuestrar

carbono, en un amplio rango a nivel mundial, es menos de \$1 hasta \$8 / t C secuestrada, durante el ciclo del proyecto. Estos autores no hacen referencia sobre el tiempo de permanencia del carbono.

Platinga et al. (1996), define los ingresos de la agricultura, bajo el contexto de secuestro de carbono, como el costo de oportunidad de someter estas tierras a un programa de forestación o secuestro de carbono. El argumento de este fundamento es que los propietarios que involucran sus tierras en estos programas de secuestro de carbono, deben ser compensados con los ingresos equivalentes de la actividad agrícola.

Costa Rica, valoró en \$10 tC almacenado en bosques naturales, por un periodo de 20 años, con base al costo de oportunidad de la tierra del cambio de uso del suelo de ganadería extensiva hacia el sector forestal (Cuellar et. al 1999). Posteriormente, este carbono fue comercializado con el gobierno de Noruega como Certificados de Reducción de Emisiones (CRE).

Segura (1999), estimó el costo de oportunidad de dos zonas de Costa Rica sometidas a Pago por Servicios Ambientales (PSA). Determinó el valor mínimo y máximo del carbono almacenado en los bosques privados de la zona de Corinto y Timbirina, ambas localizadas en el Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. El costo mínimo y máximo para Corinto se estimó en \$18.3 y \$43.5/ tC año⁻¹ y para la zona de Timbirina fue de \$20 y \$22.6/tC, respectivamente. Los valores estimados por Segura (1999), son superiores a los estimados en este estudio, lo cual indica que el costo de oportunidad en estas zonas de Costa Rica son superiores a esta zona de Nicaragua.

En México, el Proyecto Carbon Pilot The Scolel- Té comercializó 17,000 tC entre \$10 - 12 tC a la Federación Internacional de Automóviles, producto de convertir tierras agrícolas a sistemas agroforestales. Los beneficios descontados de los sistemas agroforestales para la mayoría de los participantes son estimados entre \$110-1700 ha⁻¹ (Smith y Scherr 2002). No se define el tiempo de permanencia del carbono almacenado en este proyecto al igual que el caso de Perú, donde el costo de compensación por inducir a los campesinos a adoptar sistemas agroforestales complejos fue de \$8-31 tC (Smith y Scherr 2002).

4.5 Comparación del valor del carbono almacenado en los sistemas agroforestales de café con precios internacionales en el mercado de carbono

En la actualidad, el mercado internacional de carbono se encuentra condicionado por varios aspectos. Según CAEMA (2001), los expertos identifican tres elementos principales que afectarán el mercado de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE); primero, la retirada de los EEUU del Protocolo de Kyoto y del mercado; claramente, esto implica una gran reducción en la demanda de CRE. Segundo, la asignación en Bonn de nuevos créditos a los países industrializados por actividades forestales domésticas; esto implica menos esfuerzo de los países Anexo B para llegar a sus metas y menos demanda por CRE. Tercero, la posibilidad de un comportamiento monopólico por parte de Rusia con su "aire caliente", el país podrá restringir su oferta y guardar una parte para el segundo periodo de cumplimiento. Por otro lado, al disponer de un gran superávit de créditos, Rusia podrá inundar el mercado.

La ausencia de EUA tendrá fuertes efectos sobre el mercado, al ser dicha nación la mayor fuente de emisiones, su ausencia llevará a una pérdida en la demanda potencial entre 40 y 55%, lo cual debilitará notoriamente el precio. Dicha reducción puede ser tan severa que anulará los beneficios potenciales del MDL, afectando también el potencial de la región de participar en el esfuerzo de mitigación de gases de efecto invernadero. Para un mercado más benéfico es esencial la reincorporación de EEUU al mercado.

Según Grütter (2002), el rango de precios a los cuales se han comercializado las reducciones de emisiones de CO₂ a nivel internacional es de \$ 3 –7 t CO₂ (\$11- 25.66 tC) con un promedio de \$5.4 t CO₂ (\$19.55 tC). Dos compañías energéticas danesas vendieron en diciembre del 2001, 150, 000 t CO₂ a EON (Alemania) y 10,000 t CO₂ a Entergy (USA). E.ON tiene participación en una de las plantas eléctricas danesas y el precio definitivo es menor a \$4.8 t CO₂ (\$ 17.8 tC); actualmente, en el Reino Unido se comercializa la t CO₂ a menos de \$7 (\$25.62 tC) ; el gobierno holandés realizó un contrato de 40 millones US \$ donde recibirá 10 millones de toneladas de CO₂ a un precio de \$ 4 (equivalente a \$ 14.6 t C).

Debido a que el carbono secuestrado por un sumidero biológico no puede permanecer almacenado por siempre (en algún momento vuelve a la atmósfera) el precio es menor en relación al secuestro permanente (Locatelli y Pedroni 2002). Según Sánchez y Pratt (1999), este carbono compensado puede referirse tanto a fijación como emisión evitada que puede ofrecer un proyecto boscoso.

Utilizando el método de créditos temporales, propuesto por Colombia según la cual los créditos otorgados por secuestro de CO₂ en proyectos forestales deberían tener vida útil definida y limitada (temporales) . Sin embargo, tomando en cuenta el riesgo y la incertidumbre asociados a créditos con una vida útil muy larga (permanencia del carbono en el proyecto después de la verificación) y la dificultad que representaría transar certificados con vidas útiles distintas, se ha propuesto una variante de este método, según la cual todos los créditos temporales tendrían una vida útil igual (Locatelli y Pedroni 2002).

Bajo el método de tonelada año (ton-year) para cuantificar carbono, una tonelada secuestrada por un año en un proyecto forestal podría obtener solamente el 2.2% de los créditos obtenidos por 1 t de reducción de emisión permanente en el sector energético (Smith y Sheer 2002).

Para comparar los valores de la tC año⁻¹ almacenada en los sistemas agroforestales de café con algunos precios por reducción de emisiones (tC) del mercado internacional de carbono, se utilizaron diferentes tasas de descuento tales como 5%, 8% y 12%, con el fin de transformar

estos precios por reducciones permanentes a emisiones evitadas por año. Los precios internacionales utilizados fueron los valores extremos del rango presentado por Grütter (2002), así como el precio promedio (Cuadro 14).

Cuadro14. Precios internacionales equivalente a 1 tC almacenada durante 1 año

\$ t C	5%	8%	12%
11	0.52	0.81	1.12
19.55	0.93	1.45	2.1
25.66	1.22	1.9	2.75

*Precio por reducción de emisión permanente de 1 tC en el sector energético (\$ tC)

Como se observa en el cuadro 14, el precio del carbono almacenado es sensible a la tasa de descuento, a medida que esta aumenta también aumenta el precio, por lo que es importante tomar en cuenta la tasa de descuento utilizada en el momento de hacer este tipo de comparaciones. Los precios en el mercado internacional por el carbono almacenado son inferiores a los valor estimado bajo el escenario de la mejor opción económica (\$16.1 tC año⁻¹), lo cual indica que una compensación bajo este escenario esta por encima de los precios internacionales; mientras que el valor calculado bajo un escenario futuro (\$1.5 tC año⁻¹), además de ser la mejor opción de compensación, para evitar que se de un cambio de uso del suelo y evitar emitir CO₂ a la atmósfera, se ajusta a los precios del mercado internacional por reducción de emisiones o almacenamiento de carbono durante un año.

4.6 Discusión de las hipótesis

4.6.1 Carbono almacenado en la fuente árboles

La hipótesis planteada para esta fuente de almacenamiento es que existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la fuente de almacenamiento árbol entre los diferentes sistemas agroforestales de café y rangos de altura de los árboles de sombra.

Se encontró diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) en el carbono almacenado en los árboles de sombra a diferentes rangos de alturas. Las tres alturas son diferentes estadísticamente (Cuadro 15). Evidentemente existe una correlación entre la biomasa y la altura de los árboles de sombra, producto de la cual son diferentes niveles de carbono almacenado. Asimismo, los sistemas son estadísticamente diferente en cuanto al carbono almacenado ($Pr < 0.01$), aunque las diferencias entre los sistemas de CPAB y CPEM no son estadísticamente significativos, pero si entre el resto de los sistemas, Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD), Café Productivo con Sombra Diversificada (CPSD) y Café Productivo con Inga spp.(CPI). Las diferencias entre estos tres sistemas no son estadísticamente significativos entre sí (Cuadro 16).

4.6.2 Carbono almacenado en la fuente café

La hipótesis planteada para esta fuente de almacenamiento es que existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la fuente de almacenamiento café entre los diferentes sistemas agroforestales de café y rangos de altura de los árboles de sombra.

