

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE**



TRABAJO DE DIPLOMA

**CUANTIFICACION DE LA CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE
CARBONO EN SISTEMA AGROFORESTAL Y FORESTAL EN
SEIS SITIOS DE CUATRO MUNICIPIOS DE NICARAGUA**

Autor:

**Bra: Ronda Yuri Connolly Wilson
Br : Carlos Abel Corea Siu**

Asesor:

Lic. Cristóbal Medina Benavides, MSc.

**Managua, Nicaragua
Agosto, 2007**

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida.
A mi madre Gertrudis Ivonne Wilson, por todo su amor.

A mis hermanos quienes siempre me han apoyado en todo y a todos mis amigos en especial a Erica, Julissa, Heydi, Magdalena, Silvia y Karlita por brindarme su amistad sincera e incondicional.

Ronda Connolly.

A Dios por darme la vida y permitirme cumplir una de mis metas.
A mis padres Esperanza Siu y Carlos Corea por traerme a este mundo y por todo el esfuerzo que han realizado para darme una educación.

A mi tía Sandra Siu, a mi hermano Marlon y demás familiares por todo el apoyo brindado desde el inicio de mi carrera.

A mis compañeros de clases, a mis amigos y a todas esas personas que no menciono aquí pero que están presentes en mi mente y en mi corazón y que han compartido mucho conmigo en las buenas y en las malas, momentos que no se olvidan.

Carlos Abel Corea Siu.

AGRADECIMIENTO

AL Programa Socio Ambiental y Forestal (POSAF), por brindar financiamiento, a través del proyecto de consultoría de Valoración Económica de Servicio Ambiental (VESA – POSAF).

A la Cooperativa de Proyectos Agropecuario Industrial de Diriamba (COOPPAAD), por facilitarnos la base de datos del inventario forestal realizado en el año 2005.

A todos los productores que nos apoyaron en el campo permitiéndonos realizar los diferentes estudios en sus propiedades.

A la Universidad Nacional Agraria y muy en especial a la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente por su apoyo.

Al profesor y tutor Lic. Cristóbal Medina por todo su apoyo y darnos la oportunidad de realizar este trabajo.

A todos los docentes que de una u otra forma nos apoyaron en este trabajo.

Resumen

A nivel mundial existe una preocupación por el calentamiento de la tierra, debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Uno de los principales responsables de efecto de invernadero es el CO₂ en la atmósfera, debido principalmente a las actividades antropogénicas.

Los sistemas forestales y agroforestales son unos de los grandes sumideros del CO₂, que contribuye al secuestro de carbono atmosférico para la realización de su fotosíntesis y acumulación de biomasa.

El presente estudio tiene el propósito de cuantificar la fijación de carbono en sistema de pino, café ecoforestal, plantaciones energéticas y bosque seco con manejo de regeneración natural en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua.

Para la estimación de carbono fijado en las fuentes de la biomasa aérea, hojarasca y suelo, se ubicaron parcelas rectangulares de 1,000 m² en los sistemas de café ecoforestal, plantaciones energéticas y bosque seco con manejo de regeneración natural. En sistema de pino se utilizaron parcelas circulares de 1,000 m² con un radio de 17.84 m. En cada parcela, se procedió a inventariar e identificar las especies de plantas, se midieron la altura total (m), diámetro normal (1.3 m), diámetro basal (15 cm).

Dentro de la parcela, se ubicó una subparcela, con ayuda de un marco metálico de 1 m², donde, se tomaron muestras de hojarasca y suelo (profundidad de 0 - 30 cm). Para la estimación de la biomasa aérea, se utilizaron ecuaciones alométricas tanto generales como específicas para cada especie. Para el caso de hojarasca, se estimó la biomasa seca a través del peso húmedo y seco. La biomasa de las raíces, se estimó en base a un porcentaje (15 %) con respecto a la biomasa aérea. Para el cálculo de carbono orgánico de la biomasa aérea y raíces, se utilizó un factor por defecto de 0.5.

El carbono orgánico del suelo, se determinó en el laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua.

Entre los sistema estudiados, las plantaciones de pino presentaron la mayor cantidad de carbono fijado en sus diferentes fuentes (211.82 tC/ha), siguiéndole el sistemas de café ecoforestal con 163.88 tC/ha, luego el sistema de plantaciones con 153.72 tC/ha, y por último el bosque seco con manejo de regeneración natural con 105.74 tC/ha.

La fuente suelo representa entre 76.07 a 87.12 % de carbono almacenado en el sistema, siguiéndole la biomasa aérea de 10.36 al 21.06 % la biomasa de la raíz de 1.45 a 3.00 % y por último la hojarasca y hierbas de 0.46 a 1.75 %.

Summary

In the world exists a concern about the climate situation. The temperature of the planet is getting warm up produced for the greenhouse effect. One of the main gases of the greenhouse effect is the dioxide of carbon. This gas is produced mainly for human activities.

The forest and agro forestry systems contribute to take up atmospheric CO₂ through the photosynthesis and biomass productions.

The objective of his study was quantifying carbon fixation in pine forest, shadow coffee growing, energetic forest and management of natural regeneration (dry forest) in six sites of four municipalities of Nicaragua.

The carbon fixation in the component of biomass areas, debris and soil, were used rectangular plots (1,000 m²) at the shadow coffee growing, energetic forest and the management of natural regeneration (dry forest). Circle plots (1,000 m²) were used for the pine forest using a radius of 17.84 m. In each plots all the vegetation were recorded and identified and the following variables were measured: total height (m), normal diameter (cm), basal diameter (15 cm).

Sub plots were located with a metallic mark of 1m², to gather samples debris and soil (a depth of 0 – 30 cm). For the estimation of biomass areas, were used general and specific allometric equation for each species. In the case of the debris, were estimated by the dry and humid samples. The biomass roots were estimated in base of the 15% of the biomass areas. For the calculation of organic carbon from the biomass areas and roots, were estimated by the factor defect of 0.5.

The pine forest showed the higher content of carbon fixation in his different components (211.82 tC/ha), fallowed by the shadow coffee growing with 163.88 tC/ha, energetic forest system with 153.72 tC/ha, and the management of natural regeneration (dry forest) with 105.74 tC/ha.

The component of soil represent the 76.07 to 87.12 % of carbon in the system, fallow by the biomass areas with 10.36 to 21.06 % , biomass roots with 1.45 to 3.00 % and for last the debris and herbs with 0.46 to 1.75 %.

INDICE GENERAL

Contenido	Pag.
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Summary	vi
Índice general	viii
Índice de cuadros	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xiii
I. Introducción.....	1
1.1 Objetivos.....	3
II. Revisión de literatura.....	4
2.1 Conceptos generales.....	4
2.1.1 Biomasa.....	4
2.1. 2 Biomasa aérea.....	4
2.1. 3 Biomasa de las raíces.....	4
2.1. 4 Hojarasca.....	4
2.1. 5 Carbono fijado.....	4
2.1. 6 Almacenamiento de carbono.....	4
2. 2 El dióxido de carbono.....	4
2. 3 Cambio climático.....	5
2.4 Efecto invernadero.....	6
2.4.1 Los gases de efecto invernadero antropogénicos y el riesgo al cambio climático.....	7
2.4.1.2 Dióxido de carbono (CO ₂) y su rol en el efecto de invernadero.....	7
2.5 Métodos usados para estimar biomasa.....	9
2.5.1 Biomasa de los componentes leñosos.....	9
2.6 Características de los sistemas.....	12
2.6.1 Sistema de plantación de pino.....	12

2. 6. 2 Sistema de plantación de café ecoforestal.....	15
2.6.2.1 Café como sistema agroforestal.....	16
2. 6. 3 Sistema de plantaciones con fines energético.....	18
2.6. 4 Sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural.....	18
III Materiales y Método.....	22
3.1 Ubicación de los sitios.....	22
3.2 Selección del área de estudio y ubicación de las parcelas.....	23
3.3 Caracterización de los sitios de estudios.....	23
3.3.1 Sitio número 1 - 2. Comarcas de Amayo y Santa Rosa.....	23
3.3.2 Sitio número 2- 3. Comarcas Cuyalí y Venecia.....	24
3.3.3 Sitio número 4 - 6. Comarca Aguas Caliente y Susucayán.....	24
3.4 Caracterización de los sistemas vegetales.....	25
3.4.1 Sistema de plantación de pino.....	25
3.4.2 Sistema de plantación de café ecoforestal.....	26
3.4.3 Sistema de plantaciones con fines energético.....	27
3.4.4 Sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural.....	28
3. 5 La intensidad de muestreo.....	28
3.6 Tamaño y forma de la parcela.....	32
3.7 Mediciones.....	33
3.8 Descripción de las mediciones en las diferentes fuentes de almacenamiento de carbono.....	34
3.8.1 Medición de biomasa.....	34
3.8.1.1 Biomasa de los componentes leñosos.....	34
3.8.1.2 Biomasa herbácea.....	35
3.8.1.3 Medición de hojarasca.....	35
3.8.2 Muestreo del suelo.....	36
3.9 Metodología detallada para la cuantificación de carbono en las diferentes fuentes de fijación y almacenamiento de carbono.....	37

3.9.1	Carbono en la biomasa aérea (Cba).....	37
3.9.1.1	Sistema de plantación de pino.....	37
3.9.1.2	Sistema de plantación de café ecoforestal.....	38
3.9.1.3	Sistema de plantaciones con fines energético.....	40
3.9.1.4	Sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural.....	41
3.10	Carbono en la biomasa sobre el suelo.....	42
3.10.1	Carbono en la biomasa herbácea (Cbh).....	42
3.10.2	Carbono en la hojarasca.....	44
3.10.3	Carbono orgánico en el suelo.....	44
3.10.3.1	Metodología de análisis de carbono en la materia orgánica (% carbono).....	44
3.10.4	Carbono en la biomasa de raíces (Cbr).....	46
3.10.5	Procedimiento para la obtención de resultados.....	47
IV	Resultados y Discusión.....	48
4.1.	Cuantificación de carbono fijado en los diferentes sistemas.....	48
4.1.1	Sistema de plantación de pino.....	48
4.1.2	Sistema de plantación de café ecoforestal.....	50
4.1.3	Sistema de plantaciones con fines energético.....	53
4.1.4	Sistema bosque seco con manejo de regeneración natural.....	55
4.2	Análisis de los sistemas estudiados.....	57
V	Conclusiones	59
VI	Recomendaciones	61
VII	Bibliografía	62
VIII	Anexo.....	70

Índice de cuadros

Cuadros	Pág.
1a. Área de plantación, número de parcelas e intensidad de muestreo para el sistema de pino en el municipio de Jalapa.....	29
1 b. Área de plantación de los árboles de sombra, número de parcelas e intensidad de muestreo en el sistema de café ecoforestal en el municipio de Jinotega.....	30
1 c. Área de plantación del cafeto, número de parcelas e intensidad de muestreo del sistema de café ecoforestal en el municipio de Jinotega.....	30
1d. Área de plantación, número de parcelas e intensidad de muestreo para el sistema de plantaciones con fines energético en el municipio de El Jícaro.....	31
1e. Área manejada, número de parcelas e intensidad de muestreo para el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural en el municipio de Diriamba.....	32
2. Ecuación alométrica según Brown, 1996, utilizada en el cálculo de biomasa aérea en conífera.....	37
3. Ecuación alométrica según Brown, 1996, utilizada en el cálculo de biomasa aérea en café ecoforestal.....	39
4. Ecuación alométrica según Brown, 1996, utilizada en el cálculo de biomasa aérea en las plantaciones con fines energético.....	41
5. Promedios de carbono fijado por los componentes del sistema de pino, municipio de Jalapa, Nueva Segovia, 2006.....	49
6. Diámetro, altura y densidad promedio de árboles en el sistema de plantación de pino.....	49
7. Diámetros, alturas y densidad promedio de árboles reportados por el sistema de café ecoforestal.....	50
8. Carbono fijado y almacenado en las diferentes fuentes del sistema de plantación de café ecoforestal en el municipio de Jinotega.....	52
9. Diámetros, alturas promedio y cantidad de árboles reportados por el sistema de plantaciones con fines energético.....	53

10. Carbono fijado y almacenado en las fuentes del sistema de plantaciones con fines energético, Jícaro, Nueva Segovia, 2006.....	54
11. Diámetros promedios y densidad arbórea para el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural.....	55
12. Promedios obtenidos para el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural, Diriamba, Carazo, 2006.....	56
13. Promedios de la tasa de fijación de carbono para los cuatro sistemas.....	58
14. Rangos reportados por los cuatro sistemas en sus diferentes medidas.....	58

Índice de Figuras

Figuras	Pág. 1.
Ubicación de los sitios de estudio de carbono.....	22
2. Parcela rectangular 20 * 50 m (1,000 m ²).....	33
3. Parcela circular 1,000 m ² (radio 17.84 m).....	33
4a. Medición de diámetro de árbol bifurcados.....	34
4b. Toma de diámetro en terreno inclinado.....	34
5. Medición de altura de un árbol en el campo.....	34

Índice de Anexos

Anexos	Pág
Anexo 1. Cuadro especies vegetales encontradas en las áreas de estudio.....	71
Anexo 2 a: Carbono fijado por las diferentes fuentes en el sistema de pino, Jalapa, 2006.....	72

I. INTRODUCCIÓN

La tierra está cubierta por una capa de gases que deja entrar energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra, algunos de estos gases de efecto invernadero (GEI) impiden el escape de este calor hacia el espacio. Este es un efecto natural que mantiene a la tierra a una temperatura promedio arriba del nivel de congelación del agua que permite la vida tal como la conocemos. Pero las actividades humanas están produciendo un exceso de GEI (principalmente dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) que están potencialmente alterando el clima de la tierra, con un aumento de las temperaturas globales, promedios entre 0.3 y 0.6 °C (Márquez, 2000).

El dióxido de carbono es el más importante de los GEIs, 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 desforestados y quemados (UNEP 2001). Desde 1750, las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) ha incrementado por más del 30% (de 280 ppm a 360 ppm), mientras que el metano por más de 150% y el óxido nitroso por más del 15%. Las concentraciones de metano y CO₂ son más altas ahora que desde cualquier tiempo de los últimos 42,000 años (Aldy *et al.*, 2001) y estos son emitidos de las actividades agrícolas, cambio de uso en el 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).

Una de las principales causas del incremento GEI, es debido a la actividad antropogénica como: la deforestación de los bosques, cambios de uso de suelos, quema de combustibles fósiles y bosques. Según la FAO (2001), cerca de un tercio del calentamiento de la atmósfera y el cambio climático proviene de la agricultura, sobre todo de la deforestación, quema y descomposición de la materia orgánica (FAO 2001, citado por Suárez, 2004).

Los ecosistemas terrestres juegan un papel importante en el ciclo global del carbono. Una política exitosa para el cambio climático debe tomar en consideración las dinámicas del ciclo terrestre del carbono en la atmósfera. Otras actividades del uso de la tierra y bosques que pueden contribuir incluyen: conservación de los bosques en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, aforestación, reforestación o promoción de agroforestería, las prácticas que promueven un aumento en el carbono orgánico del suelo también pueden tener un efecto positivo de fijación de carbono (Márquez, 2000).