Existen diferencias altamente significativas ($Pr < 0.01$) en el carbono almacenado en el cultivo de café, entre los diferentes rangos de altura de los árboles de sombra (Cuadro 15). También existen diferencias significativas ($Pr < 0.01$) en el carbono almacenado en el café entre los diferentes sistemas de café (Cuadro 16). Los sistemas CPAB, CJSD, CPSD son diferentes entre sí y del resto de los sistemas, en cambio los sistemas CPI y CPEM no lo es (Cuadro 16).

El hecho de existir diferencias significativas entre los rangos de altura, posiblemente se deba a la existencia de cierta relación, en algunos casos, entre la altura de los árboles y la edad de la plantación, ya que en los sistemas de café productivos dentro del rango de altura > 10 m, a excepción de CJSD, tanto los árboles de sombra como el cultivo de café fueron establecidos hace más de 20 años, mientras que los sistemas con rangos de altura < 5 m, indican que tanto el cultivo como los árboles de sombra fueron establecidos recientemente.

4.6.3 Carbono almacenado en la fuente hojarasca

La hipótesis planteada para esta fuente de almacenamiento es que existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la fuente de almacenamiento hojarasca de los diferentes sistemas agroforestales de café y diferentes rangos de altura de los árboles de sombra. Sin embargo no se encontró diferencias estadísticas en cuanto a la hojarasca entre los diferentes rangos de altura ni entre los SAF de café.

El carbono almacenado en la hojarasca a diferentes rangos de altura y sistemas de café no fue significativo estadísticamente con una $Pr > 0.0737$ y $Pr > 0.0743$, respectivamente (Cuadro 15 y 16). Lo cual indica que el carbono almacenado en la hojarasca no es explicado estadísticamente por el tipo de sistemas de café ni por los rangos de altura.

Alpizar *et al.* (1983) afirman que las diferencias en la cantidad de hojarasca en los sistemas se deben al tipo de café y sombra, edad de la plantación, manejo del cultivo (como la frecuencia e intensidad de poda de los árboles de sombra y el cultivo, frecuencia en el control de maleza) tipo de maleza, densidad del cultivo y de los árboles de sombra y época del muestreo. La mayor parte de los sistemas de café bajo estudio recibe tratamientos de poda para regular tanto la sombra de los árboles como el crecimiento del cultivo, sin embargo, no fue posible determinar la intensidad ni frecuencia de estos tratamientos debido a que los productores no llevan un registro de los tratamientos que aplican además que estos aspectos no fueron considerados en la planificación del estudio.

4.6.4 Carbono almacenado en suelo

La hipótesis planteada para esta fuente de almacenamiento es que existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la fuente de almacenamiento suelo de los diferentes sistemas agroforestales de café y diferentes rangos de altura de los árboles de sombra

El carbono almacenado en el suelo en diferentes rangos de altura de los árboles de sombra es significativo estadísticamente ($P > 0.049$) con un $\alpha = 0.05$ (Cuadro 15). Las diferencias en el carbono almacenado entre los rangos de altura 5-10 m y > 10 m no son estadísticamente significativas, pero si lo son al rango < 5 m (Cuadro 15). En este contexto, el contenido de MO, promedio, juega un rol importante ya que difieren entre los diferentes rangos; mientras los porcentajes de MO del rango 5-10 m (4.98 ± 0.8) y el del rango > 10 m (4.76 ± 1.5) son similares, el rango < 5 m es superior a estos (5.38 ± 1.9). Estos datos confirman los hallazgos de Robert (2001), el cual indica que la materia orgánica es un indicador clave de la calidad del suelo y de las funciones ambientales, entre ellas captura de carbono. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tiene gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas del suelo.

El carbono almacenado en el suelo por sistemas no es estadísticamente significativo ($P > 0.40$) (Cuadro 16), a pesar que existe mucha variabilidad en los resultados encontrados por sistemas. El sistema con mayor cantidad de carbono en suelo (CJSD) supera en 40% al sistema con menores cantidades de carbono en el suelo (CPEM).

Según los resultados obtenidos, el sistema en sí en lo que respecta a composición, edad y densidad de árboles así como el cultivo de café, no influye directamente en el carbono almacenado en el suelo, sino que es explicado por factores físico-químicos del suelo. Según Robert (2001), la existencia de carbono orgánico del suelo depende de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, aunque pueden ser fuertemente modificados- degradados o mejorados- por los cambios en el uso y manejo de la tierra; a la vez representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización).

4.6.5 Carbono total almacenado en los sistemas a diferentes rangos de altura

La hipótesis planteada es que existen diferencias significativas en el contenido de carbono total de los sistemas agroforestales de café y diferentes rangos de altura de los árboles de sombra.

No se encontró diferencias estadísticas significativas en el carbono total almacenado por los diferentes sistemas de café, ni por rangos de altura de los árboles de sombra (Cuadro 15 y 16), a pesar que existe una diferencia de 16.8 tC entre el sistema con mayor (CJSD) y menor carbono almacenado (CPAB). Existe cierta compensación del carbono almacenado entre las fuentes de algunos sistemas. Por ejemplo, los sistemas CPEM y CPAB son aquellos sistemas que almacenan más carbono en la parte aérea, pero al mismo tiempo, son los sistemas que almacenan menos carbono en el suelo, por otro lado el sistemas de CJSD y CPI, ambos con rangos de altura < 5m, son los sistemas donde los árboles de sombra aportan menos carbono, del resto de los sistemas, pero, al mismo tiempo son los que contienen mayores cantidades de carbono en el suelo (Anexo 7 y Anexo 10).

Cuadro 15. Diferencias en el carbono almacenado en las diferentes fuentes de almacenamiento, por rangos de altura de los árboles de sombra (según pruebas de DUNCAN) en sistemas agroforestales de café de la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.

Fuentes de almacenamiento	Rango de altura de los árboles de sombra				Probabilidad $\alpha=0.01$
	<5 m	5-10 m	>10 m	CME	Pr>F
Carbono en suelo	172.9 A	140.6 B	129.8 B	1.33	0.0542
Carbono hojarasca	-	-	-	-	0.0737
Carbono en café	0.61 A	1.03 B	1.74 C	0.03	0.0001
Carbono árboles	2.6 A	8.7 B	22.35 C	0.03	0.0001
Carbono total	-	-	-	-	0.4722

Medias con letras iguales, en arreglo horizontal, no difieren estadísticamente.

Fuentes: Datos propios

Cuadro 16. Diferencias en el carbono almacenado en las diferentes fuentes de almacenamiento, sistemas agroforestales de café (según pruebas de DUNCAN) de la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua.

Fuentes de almacenamiento	Sistemas agroforestales de café						Prob $\alpha=0.01$
	CJSD	CPSD	CPI	CPEM	CPAB	CME	Pr>F
Carbono en suelo	-	-	-	-	-	-	0.4019
Carbono hojarasca	-	-	-	-	-	-	0.0743
Carbono en café	0.41 D	1.08 C	1.75 B	1.65B	2.3 A	0.23	0.0001
Carbono en árboles	8.08 B	9.75 B	9.25 B	31.7A	32.5 A	0.67	0.0001
Carbono total	-	-	-	-	-	-	0.9538

CJSD: café joven con sombra diversificada; CPSD: café productivo con sombra diversificada; CPI: café productivo con Inga spp; CPEM: café productivo con especies maderables; CPAB: café productivo en abandono.

Letras iguales en arreglo horizontal son iguales estadísticamente

Fuentes: Datos propios

4.6.6 Valor de la tonelada de carbono

La hipótesis planteada para el valor económico de la tC año⁻¹ almacenada en los sistemas agroforestales de café tomando en cuenta la mejor alternativa económica, situación actual y situación futura es menor a US \$10.

El valor estimado de la tC almacenada en los sistemas agroforestales de café durante 1 año tomando en cuenta que existe una mejor alternativa económica (nivel óptimo ecológico vrs nivel óptimo económico) fue de \$16.1, cuyo valor es mayor a US \$ 10 por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada bajo el escenario de mejor alternativa económica; ante la situación actual (situación actual vrs nivel óptimo ecológico) el costo de oportunidad es de US \$ 0.6 tC; mientras que bajo el escenario de una situación futuro o un posible cambio de uso del suelo (Situación actual vrs situación futura) se estimó un valor de 1.5 tC almacenada durante un año en los sistemas agroforestales de café. Bajo estos últimos escenarios el valor de la tC es menor a \$ 10, por lo que se acepta la hipótesis planteada bajo estos escenarios.