El presente estudio pretende obtener información de campo, sobre la capacidad de fijación de carbono en los diferentes sistemas (café ecoforestal, Pino, Plantaciones con fines energéticos y bosque seco con manejo de la regeneración natural), así mismo, conocer la potencialidad del servicio ambiental de fijación de carbono, para futuras venta de carbono en el mercado internacional.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Cuantificar la fijación y almacenamiento de carbono en cuatro sistemas productivo (plantación de pino, café ecoforestal, plantaciones con fines energéticos y sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural), en cuatro municipios de Nicaragua.

1.1.2. Objetivo específicos

- Cuantificar el carbono fijado en la biomasa aérea y biomasa subterránea (raíces) en cuatro sistemas productivos.
- Cuantificar el carbono fijado en la hojarasca del suelo en cuatro sistemas productivos.
- Cuantificar el carbono orgánico almacenado en el suelo en cuatro sistemas productivos.

II. REVISIÓN LITERARIA

2.1. Conceptos generales

2.1.1. Biomasa: El total de materia orgánica seca o el contenido almacenado de energía de los organismos vivos (Zamora *et al.*, 2000).

2.1.2. Biomasa aérea: Es la que conforma las estructuras leñosas aéreas de especies frutales, maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo (Medina, 2006).

2.1.3. Biomasa de las raíces: Esta la representan los sistemas radiculares, constituyen otro sumidero de carbono (Medina, 2006).

2.1.4. Hojarasca: Se refiere a la materia orgánica que se encuentra en diferentes proceso de descomposición (Medina, 2006).

2.1.5. Carbono fijado: Se refiere a la cantidad de carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de captar en un período de tiempo determinado (Segura, 1999).

2.1.6. Almacenamiento de carbono: Se refiere a la capacidad del bosque para mantener una determinada cantidad promedio de carbono por hectárea, que será liberado gradualmente a la atmósfera en un tiempo determinado. La unidad de medida es mega gramo de carbono (Mg C). Ejemplo: Carbono en suelo forestales (Segura, 1997 citado por Pérez. *et al.*, 2005).

2.2. El Dióxido de carbono: Gas producido naturalmente, también es un derivado de la quema de combustibles fósiles y de la biomasa, así como de los cambios de uso de suelo y otros procesos industriales.

Es el principal gas antropogénico de efecto invernadero que afecta a la temperatura de la tierra. Es el gas de referencia sobre el cual los otros gases de efecto invernaderos son catalogados con un potencial de calentamiento global. El dióxido de carbono constituye aproximadamente un 0.036% de la composición de la atmósfera (Pérez *et al.*, 2005).

2.3. Cambio climático: Por cambio climático se entiende, un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural observada del clima durante períodos de tiempo comparables (Pérez *et al.*, 2005).

Las variaciones climáticas están influenciadas por cambios naturales, como por el efecto del desarrollo de las sociedades humanas (Pérez *et al.*, 2005).

Entre las causas naturales que podrían ser responsables del cambio climático, están las variaciones cíclicas de la intensidad solar provocadas por las manchas solares, cuya periodicidad es aproximadamente de 30 años, además de grandes erupciones volcánicas y variaciones en la órbita terrestre alrededor del sol (Pérez *et al.*, 2005).

Con el inicio de la era industrial, a mediados del siglo XVIII, la actividad humana aceleró su incidencia sobre los recursos naturales para crear los productos y servicios que demanda la sociedad. De tal manera que el desarrollo industrial, como parte del desenvolvimiento socioeconómico, ha alterado directa o indirectamente la composición de la atmósfera mundial, la cual es responsable de una modificación del intercambio energético entre el sol, la superficie terrestre y el espacio sideral, a través del fenómeno llamado efecto invernadero (Pérez *et al.* , 2005).

2.4. Efecto invernadero: El efecto invernadero es un fenómeno natural, convertido por el hombre en una amenaza para su propia seguridad, al ser alterado debido principalmente al consumo de energía generada por la combustión de derivados del petróleo, gas natural y carbón mineral, además de la destrucción de bosques, particularmente en el trópico (Pérez *et al.*, 2005).

La energía solar que atraviesa la atmósfera en forma de luz visible debe liberarse al espacio dentro de determinado periodo de tiempo en las mismas proporciones en que fue absorbida por la tierra, no obstante, parte de esta energía es retenida por el vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera, impidiendo que esta sea devuelta de inmediato y dando lugar al fenómeno llamado “efecto invernadero” (Pérez *et al.*, 2005).

El efecto invernadero es un proceso natural pero ha sido alterado por la influencia antropogénica provocando elevaciones en la temperatura media del planeta. Desde 1850 hasta nuestros días se estima que la temperatura media del globo terráqueo ha aumentado de 0.5 °C y se proyecta un aumento adicional de aproximadamente 2.5 °C para el final del siglo XXI (Informe del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, “IPCC” citado por Andrade, (1999).

Si persisten las tendencias actuales, se pronostica que la concentración de CO₂ en la atmósfera se duplicara respecto al nivel de la revolución pre – industrial llegando a unos 260 ppm para el año 2065. Esto influirá en el clima global y regional probablemente. Se pronostica un aumento de 2 a 5 °C, aumentando más con la latitud y tendrá mayores efectos en los ecosistemas septentrionales IPCC, citado por Andrade, (1999).

2.4.1 Los gases de efecto invernadero antropogénicos y el riesgo al cambio climático

El informe más reciente del IPCC concluyó que el balance de la evidencia sugiere una influencia humana discernible en el clima. Este mismo informe señala que un incremento en la temperatura media global de 2 °C en el presente siglo significaría, un incremento potencial del nivel del mar hasta de un metro, afectando así cuantiosas zonas costeras, también se espera una mayor incidencia de eventos climáticos extremos y menor cantidad de precipitación, lo cual afectaría directa o indirectamente a todos los sectores productivos del país como se expone en un documento publicado antes por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA 2001) sobre el impacto del cambio climático en Nicaragua.

Se ha identificado que las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades humanas son la principal causa del cambio climático global. Los gases de efecto invernadero inducidos por las actividades humanas son principalmente los siguientes: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O). De estos el dióxido de carbono es el mayor contribuyente al calentamiento global.

2.4.2 Dióxido de carbono (CO₂) y su rol en el efecto de invernadero

El CO₂ es considerado uno de los gases de mayor influencia en el efecto de invernadero, se considera necesario e importante conocer un poco acerca del comportamiento del carbono en la superficie de la tierra y su papel en la atmósfera, la cual de forma resumida parte del ciclo del carbono.

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre (incluyendo los sistemas de agua dulce), los océanos y los sedimentos (incluso los sedimentos fósiles). Estos depósitos son fuentes que cumplen la opción de liberar el carbono, o de ser sumideros que absorben carbono de otra parte del ciclo (Ciesla W. M., 1996).

Los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Molina *et al.*, 2002 a). En general, las plantas verdes absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis, para transformarlos en elementos de importancia para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. El carbono, se deposita en el follaje, tallos y sistema radicular y principalmente en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (CO₂).

La emisión antropológica del carbono en la atmósfera perturba el equilibrio del ciclo del carbono y contribuye a la acumulación de 3.4 mil millones de toneladas de carbono por año en la atmósfera, lo que representa un crecimiento en la tasa de carbono atmosférico en el orden de 0.5 % por año (Locatelli, 1999).

El estudio del ciclo del carbono es importante para el entendimiento de su papel en el crecimiento de una planta, la cual conlleva la incorporación dentro de sus tejidos de carbono (proceso que se conoce como fijación de carbono). El carbono se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono y es removido de esta durante la fotosíntesis para la formación principalmente de carbohidratos (a esta acción se le conoce como captura, almacenamiento o secuestro).

La tasa de producción de biomasa potencial de una planta, depende entre otras cosas, de su tasa de formación de carbohidratos, la velocidad de crecimiento y duración de su ciclo de vida (IPPC, 2001 a).