4.7 Reflexiones metodológicas

Debido a la magnitud del estudio, el desarrollo de este trabajo de investigación estuvo fuertemente respaldado por un equipo multidisciplinario, comité asesor, el cual contaba con la capacidad científica - técnica en el área socioeconómica, biofísica (cuantificación de carbono) y económica (valoración económica) lo cual permitió el buen desarrollo del estudio. A pesar de contar con el apoyo de un equipo multidisciplinario, el trabajo cuenta con algunas debilidades, entre las cuales podríamos mencionar la falta de información socioeconómica específicamente de la zona (Comarca Yassica Sur) lo cual limitó la comprobación y comparación de los datos brindados por los productores cafetaleros con estudios similares. El desarrollo del componente socioeconómico se baso en la información primaria, recopilada directamente de los productores a través del DRR, y secundaria recopilada de las diferentes instituciones localizadas dentro y fuera de la zona.

Entre las limitaciones presentadas al estudio relacionadas con la información secundaria, a pesar que son muchas las instituciones que trabajan directa o indirectamente con productores cafetaleros dentro de la zona, fue la falta de información para determinar la población total del

área de estudio, por lo que no fue posible estimar ni la muestra real representativa de la población total ni el porcentaje de productores cafetaleros de la población total con la cual se trabajó para la realización del estudio. La muestra de estudio (n=97 para el DRR) con la cual se trabajó, al igual que la intensidad del muestreo y mediciones biofísicas de los diferentes SAF de café, se determinó por razones de factibilidad relacionados al factor tiempo y financiero disponible. El costo de este trabajo de investigación es superior a los US \$ 4, 500, lo cual tiene que ser tomado muy en cuenta a la hora de planificar un estudio de similar magnitud, sobre todo cuando los recursos financieros son limitados. Otra de las limitaciones del estudio fue la falta de datos económicos secundarios de las diferentes actividades productivas con los cuales se hubiera comparado los resultados obtenidos y poder determinar si los datos brindados por los productores coincidían con los de otras fuentes.

Entre las limitaciones relacionadas a la recopilación de la información primaria tenemos que en muchos casos no fue posible entrevistar a los propietarios de las grandes y medianas hacienda, por lo que la información, en estos casos, fue brindada por las personas responsables en el momento de visitar la propiedad. A pesar que se trató de obtener información precisa, por parte de estas personas, no fue posible conseguir información sobre la posición del propietario de las tendencias del cambio de uso del suelo. Como se puede ver en el cuadro 11, nueve productores no respondieron, pero estos concentraban gran parte del área considerada en el estudio, debido a esto no se determinó el posible cambio de uso del suelo, si el precio del café continúa descendiendo. Por otro lado los datos productivos de la actividad ganadera no fueron correctamente determinado por que no se elaboró correctamente el formulario de preguntas para tomar en cuenta todos los aspectos involucrados en dicha actividad productiva como por ejemplo, compra y venta de animales, precio de venta por animal, número de animales vendidos al año, entre otros.

Por otro lado, el método empleado para valorar la tC almacenada durante 1 año en los SAF, costo de oportunidad, facilitó estimar el valor bajo diferentes escenarios, lo cual fue posible por que se contaba con la información necesaria. Para determinar el valor del servicio ambiental, precio del carbono, ante la posibilidad de un cambio de uso de suelo, fue necesario conocer las diferentes opciones del cambio de uso del suelo o actividades productivas existentes en la zona, disponibilidad de los productores en ejecutar este cambio, intensidad del cambio, es decir el área a ser afectada por el nuevo uso del suelo, y rentabilidad de cada una de la actividades productivas.

Una de las ventajas de utilizar este método de valoración es que permitió determinar el valor que se ajusta a la realidad del sector cafetalero, lo cual tienen que ser considerado a la hora de implementar un programa de pago por el servicio de almacenamiento de carbono en SAF de café. El empleo de costo de oportunidad generalmente es usado tomando en cuenta la mejor alternativa económica, en términos de rentabilidad, pero en el estudio esta no representó la mejor opción de valoración, ya que no representa los intereses de la mayoría de los productores cafetaleros, sino que fue aquella relacionada directamente a la realidad actual del sector cafetalero.

5. CONCLUSIONES

El carbono total almacenado en los diferentes SAF de café bajo estudio, oscila en un margen estrecho entre 144.7 y 166.7 tC ha⁻¹. El sistema que menos carbono almacena es el Café Productivo en Abandono (CPAB), mientras el Café Joven con Sombra Diversificada (CJSD) es el sistema que almacena mayores cantidades de carbono, a pesar que es un sistema recientemente establecido (< 3 años). Este sistema representa el estado inicial de desarrollo de un SAF de café con Sombra Diversificada, por lo que sus altos contenidos de carbono indican que el tipo de SAF en sí (CJSD), no influye directamente en el stock actual de carbono. La razón por la que este sistema almacenó más carbono se debe a que la fuente de almacenamiento suelo contribuyó con el 95%, aproximadamente, del carbono total del sistema, lo cual está directamente influenciado por el uso del suelo anterior al establecimiento del sistema cafetalero. Será importante realizar estudios afines en SAF de café recientemente establecidos para averiguar qué tan típicos o atípicos son los resultados del área de estudio.

Estadísticamente no existen diferencias significativas en el carbono total almacenado por los SAF de café; en otras palabras, el tipo de sistema en sí (tipo de sombra, altura de los árboles, estado productivo de la plantación) no influyó directamente en las diferencias del carbono contenido en los sistemas. Estas diferencias podrían ser explicadas, de mejor manera, por otros factores, no considerados en el estudio, como el uso anterior del suelo y/o propiedades físicas y químicas del suelo. Si se logra replicar estos resultados en otros sitios bajo otras condiciones, sería más fácil desarrollar mecanismos relativamente simples y no costosos para el pago por el servicio ambiental "almacenamiento de carbono" proporcionado por los SAF de café. En este caso no sería necesario fijarse en el servicio "fijación de carbono", ya que los SAF de café podrían ser valorados como conjunto, reflejando una serie secuencial de diferentes etapas de café con árboles de sombra.

En todos los SAF de café, el suelo es la fuente de almacenamiento de C más importante, En segundo lugar quedan los árboles de sombra, aunque su aporte es menor en comparación a plantaciones forestales y bosques muy húmedos. La hojarasca es la tercera fuente de importancia, mientras que el cultivo de café es la fuente que menos contribuye al sistema. En los sistemas productivos (CPSD, CPI, CPEM, CPAB), los

árboles de sombra constituyen igualmente la segunda fuente más importante de almacenamiento de carbono. El stock del C depende directamente de la densidad, las especies y la altura de los árboles de sombra. Por el poco desarrollo de los árboles de sombra en los sistemas de CJSD, la segunda fuente de almacenamiento importante en estos sistemas corresponde a la hojarasca y la tercera a los árboles de sombra.

El contenido de carbono en los sistemas agroforestales de café es mayor a los sistemas de producción de cultivos anuales (granos básicos y hortalizas), ya que en estos sistemas el carbono en la biomasa aérea es aportado por los residuos del cultivo debido a la ausencia de árboles dentro del sistema. El desarrollo de un mecanismo de pagos por el servicio ambiental "almacenamiento de carbono" en los SAF de café daría un incentivo para mantener estos sistemas, debido al aumento del costo de oportunidad de convertirlos a cultivos anuales.

Los modelos seleccionados, de mejor ajuste, para estimar la biomasa tanto de los árboles de sombra como del cultivo del café fueron logarítmicos y explican en gran proporción la variabilidad de la biomasa. El modelo de mejor ajuste, seleccionado para estimar la biomasa en árboles de sombra, está en función del DAP, mientras el modelo de biomasa de café, está en función de las variables "diámetro a 15 cm del suelo" y "altura total de la planta". Los modelos desarrollados para estimar biomasa en árboles pueden ser utilizados para estudios similares dentro de la zona o para estimar la biomasa de las especies arbóreas en las cuales se basó el desarrollo de los modelos.

El modelo de mejor ajuste para estimar la biomasa en el cultivo del café, puede ser utilizado en futuros estudios como aproximador, ya que la muestra con la cual se desarrolló fue bastante amplia (n=102), incorporando plantas de café de diferentes edades, tamaños, formas y variedades. Sin embargo, antes de aplicarlo en gran escala, habrá que replicar los resultados en otros sitios bajo diferentes condiciones.

La metodología aplicada para valorar el carbono almacenado en los SAF de café, basada en la mejor alternativa económica, tiene debilidad en su aplicación ya que no se fija en las oportunidades realmente accesibles para la mayoría de los productores cafetaleros. Bajo el escenario de un posible cambio de uso del suelo, el valor económico de la tC

representa la mejor alternativa de compensación, ya que se ajusta a la realidad actual del sector cafetalero y a la mayoría de productores.

Pese a los bajos precios del café, la mayoría de los productores cafetaleros de la Comarca Yassica Sur perciben ciertos beneficios económicos derivados de la actividad cafetalera. Para enfrentar la crisis y obtener ciertos márgenes de ganancias, los productores han reducido sus costos de producción al disminuir el uso de insumos, mano de obra externa contratada y/o valor de la mano de obra. Estas medidas afectan tanto los rendimientos de producción, por disminuir el uso de agroquímicos y no dar asistencia adecuada al cultivo, como a los pobladores que dependen de las actividades culturales del café para lo cual venden su mano de obra. El hecho de que estas respuestas a la crisis no serán viables a largo plazo, destaca la necesidad de buscar alternativas, una de las cuales sería el pago por los servicios ambientales proporcionados por los SAF de café.

El sistema de Café Productivo en Abandono (CPAB) representa otra alternativa para hacerle frente a la crisis del café. El abandonar las plantaciones de café existentes actualmente, evita el alto costo por la conversión del café a otros usos de suelo y mantiene la opción de rehabilitar las plantaciones de café una vez que el precio suba a niveles suficientemente altos. Desde el punto de vista meramente ambientalista, el sistema CPAB representa la mejor alternativa para lograr altos niveles de almacenamiento de carbono, tomando en cuenta que los actuales sistemas CPAB aún no han logrado el nivel más alto de almacenamiento. Sin embargo, desde una perspectiva económica y social, el abandono en gran escala de los SAF de café no constituye una alternativa deseable por los adversos efectos sobre la generación de empleos e ingresos.

La información brindada sobre la cantidad de carbono almacenada en los diferentes SAF y el valor de la tC almacenada durante 1 año, dan las pautas para establecer un mecanismo de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y a la vez permite determinar la mejor opción de compensación de acuerdo al contexto social que se quiera considerar. Sin embargo los resultados sobre el potencial de almacenamiento de C de los sistemas cafetaleros deben ser respaldados por estudios similares, ya sea dentro y/o fuera de la zona de estudio, para determinar mejor el rango de almacenamiento de C por estos sistemas de producción.

6. RECOMENDACIONES

Realizar estudios sobre el potencial del almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales de café, localizados en diferentes zonas cafetaleras del país para ampliar los conocimientos sobre su potencial de almacenamiento según tipo de suelo, gradientes altitudinales y longitudinales y sistema de producción.

Realizar estudios sobre valoración de la tC almacenada, durante un año, en sistemas agroforestales de café, en las diferentes zonas cafetaleras para determinar el rango de valores de la t C almacenada por estos sistemas.

Realizar estudios sobre el potencial de almacenamiento de carbono en otros sistemas productivos, tales como granos básicos, hortalizas, ganadería, bosques manejados y plantaciones forestales.

Explorar alternativas en la producción y comercialización de café, entre ellas café de especialidad, café orgánico y café solidario, para disminuir el impacto de la crisis actual causada por los bajos precios del café y reducir, de esta manera, el riesgo de sustituir los sistemas agroforestales de café por sistemas agrícolas que proveen menos servicios ambientales.

Someter los agro ecosistemas investigados a un programa de pagos por servicios ambientales, en caso de establecerse y aprobarse una legislación específica al respecto, con el fin de internalizar los beneficios ambientales que estos sistemas proveen a la sociedad en general y aumentar el costo de oportunidad de convertir estos sistemas a usos de la tierra menos amigables al ambiente.

7. LITERATURA CITADA

- Aldy, J. E., Orszag, P. R., Stiglitz, J. E. 2001. Climate Change: An Agenda for Global Collective Action, Pew Center on Global Climate Change. Prepared for the conference on "The Timing of Climate Change Policies": 38 p.
- Alvarado, J; López de León, E; Medina, M. 1999. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agro ecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE. IICA 87:7-14.
- Alpizar, L.; Fassbender, H.W; Heuvelop, J. 1985. Sistemas agroforestales de café (*coffee arabica*) con Laurel (*Cordia alliodora*) y con Poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. In Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35(3): 233-242.
- Alpizar, L.; Fassbender, H.W; Heuvelop, J. 1983. Estudios se sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE, Turrialba. Departamento de Recursos Naturales Renovables, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 p.
- Avila Vargas, G. 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. Turrialba, Costa Rica. 99 p.
- Beaumont, E. 1999. El protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio. Nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y El Caribe. 90 p.
- Aragón, O.I.A.; Arauz, U.J.A. 2000. Balance aparente de nutrientes (N,P,K) en dos unidades de producción ubicadas en el municipio de San Ramón, departamento de Matagalpa, durante el período 1997-1999. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del ambiente. Managua, Nicaragua.
- Azqueta, O.D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. McGraw-Hill. Madrid, España. 299 p.
- Barbier, E.; Costanz, R.; Twilley, R. 1993. Lineamientos para la evaluación de humedales tropicales. Serie técnica. Informe Técnico / CATIE; No . 231. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 63 p.
- Brown, S.; Sathaye, J.; M. Cannell.; P. Kauppi. 1996. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. In R. T. Watson, M.C. Zinyowera, and R.H. Moss (eds.), Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific –Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge and New York, Chapter 24.
- Brown, P. 1998. Climate, biodiversity and forests: issue and opportunity emerging from the Kyoto protocol. World Resources Institute (WRI, US).
- Brown, S.; Sadhe, J.; Cannell, M.; Kaupi, P.E. 1996. Management of forestry for mitigation of greenhouse gas emissions, in Working Group II, Second Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

Brown, S. 1999. *Guidelines for Inventorying and Monitoring Carbon Offsets in Forest-Based Projects*. Winrock International. Arlington, VA (EUA). Prepared for the World Bank: 11 p.

Buendía, B. 2001. El desarrollo y la valoración económica de los recursos naturales y ambientales (en línea). Consultado 19 ene.2002. Disponible en: http://www.geocities.com/sociedadpqa/publicaciones/desarrollo_valorización_económica.ht

Bustamante, U.; Stürzing, B.1999. Pagos por servicios ambientales: participación equitativa a favor del medio ambiente. *Revista Centroamericana Laderas* (): 24-27

CAEMA. 2001. Protocolo de Kyoto: implicaciones del acuerdo político de Bonn sobre MDL y su mercado. 1(3): 1:1

Carranza, C.; Allward, B.; Echeverría, J.; Mejías, R.1996. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de Costa Rica. Centro Científico Tropical/ODA/MINAE. San José, Costa Rica.77 p.

Castro, E., Barrantes, G. 1999. Generación de ingresos mediante el uso sostenible de los servicios ambientales de la biodiversidad en Costa Rica.

Chomitz, K. M. 2000. Evaluating carbon offsets from forestry and energy projects: How do they compare?. Development Research Group, World Bank. 28 p.

Ciesla 1995. Climate change, forest and forest management. An overview. FAO Forest Resource División. Roma, Italia. 128 p.

CIFOR (Center for International Forestry Research); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2000. Almacenamiento de carbono y conservación de biodiversidad por medio de actividades forestales en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales No. 18 (Informe Técnico No. 314). 69 p.

Cuellar, N.; Herrador, D.; González, M.; et al. 1999. Comercio de servicios ambientales y desarrollo sostenible en Centroamérica: Los casos de Costa Rica y El Salvador. San Salvador, PRISMA, Programa Salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente. Informe preparado para el International Institute for Sustainable Development (IISD) y la International Union for the Conservation of Nature (IUCN) en el marco del "Knowledge Network Project for Capacity Building on Trade and Sustainable Development". 59 p.

Dixon, A.; Scura, F.; Carpenter, A. ; Sherman, B.1994. Análisis económico de impactos ambientales. In *Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico*.CATIE. Turrialba, Costa Rica. 249 P.

Dixon, K. 1996. Agroforestry Systems and greenhouse gases. *Agroforestry Today*. 2(7) 22-26.