Tomando en cuenta que todas las plantas y animales realizan respiración, este proceso causa una disminución de oxígeno y un incremento de Dióxido de carbono atmosférico (Hall *et al.*, 1994). Cuando una planta o una parte de ella mueren, la liberación del carbono fijado en tejidos vivos es liberada a la atmósfera en forma de Dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición (Finnegan *et al.*, 1997).

La deforestación contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico y promoviendo la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica del suelo (Pérez *et al.*, 2005).

La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques jóvenes ya sean plantaciones o bosques secundarios, y el crecimiento neto de bosques primarios. Desde el punto de vista del cambio de uso de la tierra, la liberación del carbono a la atmósfera está asociada con la tala del bosque para la agricultura, la explotación comercial de los bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos (Ericsson *et al.*, 1993).

2.5. Métodos usados para estimar biomasa

Los sistemas agroforestales y forestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca sistemas radiculares (raíces) y carbono orgánico en el suelo (Snowdon *et al.*, 2001). En general, todos los componentes grandes y que cambian sustancialmente durante la vida del proyecto deberían ser medidos; sin embargo, es necesario enfatizar en aquellos que almacenan el carbono con mayor permanencia, como la biomasa leñosa.

2.5.1 Biomasa de los componentes leñosos.

Los métodos más usados para estimar esta biomasa son: (a) uso de modelos de biomasa por especie; (b) aplicación de modelos generales por biomasa; (c) construcción de tablas de biomasa generales o por especie; (d) uso de tablas de rendimiento estándar de madera (Snowdon *et al.*, 2001), y (e) uso de técnica del árbol promedio (Mac Diken, 1997). En todas estas situaciones se debe de medir el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total de la vegetación leñosa.

a) Uso de modelos de biomasa por especie

Se estima la biomasa aérea total por individuo con base en el dap y la altura total. Lo más aconsejable es emplear modelos que hayan sido construidos bajo condiciones similares a las encontradas donde se requieran aplicar, principalmente en términos de tamaño de árboles y densidad arbórea. Algunos autores han desarrollado modelos de biomasa para su uso en los sistemas de trópico seco y húmedo. En este caso las medidas necesarias son dap y la altura total del árbol.

b) Uso de modelos generales

Se han desarrollado algunos muy generales como herramienta para estimar el contenido de biomasa aérea en inventarios forestales (Brown *et al.*, 1989). Aunque estos modelos pueden presentar grandes limitaciones, podrían usarse en el caso de no existir modelos específicos para zonas o condiciones particulares. El uso de dichos modelos generales requiere de las mediciones del dap, en algunos casos a la altura total del árbol y la densidad de la madera.

c) Construcción de modelos o tablas de biomasa por especie

En caso de no encontrar modelos por especie, es posible desarrollarlos (Segura y Kanninen, 2002). Los modelos de biomasa son ecuaciones matemáticas que relacionan la biomasa con dimensiones de árboles en pie (dap, altura comercial, crecimiento diamétrico, etc.) (Ortiz 1993, Brown 1997, Araujo *et al.*, 1999). Estos modelos de biomasa pueden ser construidos mediante un muestreo destructivo, usando un mínimo de 30 árboles bien seleccionados (Mac Diken 1997).

En general la construcción de modelos de biomasa consiste en la medición de árboles en pie y la posterior corta y cuantificación de biomasa aérea total. El árbol se divide en componentes: fuste, ramas grandes, ramas pequeñas y hojas.

Las ramas pequeñas (diámetro < 25cm) y hojas pueden ser pesadas en fresco y transformadas a valores de biomasa tomada una muestra y secándola en el horno (70 °C hasta peso constante).

El fuste y las ramas grandes (diámetro \geq 25 cm) se cubican (determinación de su volumen por medio de ecuaciones de Smalian, Huber, etc.) y se transforman a biomasa por medio de su gravedad específica.

d) Uso de tablas de rendimiento estándar

Las tablas de rendimiento estándar estiman el volumen de árboles en pie con algunas de sus dimensiones (dap, altura total). Posteriormente, con la ayuda de la gravedad específica y el factor de expansión de biomasa (relación entre biomasa total y biomasa de fuste), puede estimarse la biomasa aérea total (García A., 2002).

Los valores promedios de gravedad específica, peso por unidad de volumen, pueden ser encontrados en la literatura o determinados mediante un análisis de laboratorio. El peso de las muestras secas (70 °C por 72 horas) es de fácil estimación. El cálculo del volumen se puede realizar por medio de dos métodos generales: (1) tomando piezas de madera de forma regular (ej. Un cubo) de dimensiones conocidas (Vine *et al.*, 1999), o (2) cubriendo las muestras de parafina e introduciéndolas en un recipiente con agua para determinar su volumen por desplazamiento de agua (principio de Arquímedes).

El factor de expansión de biomasa (FEB), la relación entre biomasa total aérea y la biomasa comercial varía mucho entre especies y condiciones particulares de los ecosistemas forestales. El valor más comúnmente empleado es de 1.6 (Dixon, 1995); sin embargo, en sistemas agroforestales, se pueden encontrar valores promedios de 2.2 con un rango de 1.9 a 2.4.

Ruíz (2002) encontró valores promedios de FEB de 1.6, para siete especies arbóreas (*Cassia grandis*, *Platymiscium pleiostachyum*, *Pithecellobium saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea*).

e) La técnica del árbol promedio

Esta técnica puede ser una opción más económica que los métodos alométricos. El concepto es que un árbol de tamaño promedio tendrá también biomasa promedio; para esto, el área basal tiende a ser un buen indicador de la biomasa total. Los árboles seleccionados se cortan y se cuantifica su biomasa, y se multiplica el peso del árbol promedio por la densidad de árboles del sistema para obtener un estimado de la biomasa total. Pueden incluirse algunas modificaciones, tales como un muestreo estratificado, el método de la relación de área basal o la utilización de valores de promedio ponderado (Mac Diken, 1997). El número de árboles por cortar dependen del número de estratos del sistema.

2.6 Características de los sistemas

2.6.1 Sistema de plantación de pino

El sistema pino está compuesto por la especie de *Pinus oocarpa*. De la familia Pinaceae; el cual es un árbol que alcanza normalmente 30 metros de altura, ocasionalmente 45 metros y diámetros hasta de 90 a 100 centímetros a la altura del pecho. Corteza profundamente fisurada café oscuro descascarándose en placas gruesas alongadas e irregulares. Hojas aciculares generalmente con 5 acículas por fascículo, eventualmente 4 ó 6, de 12 a 16 cm de longitud y 1 a 1.2 mm de espesor, flexibles, subcoriáceas con 3 a 8 canales resiníferos; vainas persistentes, de 2.5 – 10.0 cm de largo y 4,0 a 7.5 cm de ancho en pedúnculo de hasta 3 cm de longitud. Los conos maduran de enero a marzo. Instituto de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA, 1992).

Se encuentra ampliamente distribuido en México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua. En Nicaragua se presentan en alturas mayores a los 700 metros sobre el nivel del mar en las montañas del norte en los departamentos de Nueva Segovia, Madriz, Estelí, León, Jinotega y Chinandega (IRENA, 1992).

La madera de esta especie tiene diferentes usos entre los cuales se pueden mencionar; puede utilizarse en construcciones livianas y molduras, muebles, carpintería en general, contrachapados, artículos torneados, puertas, gabinetes, ventanas, artesanías, cortinas o persianas flexibles, postes para líneas de transmisión eléctrica y telefónica (tratados), pulpa y papel (IRENA, 1992).

El *Pino oocarpa* es susceptible a hongos cromógenos productores de la mancha azul. El duramen es moderadamente resistente a hongos de pudriciones fácil de tratar con soluciones preservantes en albura y moderadamente tratable en duramen bajo el método vacío – presión (IRENA, 1992).

En el país se cuentan con pocos estudios, dentro de estos se menciona el estudio realizado por Gómez *et al.*, (2000); sobre el estudio de fijación de carbono en plantaciones de *Pinus oocarpa*, de 11 años de edad, en los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia. El objetivo principal de este estudio fue estimar la cantidad de carbono fijado en ambos sitios.