Dixon, R. K.; Schroeder, P. E.; Winjum, J. K. 1991. Assessment of promising forest management practices and technologies for enhancing the conservation and

- sequestration of atmospheric carbon and their costs at the site level. Corvallis, Or (EUA). 100 p.
- Dixon, R.K.1995. Agroforestry systems: sources or sink of greenhouse gases?. *Agroforestry Systems* 31:99-116.
- Echeverría, M. 2001. La producción de agua: un servicio ambiental que debemos valorar. La valoración de los bienes y servicios ambientales es una herramienta para la toma de decisiones a favor de la conservación de la diversidad biológica (en línea). Consultado 20 ene 2002. Disponible en:
[http:// www.condesan.org/paramos2/ponenciaMETema.3htm](http://www.condesan.org/paramos2/ponenciaMETema.3htm)
- Espinoza, N.; Gatica, J.; Smyle, J. 1999. El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural. IICA : Documentos de trabajo. Unidad Regional y asistencia Técnica (RUTA). San José , C. R. 58 p.
- Esquivel, R. M.; Bonilla, O. S. 2002. El pago de servicios ambientales en Centroamérica. Heredia, Costa Rica. (CINPE) Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible. Preparado para WRI (World Resources Institute, US): 94 p.
- FAO.2000.La contribución forestal para la mitigación del cambio climático. In Reunión La contribución forestal para la mitigación del cambio climático. (4-6 oct 1999, Tegucigalpa, Honduras) Boletín Informativo de los programas forestales nacionales 2(4):17-18. (en línea). Consultado 19 ene. 2002. Disponible en:
<http://www.fao.org/regional/LAmerica/proyecto/gep/rla/127/net/bole.n8.pdf>
- FAO.2002. Situación de los mercados de productos básicos 2001-2002. Dirección de Productos Básicos y Comercio. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Italia, Roma.
- FONAFIFO(Fondo Nacional de Financiamiento Forestal de Costa Rica); PNUD(Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo); PMB. 2000. El desarrollo del sistema de pago de servicios ambientales en Costa Rica. 53 p.
- Fournier, L.1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. Boletín PROMECAFE, (IICA). No 71:7-13.
- Gifford, M.; Guo, L.B. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8: 345-360.
- Gómez M., Ramírez O. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. *Revista Forestal Centroamericana*. (27):17-22.
- Gómez, M; Quirós, 2000. Análisis financiero. In Bastián, L; Quirós D; Nilsson M. eds. *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. San José, CR. Manual Técnico CATIE 46 (7): 229-263.
- Gregersen, H.; Broks, K.; Dixon, J.; Hamilton, L. 1986. Guidelines for economic appraisal of watershed management projects. Report Prepared for the Food Agriculture Organization. St. Paul, USA. 112 p.

- Herrador, D. 1999. Pagos por servicios ambientales: oportunidad para la agricultura sostenible en el Salvador. *Revista Centroamericana Laderas* 4:20-22
- INFOR; FONDEF; UACH. 2000. El mercado de carbono realidad y perspectiva. Actas de seminario. Santiago, Chile. 63 P.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Reforma Agraria); FAO. 1997. Caracterización Municipal del San Ramón Matagalpa. (INTA), FAO. Fortalecimiento de la gestión de la mujer en las unidades de producción campesina. Managua, Nicaragua.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Mexico. 11-13 september 1996.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Climate Change 2001: Mitigation. A Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Acra, Ghana. 13 p. (en línea). Consultado 15 ene 2002. Disponible en: <http://www.IPCC.ch/pub/wg35pm.pdf>
- Johansson, T.B, Karlsson, G.V. 2000. Como mitigar los impactos del cambio climático por medio de soluciones de desarrollo sostenible. In *Cambio Climático y Desarrollo. Un proyecto en colaboración de la Oficina Regional para America Latina y el Caribe del PNUD y Yale School of Forestry & Environmental Studies*. Ed. Gómez, E. L.
- Locatelli B. 1999. Bosques tropicales y ciclo del carbono. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 91 p.
- Locatelli B.; Léonard S. 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco, Chile. *Bois et Forêts des Tropiques*. 267 : 69-81.
- Locatelli, B.; Karsenty, A.. 2002. *Tropical forest dynamics and climate change*. UNESCO-CIRAD book: 18 p.
- Locatelli, B.; Pedroni, L. 2002. Métodos para el calculo de créditos por fijación de CO₂ en proyectos de sumideros. Grupo Cambio Global, CATIE. Sin publicar.
- López, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p.
- MARENA (Ministerio del ambiente y los Recursos Naturales). 1999. Guía para comprender el cambio climático en Nicaragua. Programa de apoyo a la implementación de la Convención Marco de Cambio Climático y del Protocolo de Montreal. Proyecto de Apoyo a la implementación de la Convención Marco de Cambio Climático y del Protocolo de Montreal. Managua, Nicaragua.
- 2001. Primera comunicación Nacional sobre cambio climático. Presentada ante la convención Marco de las Naciones Unidad sobre Cambio Climático. Managua, Nicaragua.

- MARENA (Ministerio del ambiente y los Recursos Naturales); DGAP (Dirección General de Areas Protegidas); POSAF (Programa Socioambiental y Desarrollo Forestal). 2000. Estudio de factibilidad de modelos de comanejo en 4 áreas protegidas. Anexo 1 estudio de caso, sector Nor-Central: Apante, Arenal, Datanlí. Documento Técnico. Managua, Nicaragua.
- Marín, E.1997. Nicaragua potencialidades y limitaciones de sus territorios. Dirección General de Información y Apoyo al Productor. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Managua, Nicaragua. Pág. 180.
- Márquez, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31p.
- Meinshausen, M., Hare, B., 2000. Temporary sinks do not cause permanent climatic benefits: Achieving short-term emission reduction targets at the future's expense. En línea. Disponible en:www.carbonsinks.de
- Muschler, R. 1999. Arboles en cafetales: modulo de enseñanza agroforestal No. 5. Proyecto CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. CATIE.139p.
- Niles, J.B.; Brown, S.; Pretty, J.; Ball, A.S.; Fay, J. 2002. Potential carbon mitigation and income in developing countries from changes in use and management of agricultural and forest lands. The Royal Society.(360): 1621-1639.
- OCIC (Oficina Costarricense de Implementación Conjunta). 1998. Actividades de Implementación Conjunta en Costa Rica. Oficina Costarricense de Implementación Conjunta. San José, Costa Rica. 6 p.
- OXFAM GB. 2001. The coffee market-a (en línea). Consultado el 2 de nov. 2001. Disponible en: www.oxfamamerica.org/estudiantes.
- PANIF (Programa Ambiental Nicaragua – Finlandia). 1998. Diagnóstico de la situación del café. Documento técnico. Managua, Nicaragua. 147 p.
- Platinga, A.J.; Mauldin, T.; Miller, D.J. 1996. An econometric analysis of the cost of sequestering carbon in forest. American Agriculture Economics Association. 81: 814-824.
- PNUD-Nic/98/G31/MARENA. 2000. Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero de Nicaragua año referencia 1994. Resumen ejecutivo. Managua, Nicaragua.
- POSAF (Programa Socioambiental y Desarrollo Forestal). 2001. Plan de ordenamiento de la microcuenca Jigüina. Informe Técnico No IV. Plan Final. Managua- Nicaragua.
- PROMECAFE (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura de Centroamérica). 1999. Algunas propuestas estratégicas ante la baja de precios del café. Boletín PROMECAFE.(IICA) N° 82-83:1.

- PROMECAFE (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura de Centroamérica). 2001. La crisis de la caficultura y nuestra modesta contribución tecnológica. Boletín PROMECAFE.(IICA) N° 90: 1 Abril-junio 2001. Ramírez O. A.; Rodríguez, L.; Finegan, B.; Gómez, M. 1999. Implicaciones económicas del secuestro del CO2 en bosques naturales. Revista Forestal Centroamericana. 2(27) : 10-16.
- Ramírez O. A.; Gómez, M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. Revista Forestal Centroamericana. 2(27) : 17-22.
- Rice, R.; Ward, J. 1996. El café, la conservación ambiental y el comercio en el hemisferio occidental. Washington, D.C.(EUA). 51 p.
- Rideout, D.; Hessel, H. 1998. Principles of forest environmental economics resources. CO (EUA), Library of Congress. 96p.
- Romero, C. 1997. Economía de los recursos ambientales y naturales. 2 ed. Alianza editorial, S.A. Madrid, España. 195p.
- Rosa, H.; Herrador, D.; González, M.E. 1999. Valoración y pago por servicios ambientales: las experiencias de Costa Rica y El Salvador. PRISMA (Programa Salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente). San Salvador, Salvador. n°35: 20 p.
- Rosenweig, R.; Varilek, M.; Feldman, B.; et al., 2002. The emerging international greenhouse gas market. Pew Center on Global Climate Change: 76 p.
- Ruiz, F.; Lira, R.; Perez, C.J.; Maitre, A. 1998. Aplicación de la metodología de valoración del daño por erosión actual (VADEA) en parcelas con diferentes prácticas de CSA en San Ramón, Matagalpa. Tesis Lic. Ing. Agr. Nicaragua, UNA. 80 p.
- Sánchez, F.V. ; Prat, L. 1999. Estimación del costo marginal de los servicios de fijación de carbono en Costa Rica.(en línea).Consultado el 12 de nov. 2002. Disponible en: www.incae.ac.cr/Es/ciaeds/investigación/pdf/cen704.pdf
- Sedjo, R.A.; Wisniewski, J.; Sample, A.V.; Kinsman, J.D. 1995. The economics of managing carbon via forestry: assessment of existing studies. Environmental and Resources Economics.(6):139-165.
- Segura Madrigal, M. A. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 115 p.
- Segura, M.; Venegas, G.1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico no. 306. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- Smith, J., Scherr, S.J. 2002. Forest carbon and local livelihoods: Assessment of opportunities and policy recommendations. CIFOR occasional paper N° 37.