En el cual sus resultados fueron los siguientes en el sitio Buenos Aries la cantidad de carbono estimado fue de 8.15 ton/ha biomasa aérea, hojarasca 1.14 ton/ha, y suelo 43.5 ton/ha; para un total de 52.78 ton/ha. Mientras que en sitio Aurora, en el compartimiento 18, en biomasa aérea 4.65 ton/ha, en hojarasca 0.71 ton/ha y en el suelo 27.5 ton/ha; para un total de 32.85 ton/ha. En el compartimiento 19, en biomasa aérea fue de 5.04 ton/ha en hojarasca 0.85 ton/ha y en el suelo 25.95 ton/ha; para un total de 31.84 ton/ha.

Existen otros estudios sobre la especies *Pinus*; como el realizado por Schoeder (1992), citado por Naburs *et al.* (1993) menciona una existencia de carbono de 59 tmc/ha en árboles de plantaciones de *pinus caribea* en sitios promedios, asumiendo una rotación de 15 años con un incremento medio anual en volumen de 20 m³/ha/ año.

Otro estudio realizado por (Márquez L. 2000) menciona que en bosques de Conífera en Guatemala (San José, Tachoche), en un sistema de rotación para aprovechamiento reporto un total de 110 tC/ha.

Para el sistema de plantación de pino, existen algunos factores los cuales influyen en la fijación de carbono, estos factores pueden favorecer al sistema.

Dentro del sistema pino entre los factores que ejercen influencia sobre las fuentes que componen este sistema se puede mencionar; la altura y el diámetro de los árboles que forman parte del sistema, ya que existe una correlación comparativa entre la biomasa, la altura y los diámetros, es decir a mayor diámetro y alturas, mayor biomasa, lo que significa mayor cantidad de carbono fijado (Ciesla, 1996).

Otro de los factores, es la elevación la cual influye en las concentraciones de carbono en el suelo ya que en relación con la temperatura y la precipitación, favorecen la producción de materia orgánica de la plantación, la cual al descomponerse es incorporada al suelo e incrementa las concentraciones de carbono y otros nutrientes en el suelo (Locatelli, 1999).

Por último podemos mencionar la densidad arbórea del sitio, ésta influye dentro de las estimaciones de fijación de carbono, ya que dicha densidad permite una mayor captación de carbono por medio de la fotosíntesis realizada por cada individuo e incrementa las concentraciones de carbono dentro de la biomasa aérea (Locatelli, 1999).

2.6.2 Sistema de plantación de café ecoforestal

El cafetal es un agroecosistema florísticamente diverso, con estratificación vertical, horizontal y temporal y diferentes productos y formas de manejo. La composición botánica y la estructura del dosel de sombra varían ampliamente entre cafetales de diferentes países, entre regiones de un mismo país y dentro de una misma región. Existen factores biofísicos y socioeconómicos que determinan el diseño y el manejo de los cafetales del país (Muschler R. 2000).

En un sistema agroforestal los árboles son el componente más grande y dominante. Para evaluar la contribución de los árboles en sistemas agroforestales ecológicamente sostenibles, hay que considerar primero atributos, sobresalientes que deben tener los agroecosistemas para ser sostenibles. Los árboles, a través de sus efectos ecológicos y valor económico (Muschler R. 2000).

Hay muchos factores que influyen sobre los beneficios de la asociación entre cafetos y árboles. Cultivar café “bajo sombra “no significa solamente dar sombra y reducir el estrés ambiental para el cafeto. Significa también que los árboles modifican el ambiente para el café mediante sus raíces, ramas y hojas. Las raíces pueden competir con el café; las ramas pueden quebrar el café al caer; y las hojas forman una capa de hojarasca y materia orgánica con grandes beneficios para el suelo. Además, café bajo sombra significa que se pueden generar ingresos adicionales por la producción arbórea, sobre todo madera, leña y frutos (Muschler R. 2000).

Los efectos ambientales de los árboles se pueden dividir en dos grandes grupos. El principal grupo incluye efectos directos que tienen consecuencias inmediatas para el crecimiento y la producción de los cafetos asociados.

Este grupo abarca, principalmente, el nivel de sombra y cambios microclimático debido a ellos. Los efectos microclimáticos más importantes son los cambios de temperatura y humedad.

El segundo grupo de efectos de árboles consiste en efectos indirectos o secundarios en función de los cambios microclimático y cambios a largo plazo en la fertilidad del suelo, las propiedades de este son mejores bajo cafetales con sombra.

Los efectos indirectos de mayor importancia pueden ser efectos sobre plagas, enfermedades y malezas (efectos que ocurren en relativamente poco tiempo) (Guharay *et al.*, 1999; Stever, 1995), o puede ser efecto sobre la fertilidad del suelo, se expresan a través de las propiedades del suelo (Muschler *et al.*, 1999). El mantenimiento sobre los niveles altos de materia orgánica es uno de los factores principales tanto por su rol de mantener la estructura del suelo, como por su importancia como fuente de sustrato y nutrientes (Muschler R. 2000).

2.6.2.1 Café como sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales proporcionan una gran cantidad de climas, suelos, tipo de vegetación y sistemas de producción en los agroecosistemas cafetaleros en Nicaragua, los cuales pueden clasificarse en cinco tipos:

Tradicional o turístico.

Policultivo manejado.

Monocultivo (café con una especie de sombra).

Monocultivo (café con varias especies de sombra)

A pleno sol

Debemos resaltar que en Nicaragua aproximadamente el 80 % o más del café se encuentran bajo sombra. Esta tecnología para el cultivo del café, ha constituido uno de los sistemas más exitosos del mundo de las tecnologías agroforestales. Actualmente se sigue promoviendo la combinación del manejo tradicional de sombra con tecnología moderada de los niveles de aplicación de agroquímicos, para lograr sistemas sostenibles y competitivos con tecnologías limpias y café de calidad (Medina, 2004).

Varios estudios han demostrado el papel importante del café con sombra versus cafetales a pleno sol, como conservadores de la flora, fauna, microorganismos, aguas y suelos y particularmente como fijadores de carbono (Medina, 2004).

El café bajo sombra representa, por lo tanto, una ventaja económica y ecológica, pues conserva paisajes tradicionales y genera un potencial importante de ecoturismo (Medina, 2004).

El café bajo sombra, además de protegerlos de las lluvias y de los vientos fuertes, la sombra juega un papel amortiguador contra cambios de temperaturas o humedad relativa (Medina, 2004).

Una mezcla de sombra crea también, una mezcla de hojarasca. Las diferentes tasas de descomposición, así como las distintas composiciones químicas de los varios tipos de hojarasca, provocan que haya una incorporación de materia orgánica constantes con un gran rango de nutrientes. La incorporación de la materia orgánica mejora la textura del suelo, facilita el desarrollo radicular del cafeto y ayuda con la infiltración del agua. En cuanto a la humedad edáfica del suelo, la capa de hojarasca y el mulch evitan la pérdida de agua en el suelo durante la época seca (Medina, 2004).

2.6.3 Sistema de plantaciones con fines energético

Los sistemas de plantaciones con fines energéticas deben tener propósitos múltiples es decir que tenga otros usos, las plantas tienen que adaptarse bien a diferentes lugares, que se establezcan fácilmente y que necesiten poco cuidado que se puedan cultivar en ambientes problemáticos tales como laderas inclinadas, suelos tóxicos o con pocos nutrientes, zonas áridas y tierras altas tectónicas (POSAF/ MARENA 2005).

Estas plantas deben presentar las siguientes características:

- Capacidad de fijar nitrógeno atmosférico.
- Crecimiento rápido
- Capacidad de rebrote
- Capacidad de producir madera de alto valor calorífico
- Capacidad de crecer exitosamente en una amplia variedad de condiciones incluyendo diferentes altitudes, tipos de suelo, regímenes de lluvia, cantidad de luz solar sitios.