- Soliz, S.B.G. 1998. Valoración económica del carbono almacenado y fijado en un Bosque Subhúmedo Estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 113 p.
- UNEP(United Nations Environment Programme); UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change). 1999. Para comprender el cambio climático: guía elemental de la convención marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto. Bonn. 40 p.
- UNEP(United Nations Environment Programme). 2001. Climate Change INFORMATION SHEETS. Switzerland, UNEP, UNFCCC. Information Kit: 62 p.
- UNEP (United Nations Environment Programme); UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1999. Para comprender el cambio climático: guía elemental de la convención marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kioto. Bonn, Unfccc: 40 p.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1998. Cuarto periodo de sesiones de las Partes de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Conversaciones de Buenos Aires relativas al protocolo de Kyoto para promover la reducción de emisiones. Comunicado de prensa. 2-13 de noviembre de 1998. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: (<http://www.cop4.org/sp/index>).
- Vallejos, C.; Velásquez, M. 1998. Evaluación de especies leguminosas como cultivo de cobertura y barreras vivas en el control de la erosión en cafetales jóvenes en el Departamento de Matagalpa. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 82 p.
- Vogt, AK; Vogt, DJ.; Palmiotto, PA.; Boon, P.; O'Hara, J.; Asbjorsen, H. 1996. Review of root dynamics in forested ecosystems grouped by climate, climate forest type and species. *Plant and Soil*. 187:159-219.
- Winjum, J.K.; R.K.Dixon.; P.E. Schroeder. 1992. An assessment of forest management practices for sequestration of Carbon: I. Estimating Global Potential', U.S. EPA, Environmental Research Laboratory Corvallis, Oregon, OR (EUA).
- Winrock International Institute for Agricultural Development. 1998. Carbon Sequestration and Sustainable Coffee in Guatemala. 18 p.
- , 1999. Field Test of Carbon monitoring methods in forestry Projects. Forest Carbon Monitoring Program. 63 p.
- Stewart, R.S.; Sands, P. 2000. Aspectos institucionales y legales del comercio de emisiones. In Cambio Climático y Desarrollo. Un proyecto en colaboración de la Oficina Regional para America Latina y el Caribe del PNUD y Yale School of Forestry & Environmental Studies. 1ª. Ed. San José, Costa Rica. 465 p.

Anexo 1.

Diagnóstico rápido rural (DRR) sobre las características biofísicas del sistema agroforestal de café en el municipio de San Ramón

El objetivo de esta encuesta es tratar de realizar una breve caracterización física, biológica e historial de la zona. Una vez caracterizados estos en lo que respecta a composición y distribución vegetal así como el manejo actual, se seleccionarán varios sistemas agroforestales para estudios de casos con el fin de determinar el contenido de carbono en sus diferentes componentes.

Encuesta No. _____ Fecha de encuesta _____ Comunidad _____

A. Información general

1. Nombre de la finca _____ 2. Área de la finca _____
 3. Nombre del propietario _____ Edad _____ Sexo _____ Escolaridad _____
 (años) _____
 6. Cuántas personas viven en esta casa?

	< 5 años	≥ 5 ≤ 15 años	>15 años
Hombres	_____	_____	_____
Mujeres	_____	_____	_____

7. ¿Cuántos años tienen de vivir en:
 Finca _____ Zona _____

8. ¿Tiene usted título de propiedad?
 SI _____ NO: Herencia _____ Carta compra-venta _____ Reforma Agraria _____ Otros _____

9. ¿Cuántos años tiene de cultivar café en su finca _____, y en general _____?

B. Recorrido por los Sistema agroforestal de café (SAF)

10. Información sobre los lotes con cultivo de café y árboles de sombra en cada lote

Lote	Área	Variedad	Edad Café	Estado Actual	Uso Anterior	# Recepa	Plantas café/Mz	Altura Promedio Café(mts)	Pendiente	Color suelo %	
										Rojo	Negro
A											
B											
C											
D											

Arboles de sombra (> a < densidad de árboles de sombra por lote)						
Lote	Nombre Común	Origen	Edad	No./ Mz	No. / Lote	Dist. de siembra
A						
B						
C						
D						

C. Comprobación de los datos brindados por el productor en relación a densidad y altura promedio de los árboles de sombra.

11. Clasificación del SAF en relación a la altura y densidad de los árboles de sombra de cada lote.

Lotes	Arboles de sombra			
	Altura (metros)		Densidad de árboles	
	Alta	Baja	Alta	Baja
Lote A				
Lote B				
Lote C				
Lote D				

D. Cultivos dentro de la finca incluyendo café

Cultivo	Superficie		Rend. ² /Mz	Producción Total /año	Consumo qq/año	Venta qq/año	Precio qq	Ingresos / año	Costo Transp/qq
	Alquiler	Dentro							

3. Rendimiento, qq. Quintales (1 qq = 42.6 kg), F. Familiar, E. Externa

E. Labores culturales por cultivo

Cultivos	Actividad	Mes	# año	# H C.O.	# H S.A.	Días	Jefa	Jefe	Hijo <15	Hijo >15	Otros Miembros	C\$/ H /D	Costo total

F. Insumos químicos y fertilizantes de los cultivos

Cultivo	Insumos	Cantidad / Mz	Total /Cultivo	Precio/ Uni. (\$/U)	Costo /Mz	Costo total
Maíz						
Frijol						
Café						
Oros						

G. Otras fuentes de ingresos

Trabaja Ud. Fuera de la finca?

Sí -----No-----

Que tipo de trabajo realiza y en qué meses del año?

Trabajo	Dónde	Meses	pago	A quién?

H. Tendencias

12. ¿Cual sería el precio más bajo del café donde usted decidiría cambiar por otro cultivo?

Precio en C\$qq pergamino)-----

13. ¿Por cuál (cuales) cultivo (s) usted lo sustituiría y por qué?

14. ¿Cuanto del área actual del café usted sembraría por el otro cultivo?

10%----- 25%-----50%-----100%-----

15. ¿Cuál sería el lote de café que usted sustituiría primero?

----- ¿Por qué?-----

H. Cooperación del estudio

16. ¿Usted permitiría que realicemos mediciones de las plantas de café, árboles de sombra, hojarasca y suelo dentro de uno o todos los lotes con café?

No ----Si---- Bajo cuáles condiciones?

17. Usted permitiría que cortemos algunas (cuatro por parcelas) plantas de café y algunos árboles de sombra para realizar algunas mediciones, en las partes cortadas?

Sí -----Bajo cuáles condiciones?

No-----En caso que diga que No

18. Estaría dispuesto a permitir que cortemos algunas plantas de café y árboles de sombra si le ofrecemos alguna compensación monetaria?

No-----Sí----- ¿Cuánto estaría dispuesto a recibir?