Las especies leñosas pueden ser fuentes de forraje para los animales, principalmente en épocas de sequía, reduciendo el sobrepastoreo, la degradación del suelo y otros procesos degradativos que afectan los recursos del sistema (POSAF/MARENA 2005).

2.6.4 Sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural

El bosque seco cubre más del 40 % del área total del bosque tropical (Murphy *et al.*, 1986). De acuerdo con el sistema de clasificación de vida de Holdrige, el bosque seco y el subtropical se clasifican en áreas libres con temperatura anual de 17 °C, con una precipitación alrededor de 250 – 2000 mm.(Murphy *et al.*,1995).

El bosque seco es menos diverso que los bosques húmedos y tropicales y al mismo tiempo son más diversos que algunos bosques subtropicales; en average, el bosque neotropical y el bosque seco tienen alrededor de 50 – 70 especies en 0.1 hectárea (Gentry, 1995; Gillespie, *et al.*, 2000).

La descripción de cualquier bosque incluye atributos tales como la composición florística y estructura; el entendimiento tanto de la composición florística y la estructura son importantes para un manejo sostenible del bosque.

La composición florística se refiere o está relacionada con la riqueza de especies, abundancia de especies y diversidad de especies (Louman *et al.*, 2001).

La composición de un bosque está determinada por el número de familias, género y especies que se registren dentro del bosque al momento de realizar un inventario, esta información se utiliza esencialmente para caracterizar de manera inicial al bosque en su estructura arbórea. Los componentes que se toman en cuenta para completar mejor la información a cerca de la composición se enfocan en la diversidad de especies, riquezas de especies y la similaridad de especies entre otros (Louman *et al.*, 2001).

La estructura boscosa incluye atributos tales como abundancia y área basal de diferentes clases y alturas individuales. Murphy y Lugo (1995) reportan alturas que oscilan de 10 – 40 metros y áreas basales entre 17 – 40 m² ha/año en bosques secos.

De acuerdo con Gillespie *et al.*, (2000), el average del área basal y abundancia en los bosques tropicales secos en Centroamérica es de 22.03 m² ha/año y 147 individuos por 0.1 ha.

La regeneración natural es el conjunto de proceso mediante los cuales el bosque consigue establecerse por medios propios.

Esta regeneración posee un especial interés e importancia para las comunidades en bosques tropicales, permitiendo la comprensión de los mecanismos de transformación de su composición florística y estructurales (Cárdenas, 1986).

Los bosques naturalmente se regeneran mediante la dispersión de semillas de los árboles maduros, es decir mediante la regeneración generativa. Muchas especies caducifolias tienen la capacidad de regenerarse mediante los rebrotes los que se originan de las adventicias del tocón o de las raíces, lo que se denomina regeneración vegetativa (Bueso y Márquez, 1997).

Existen otras definiciones de regeneración natural como la propuesta por Bueso (1997), que define regeneración natural como un proceso continuo natural para asegurar su propia sobrevivencia, normalmente por una abundante producción de semillas que germinan para asegurar el nuevo bosque.

En la dinámica de la regeneración natural en bosques secos, se lleva un proceso extremadamente complejo el cual depende de diferentes factores tales como distribución, precipitación, topografía, edafología y condiciones de luz (Gerhart y Hytteborn, 1992; Bekele, 2000; MC Laren y MC Donald, 2003).

Según Beek *et al.*, (1992). La regeneración natural se puede clasificar en: Ecológica y dimensional.

Dimensional sobre todo en los primeros años de establecimiento y crecimiento de la regeneración natural.

Las categorías dimensionales son:

Brizales: Aquellos individuos entre 0,3 m a 1,5 m de altura.

Latizal bajo: De 1.5 metros de altura a 4.9 cm de diámetro.

Latizal alto: De 5.0 cm a 9.9 cm de diámetros o mayor. (POSAF II /MARENA, 2005).

En el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural, según estudios realizados en este tipo de sistema, la mayor concentración de cantidad de carbono fue encontrada en el componente suelo ya que éste sirve de reservorio de toda la materia orgánica producida por los ecosistemas. Los árboles mayores almacenan importante cantidad de biomasa por su naturaleza y su composición.

El carbono en este sistema representa un promedio del 58 % de la materia orgánica, aun así, en los trópicos constituye solamente de un 45 a 55 % (Locatelli 1999, Siu, *et al.*, 2001).

Según Locatelli, (1999) la cantidad de carbono en el suelo de estos ecosistemas depende de las características del suelo, cubierta vegetal, topografía, condiciones hidrológicas, altitud y tipo de explotación humana.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de los sitios

Este trabajo fue realizado en las comarcas de Susucayán, Aguas Calientes, Cuyalí y Venecia, Amayo y Santa Rosa, municipios de El Jícaro, Jalapa, Jinotega y Diriamba respectivamente. Figura 1.



Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio de carbono.

3.2 Selección del área de estudio y ubicación de las parcelas

Para seleccionar el área de estudio, se estableció coordinación con los Organismos Co-ejecutores del POSAF (OCES) departamentales. Para la selección de fincas se consideraron los siguientes criterios:

- a) Ser beneficiario del Programa Socio Ambiental y Forestal (POSAF).
- b) Tener un período de 5 a 6 años de ejecutado el mejoramiento de sistema seleccionado como: pino, café, plantaciones energéticas y manejo de bosque seco.
- c) Disposición del productor de facilitar su finca para este estudio.

Se seleccionaron un total de 20 fincas, correspondientes a cuatro sistemas productivos, distribuidos de la siguiente forma: 5 para el sistema de Pino, 6 para el Café Ecoforestal, 4 Bosque seco con Manejo de Regeneración Natural y 5 para el sistema de Plantaciones con Fines Energéticos . Estos se localizaron en los municipios de: Jalapa, Jícaro, Diriamba y Jinotega.

3.3 Caracterización de los sitios de estudios

3.3.1 Sitio número 1 - 2. Comarcas de Amayo y Santa Rosa

Estos sitios, se encuentran ubicados en las comarcas de Amayo y Santa Rosa, del municipio de Diriamba con una superficie de 281.0 km², una elevación sobre el nivel del mar de 400 a 600 metros, presentando de esta forma una vegetación compuesta por bosques bajos o medianos caducifolios de zonas cálidas y húmedas (MARENA, 2000 a).

Su precipitación media anual oscila entre 1,200 a 1,400 milímetros, y su temperatura media anual se encuentra entre 24.0 a 25.0 °C.

Sus suelos se originan de material piroclástico presentando así gran frecuencia de horizontes A - B y A - B - C. Estos suelos difieren en su grado de desarrollo en función de la época de deposiciones del material.

3.3.2 Sitio número 3- 4. Comarcas Cuyalí y Venecia

Estos sitios se ubican en las comarcas de Cuyalí y Venecia, municipio de Jinotega el cual presenta una superficie de 880.0 km², su elevación sobre el nivel del mar va de 1,000 a 1,300 metros, presentando una vegetación compuesta por bosques medianos o altos subperennifolios de zonas frescas y húmedas. Dentro de su vegetación diversa son frecuentes los pinares y robledales.

Su precipitación media anual oscila entre 1,000 a 1,200 mm, con temperaturas promedio de 21.0 a 22.0 °C (MARENA, 2000 b).

Presenta suelos alfisoles, los cuales son suelos minerales maduros bien desarrollados, con un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de arcilla aluvial (horizonte argílicos) de muy profundos a pocos profundos (60 a >120 cm) en relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados estratos sedimentarios de lutitas (MARENA, 2000 b).

El drenaje interno en estos suelos varía de pobre, moderado a bien drenados, encontrándose en algunas áreas, durante épocas lluviosas, en nivel freático fluctuante a una profundidad de 20 cm (MARENA, 2000 b).

3.3.3 Sitio número 5- 6. Comarca Aguas Caliente y Susucayán

La comarca de Aguas Caliente está ubicada en el municipio de Jalapa del departamento de Nueva Segovia. Este municipio cuenta con una superficie de 687 km², su elevación oscila entre 600 a 800 metros sobre el nivel del mar, presenta

Una vegetación compuesta por bosques medianos o altos subperennifolios o altos de zonas frescas o húmedas.

Su precipitación media anual se encuentra entre 1400 a 1600 milímetros, con temperatura media anual de 23.0 a 24.0 °C. Presenta suelos profundos bien drenados, casi planos. Desarrollados a partir de sedimentos aluviales. Su clasificación taxonómica es Typic Hapludolls (MARENA 2000 c).

La comarca de Susucayán está ubicada en el municipio del Jícaro, del departamento de Nueva Segovia. El municipio del jícaro cuenta con una extensión territorial de 458 km², su elevación sobre el nivel del mar es de 580 msnm. El clima del municipio es de sabana tropical con temperaturas que oscilan entre los 23 y 24 °C, con una precipitación pluvial que varía desde los 1,200 a los 1,400 mm anuales. Ocupa el tercer lugar entre los doce municipios que conforman el departamento, cuenta con una densidad poblacional de 60 hab/km² sus habitantes en su mayoría están dedicados a la agricultura, primordialmente en los cultivos (INIFOM, 2000).

3.4 Caracterización de los sistemas vegetales

Descripción de los sistemas de pino, café ecoforestal, plantaciones energética y bosque seco con manejo de regeneración natural.

3.4.1 Sistema de plantación de pino

Las plantaciones de pino, se ubicaron en la comarca de aguas calientes, municipio de Jalapa, departamento de Nueva Segovia, esta se encuentran a una altitud de 600 – 800 msnm, pendientes entre 12 - 47 %, suelo de poca profundidad, textura franco arenosa y gran presencia de piedras.

La plantación de pino, está compuesta por árboles de la especie de *Pinus oocarpa* Schiede, con una edad de seis años de establecida con altura promedio de 14.41 m y 13.29 cm de diámetro. En este sistema el productor aplicó tratamientos silviculturales que consistieron en limpia y rondas corta fuego para evitar el ataque de plagas o algún tipo de insecto, asimismo, de incendios que dañen la plantación.

3.4.2 Sistema de plantación de café ecoforestal

Las plantaciones de café ecoforestal, se encuentran ubicadas en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega este se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 1,000 a 1,300 m.

Esta plantación según el POSAF II (2005) se define como: Un sistema integral, para el manejo de finca que incorpora el componente leñoso en sistemas tradicionales de cultivo, así como prácticas conservacionistas de suelos y agua.

Estas plantaciones están compuestas por especies de cafeto, frutales, cítrico, maderable entre otros. Entre las especies predominante, se encuentran: *Inga punctata*, *Gyrocarpus americanus*, *Pheria compacta*, *Cassia grandis*, *Nectandra reticulata*, *Psidium guajaba*, *Vismia mexicana*, *Juglans olanchanum*, *Citrus sinensis*, *Croton niveus*, *Cedrela odorata*, *Inga vera*, *Cordia alliodora*, *Musa sapientum*, estas sirven de insumos propios de la finca, obteniendo el productor ingresos de los diferentes componentes del sistema, en el menor tiempo posible.

Un cafetal ecoforestal, se compone de un arreglo de cinco pisos, distribuidos y trabajados de la siguiente manera:

Primer piso: Es el nivel superior; aquí se encuentran los diferentes tipos de árboles maderables y es de donde se obtendrá madera para la venta, en un tiempo que varía entre 8 a 20 años, dependiendo de las especies de árboles y zonas.

Segundo piso: Aquí están los árboles energéticos o de sombra, como el *Gliricidia sepium*, las *Inga vera* que brindan frutas y leña para la casa y la venta durante todo el año. Por lo general, estas plantas llegan a medir hasta 12 metros de altura y mantiene su follaje durante todo el año.

Tercer piso: Aquí están los frutales como la naranja, limón, anonas, aguacates y musáceas, principalmente bananos y plátanos cuyos frutos pueden utilizarse para comer y vender durante la época de cosecha.

Cuarto piso: Aquí el componente principal es la especie y variedad de cafeto, de aplicación de bajo insumo, producción de buena calidad y adaptadas a los climas de las diferentes zonas cafetaleras.

Quinto piso: Es el nivel más bajo y está compuesto por el suelo, la cual contemplan prácticas de conservación de suelo y agua.

3.4.3 Sistema de plantaciones con fines energético

Las plantaciones con fines energéticos se encuentran ubicadas en el municipio de El Jícaro, departamento de Nueva Segovia, el sitio de referencia se encuentra entre los 580 a 800 metros sobre el nivel del mar. Se seleccionaron cinco fincas con plantaciones energéticas de seis años de establecidas. Los suelos son de textura arcillosa de color negro.

Estas plantaciones están integradas por dos especies energéticas como: *Acacia ssp.* y *Eucalyptus camaldulensis*, estas especies se encontraban combinadas con:

Cedrela odorata, *Mangifera indica*, *Guazuma ulmifolia*, *Byrsonima crassifolia*, *Tabebuia chrysanta*, *Cordia alliodora*, *Inga vera*, *Verbena littoralis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Platymiscium pleiostachyum* y *Schizolobium parahybum*.

Las plantaciones con fines energéticos fueron sometidas a tratamientos silviculturales como; poda de árboles, control de maleza, limpia para evitar incendios que dañen la flora y la fauna, al mismo tiempo evitar que los insectos afecten la plantación provocando daños en la madera ya que esta no solo servirá al productor para la venta de leña y carbón, sino que podrá comercializar la madera.

3.4.4 Sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural

El bosque seco con manejo de regeneración natural, se ubicaron en el municipio de Diriamba, departamento de Carazo, la cual se encuentra a una elevación de 1,200 a 1,400 msnm, con pendientes que van de 20 a 50 %, especies de árboles con diámetros que oscilan de 13.39 – 16.76 cm, suelo de textura arcillosa con presencia de piedras.

El bosque seco con manejo de regeneración natural ha sido recolonizado por plantas a través de sucesión secundaria, los árboles que se encontraban en este bosque muchos de ellos, se encontraban en malas condiciones por lo cual, los productores beneficiados por el POSAF y apoyados por COOPPAAD le practicaron tratamientos silviculturales como: raleos, eliminación de bejucos, corta de saneamiento entre otros, con el objetivo de mejorar las condiciones de necesidades de luz, espacio, agua, nutrientes entre otros.

3. 5 La intensidad de muestreo

En cada una de las fincas se establecieron parcelas temporales, de forma circular y rectangular, con diferentes intensidades de muestreo ya que las fincas

presentaron áreas diferentes. La intensidad (I) de muestreo se realizó en base al producto del número de parcelas (n) establecidas y el área de la parcela (a) en hectáreas, luego este producto se dividió entre el área de la finca (A) en hectárea, luego esta proporción se transformó a porcentaje al multiplicarse por 100. A continuación se presenta la ecuación de estimación de intensidad de muestreo:

$$(Ec. 1) I = n * a / A * 100$$

En el municipio de Jalapa, se trabajó en una plantación de 6.45 ha donde se establecieron dos parcela por finca para un total de diez parcelas, para una intensidad promedio de muestreo de 19.69 % (Cuadro 1 a).