Anexo 2

2 a . Densidad básica (g cm⁻³) de árboles de sombra cortados

Arbol/parte	Densidad Básica (g cm ⁻³)
Fuste Nogal	0.82
Fuste Nogal	0.34
Fuste Nogal	0.39
Fuste Nogal	0.39
Fuste guaba roja	0.55
Fuste guaba negra	0.68
Fuste Laurel	0.49
Fuste Laurel	0.49
Fuste guaba roja	0.53
Fuste guaba roja	0.51
Promedio	0.52±0.14

Anexo 2 b. Fracción de carbono de los árboles de sombra

Especie	Fracción de carbono
Guaba roja	48.42
Laurel	52.00
Laurel	47.67
Guaba roja	48.01
Promedio	49.03±2

Anexo 2c. Fracción de carbono de tallos de plantas de café

Plantas de café	Fracción de carbono
Planta de café # 12	46.7
Planta de café # 153	45.2
Planta de café # 146	44.4
Planta de café # 4	48.0
Planta de café # 23	46.0
Promedio	46.1±1.36

Anexo 3. Datos productivos de granos básicos: Maíz y frijol

Rubro	Nº Productores	Area Prom. Por Finca Ha	Precio \$	Rend Qq/ha	IB/ha/Año \$	CT/ha/año \$	BN/año/Ha \$
Maíz	68	1.44±1.55	7.6	18.4	140±81.7	106±38.7	34.3±73.8
Frijol	67	1.07±1.52	17.2	12	219±142.9	106.2±37	113± 113.3

Area Prom. pr Finca Ha: area promedio por finca (ha); IB/ha/Año: ingresos brutos ha⁻¹ año⁻¹ en dólares; CT/ha/año \$: costos totales ha⁻¹ año⁻¹ en dólares; BN/año/Ha \$: beneficios netos ha⁻¹ año⁻¹. Números en paréntesis Desviación Estándar

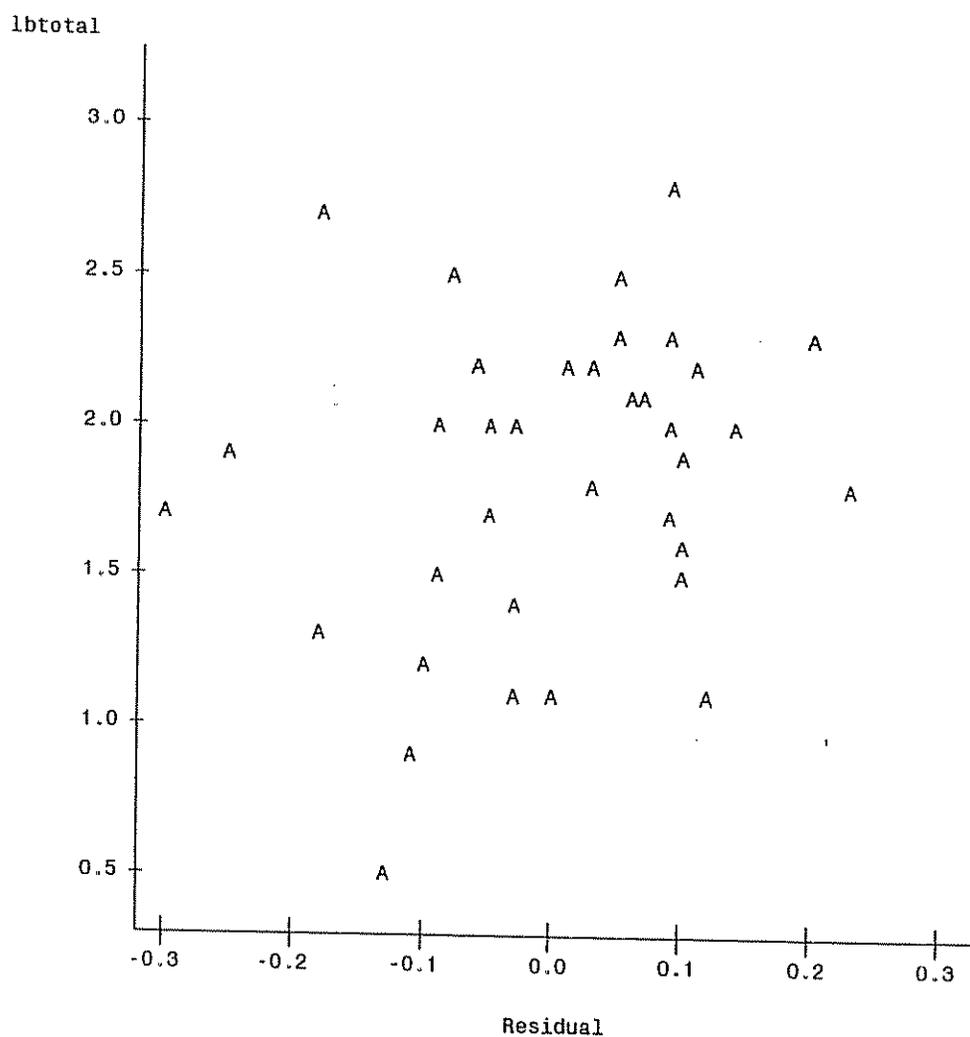
Anexo 4. Datos productivos de la actividad ganadera

Rubro	Nº Productores	Area Prom. Por Finca Ha	IB/ha/Año \$	CT/ha/año \$	BN/año/Ha \$
Ganadería	4	168±55.6	271±202	82±70.3	189.2±137.9

Area Prom. pr Finca Ha: area promedio por finca (ha); IB/ha/Año: ingresos brutos ha⁻¹ año⁻¹ en dólares; CT/ha/año \$: costos totales ha⁻¹ año⁻¹ en dólares; BN/año/Ha \$: beneficios netos ha⁻¹ año⁻¹. Números en paréntesis Desviación Estándar

Anexo 5

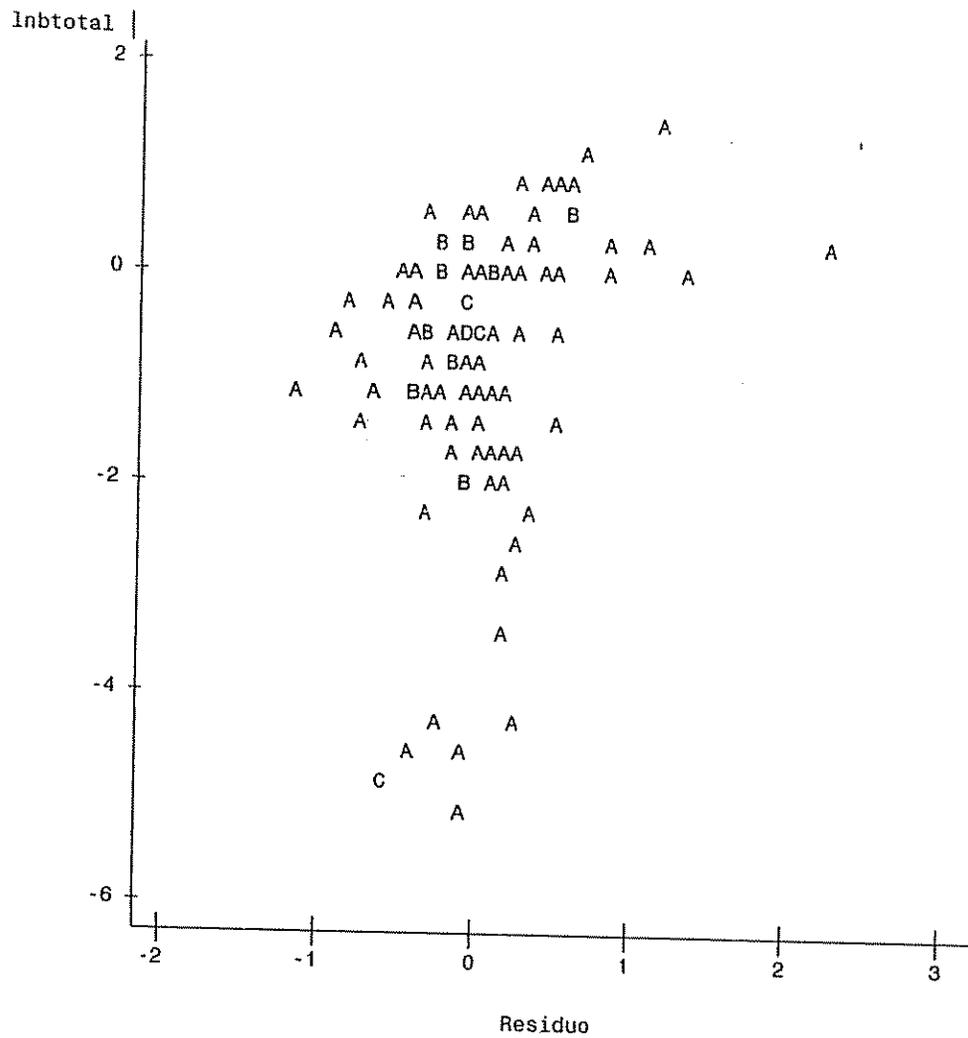
Anexo 5a . Gráfico de residuos del modelo de mejor ajuste para estimar biomasa en árboles de sombra.



Anexo 5b . Modelos de los árboles de sombra

Ecuación No.	Modelo	R ²	CV (%)	CME	Pr>F
M13	$L(B)=0.24988+0.1249(D)-0.00159(D^2)$	0.93	7.46	0.018	0.0001
M7	$LN(B) = -2.20543+2.34084*LN(D)$	0.95	6.67	0.079	0.0001
M14	$L(B) = -0.9578+2.3408*L(D)$	0.95	6.67	0.015	0.0001
M11	$L(B) = 0.8759+ 0.548(D)$	0.83	11.9	0.048	0.0001
M4	$LN(B) = 2.01705+0.12618(D)$	0.83	11.9	0.25	0.0001
M6	$LN(B) = 0.57536+0.28771(D)-0.00367(D^2)$	0.93	7.47	0.10	0.0001

Anexo 6
Anexo 6 a. Grafico de residuos del modelo de mejor ajuste para estimar biomasa en plantas de café.



Anexo 6 b . Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa en las plantas de café

Ecuación No.	Modelo	R ²	CV	CME	Pr>F
M7	$LN(B) = -1.795 + 2.334 * LN(D)$	0.79	72.6	0.41	0.0001
M16	$LN(B) = 0.72631 - 2.02558(1/H)$	0.81	65.3	0.36	0.0001
M25	$L(B) = 0.31543 - 0.87970(1/H)$	0.81	65.3	0.68	0.0001
M32	$LN(B) = -2.39287 + 0.95285 * LN(D) + 1.2693 * LN(H)$	0.89	53.6	0.237	0.0001
M13	$LN(B) = -2.6101 + 1.92441 * LN(D)$	0.86	60.9	0.31	0.0001
M5	$LN(B) = 3.32573 + 0.00239(D^2)$	0.61	17.7	0.56	0.0001
M12	$LN(B) = -4.75684 + 2.04143(D) - 0.19279(D^2)$	0.82	67.6	0.37	0.0001
M13	$LN(B) = -2.6101 + 1.92441 * LN(D)$	0.86	70	0.30	0.0001
M18	$LN(B) = -2.6101 + 4.4311 * L(D)$	0.86	70	0.3	0.0001
M27	$L(B) = -1.13356 + 0.83576 * LN(D)$	0.85	61	0.05	0.0001

Anexo 7. Biomasa y carbono en los árboles de sombra ($t\ ha^{-1}$) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura

Tipo de Sistemas Agroforestales	Altura de los árboles de sombra					
	< 5 m		5-10 m		>10 m	
	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono
CJSD	4.1 (4.1)	2 (2.07)	17 (9.7)	8.3 (4.3)	28 (14.5)	13.7 (7)
CPSD	7.6 (8)	3.7 (4.1)	19.2 (12)	9.1 (5.9)	33 (16.8)	16.1 (7.8)
CPI	3.8 (2.3)	1.9 (1)	17.1(12.4)	8.4 (2.3)	35.7 (13)	17.5 (5.8)
CPEM					64.8 (2.8)	31.8 (1.5)
CPAB					55.8 (21)	27.3 (9.2)

CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono. Números en paréntesis : desviaciones standar

Anexo 8. Biomasa y carbono en el cultivo del café ($t\ ha^{-1}$) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura

Tipo de Sistemas Agroforestales	Altura de los árboles de sombra					
	< 5 m		5-10 m		>10 m	
	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono
CJSD	0.4 (0.3)	0.2 (0.17)	1.1 (1.1)	0.6 (0.6)	1 (1.1)	0.4 (0.2)
CPSD	1.4 (0.3)	0.7 (0.1)	2 (0.6)	1 (0.3)	3.2 (1.4)	1.6 (0.5)
CPI	1.9 (0.5)	1 (0.2)	3.1 (0.8)	1.5 (0.3)	5.6 (1.5)	2.8 (0.6)
CPEM					3.4 (1)	1.7 (0.5)
CPAB					4.6 (1.3)	2.2 (0.6)

CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono.

Anexo 9. Biomasa y carbono almacenado en la hojarasca ($t\ ha^{-1}$) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura

Sistemas Agroforestales	Altura de los árboles de sombra					
	< 5 m		5-10 m		>10 m	
CJSD	8.3 (1.5)	4.2 (0.76)	6.1 (3.6)	3 (1.8)	9 (3.6)	4.5 (1.8)
CPSD	10 (5.7)	5.2 (2.9)	11 (3.8)	5.5 (1.9)	19.3 (12)	9.6 (5.9)
CPI	7.7 (2)	3.9 (0.9)	8.7 (2.2)	4.3 (1.1)	12.2 (1.4)	6.1 (0.7)
CPEM					15.4 (8.1)	7.7 (4.1)
CPAB					6.4 (4.3)	3.2 (2.15)

CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp.*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono. Datos en paréntesis son desviaciones standar

Anexo 10. Materia Orgánica y Carbono almacenado en suelo ($t\ ha^{-1}$) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura

Sistemas Agroforestales	Altura de los árboles de sombra					
	< 5 m		5-10 m		>10 m	
	% MO	Carbono	% MO	Carbono	% MO	Carbono
CJSD	5 (3.4)	188.3 (61.6)	4.9 (0.7)	149.9 (18.8)	4.6 (0.3)	126.2 (14.3)
CPSD	6 (0.6)	169.5 (36.5)	4.8 (0.2)	137.1 (13.2)	5.5 (0.7)	139.7 (13.6)
CPI	5.3 (0.6)	158.3 (5.72)	5.3 (1)	132.9 (23.6)	5.9 (3.3)	159.6 (47.9)
CPEM					4.1 (0.8)	113.9 (37)
CPAB					3.7 (0.8)	112 (18.7)

CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp.*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono.

Anexo 11. Biomasa y carbono aéreo (t ha⁻¹) en los diferentes sistemas agroforestales por rangos de altura

Tipo de Sistemas Agroforestales	Altura de los árboles de sombra					
	< 5 m		5-10 m		>10 m	
	Biomasa Aérea	Carbono Aéreo	Biomasa Aérea	Carbono Aéreo	Biomasa Aérea	Carbono Aéreo
CJSD	12.9 (2.8)	6.4 (1.4)	24.17 (6.4)	12.4 (3.4)	38.3 (17)	17.46 (17.5)
CPSD	19.4 (7.9)	9.2 (5.4)	32.2 (15)	15.6 (7.4)	55.3 (26)	27.3 (13)
CPI	13.6 (2.8)	6.8 (1.4)	28.28 (9.6)	14.2 (2)	53.6 (11.4)	26.4 (5.6)
CPEM					83.6 (11.8)	41.2 (5.8)
CPAB					66.8 (19.2)	32.7 (9.41)

CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp.*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono

Anexo 12. Carbono total (tC ha⁻¹) en los sistemas agroforestales de café con diferente altura de los árboles de sombra.

Tipos de sistemas agroforestales de café	Altura de los árboles de sombra (m)			
	< 5	5-10	>10	Promedio
CJSD	194.7 (62)	162 (20)	143.6 (16)	166.7 (26)
CPSD	179 (31)	152.7 (17)	167 (21)	166.3 (13)
CPI	165 (4.5)	147.1 (24)	186 (53)	166.1 (19)
CPEM			155.1 (31.5)	155.1
CPAB			144.7 (77)	144.7

CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp.*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono

Anexo 13. Densidad de árboles y café, DAP promedio de los árboles de sombra por SAF y rangos de altura de los árboles de sombra

Tipo de SAF	Rango de altura de los árboles de sombra (m).								
	< 5			5-10			>10		
	DArbol	DAP	DCafé	DArbol	DAP	DCafé	DArbol	DAP	DCafé
CJSD	346	5.3	5900	259	11.8	6340	180	20.3	4660
CPSD	290	6.1	6066	227	15.6	5200	180	20.4	4833
CPI	185	7.8	5200	218	14.8	5500	210	21.5	5500
CPEM							198	28.1	4433
CPAB							153	25	3500

DArbol: densidad promedio (árboles ha⁻¹) de los árboles de sombra; DAP: diámetro (cm) a la altura del pecho, promedio, de los árboles de sombra; DCafé: densidad del cultivo de café (plantas ha⁻¹); CJSD: Café Joven con Sombra diversificada; CPSD: Café Productivo con Sombra Diversificada; CPI: Café Productivo con *Inga spp.*; CPEM: Café Productivo con Especies Maderables; CPAB: Café Productivo en Abandono