Cuadro 1a. Área de plantación, número de parcelas e intensidad de muestreo para el sistema de pino en el municipio de Jalapa

Productor	Plantación (ha)	No Parcelas	Intensidad de muestreo (%)
Adrián Hernández	2.18	2	9.17
Francisco Espinales	1.74	2	11.49
Indelfonso Sarate	0.75	2	26.66
Fidel González	0.58	2	34.48
Lenin González	1.2	2	16.66
Promedio	1.29	2	19.69

En el municipio de jinotega, se trabajó en un área de 6.47 ha, en el sistema de café ecoforestal, con una edad de seis años de haberse introducido mejora al sistema, se estableció una parcela por finca, para un total de seis parcelas, con una intensidad promedio de muestreo de 10.24 % (cuadro 1 b).

Cuadro 1 b. Área de plantación de los árboles de sombra, número de parcelas e intensidad de muestreo en el sistema de café ecoforestal en el municipio de Jinotega

Productor	Plantación (ha)	No parcelas	Intensidad de muestreo (%)
Valerio González	1.4	1	7.14
José Alcides	0.87	1	11.49
Alejandro Espinales	1.4	1	7.14
José González	0.7	1	14.28
Pablo Esteban	0.7	1	14.28
Baldobino Rocha	1.4	1	7.14
Promedio	1.07	1	10.24

Nota: se establecieron parcelas de 1,000 m² para los árboles de sombra.

Cuadro 1 c. Área de plantación del cafeto, número de parcelas e intensidad de muestreo del sistema de café ecoforestal en el municipio de Jinotega

Productor	Plantación (ha)	No Parcelas	Intensidad de muestreo (%)
Valerio González	1.4	1	0.71
José Alcides	0.87	1	1.14
Alejandro Espinales	1.4	1	0.71
José González	0.7	1	1.42
Pablo Esteban	0.7	1	1.42
Baldobino Rocha	1.4	1	0.71
Promedio	1.07	1	1.02

Nota: se establecieron parcelas de 100 m² para el componente café.

En el municipio de El Jícaro, se trabajó en plantaciones con fines energéticos de 2.19 ha., seis años de edad, se estableció una parcela por finca para un total de cinco parcelas, con una intensidad promedio de muestreo de 100 % (cuadro 1 d).

Cuadro 1d. Área de plantación, número de parcelas e intensidad de muestreo para el sistema de plantaciones con fines energético en el municipio de El Jícaro

Productor	Plantación (ha)	No Parcelas	Intensidad de muestreo (%)
Jacinta Melgara	0.22	1	100
Julio Martínez	0.26	1	100
Oscar Acevedo	0.72	1	100
Simeón Olivas	0.30	1	100
Teófilo Ramos	0.69	1	100
Promedio	0.44	1	100

En el municipio de Diriamba, se trabajó en sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural de 72 ha donde la Cooperativa de Proyecto Agropecuario Industrial de Diriamba realizó el inventario a inicio del año 2005, del cual se aprovechó la información existente de volumen de la madera por hectárea para la estimación del carbono fijado. En este inventario se establecieron 22 parcelas, para una intensidad de muestreo de 2.15 % (cuadro 1 e).

Cuadro 1e. Área manejada, número de parcelas e intensidad de muestreo para el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural en el municipio de Diriamba

Productor	Área manejada (ha)	No Parcelas	Intensidad de muestreo (%)
Primitiva Chávez	10	4	2.4
Reyneiro Silva	10	4	2.4
Marcos Mendieta	10	4	2.4
Hermanos Martínez	42	10	1.4
Promedio	18	5.5	2.1 5

3.6 Tamaño y forma de la parcela

El tamaño de la parcela se diseñó de acuerdo a la densidad de la vegetación arbórea existente en el sitio, mientras que la forma estuvo en dependencia del sistema.

Para las plantaciones de café ecoforestal, plantaciones con fines energéticos y bosque seco con manejo de regeneración natural, se ubicaron en el terreno parcelas de forma rectangulares con dimensión de 20 m * 50 m (1,000 m²).

La plantación de pino fue una excepción comparado con los demás sistemas ya que para llevar a cabo el estudio, se establecieron parcelas de forma circular de 1,000 m² con un radio de 17.84 m, donde, se realizaron las mediciones de las altura y diámetros de los árboles, dentro de cada parcela se ubicó una subparcela de 1 m², para toma de muestra de la hojarasca o hierba y suelo.

Para el caso del sistema de cafeto se ubicó una subparcela de 100 m^2 para toma de medición del número y altura del cafeto (fig.2 y fig. 3).

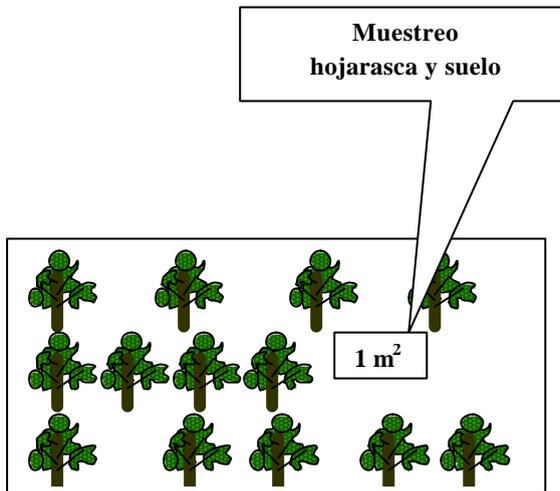


Figura 2. Parcela rectangular $20 * 50 \text{ m}$
 $1,000 \text{ m}^2$

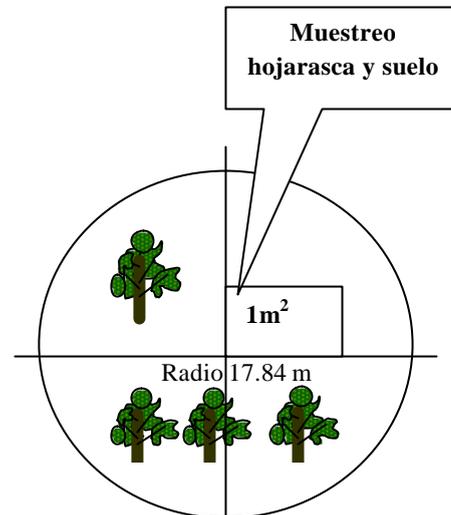


Figura 3. Parcela circular $1,000 \text{ m}^2$
(radio 17.84 m)

3.7 Mediciones

Para la estimación del carbono en los sistemas estudiados, se tomaron datos de campo como: altura total (m), diámetro normal (cm), peso húmedo de hojarasca (gr), densidad del suelo (g/cm^3).

Para la estimación de la biomasa seca aérea se utilizaron ecuaciones generales y específicas (tablas de biomasa por especie y uso de tabla de rendimiento estándar) para cada uno de los individuos (árboles), que se encontraban dentro de la parcela a las que se les introdujeron las variables altura total, diámetro normal (1.3 m) (figura 4 a, 4 b y 5), diámetro del componente café (15 cm del suelo).

Cabe mencionar que el diámetro basal del componente café en el sistema ecoforestal, es específico para la especie ya que este se toma a 15 cm del suelo a diferencia de mediciones realizadas para las especies arbóreas.

A excepción de los demás sistemas, el sistema de bosque con manejo de regeneración natural, se utilizó una base de datos de un inventario realizado en el año 2005.



Fig. 4a. Medición de diámetro de árbol bifurcado



Fig. 4b. Toma de diámetro en terreno inclinado

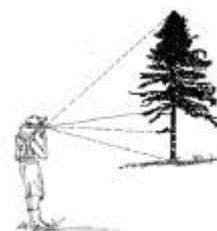


Fig 5. Medición de altura de un árbol en el campo

3.8 Descripción de las mediciones en las diferentes fuentes de almacenamiento de carbono

3.8.1 Medición de biomasa

La biomasa arriba del suelo en los sistemas se dividió en dos:

- 1) Biomasa leñosa
- 2) Biomasa de estrato herbáceo

3.8.1.1 Biomasa de los componentes leñosos

Para la estimación de la biomasa aérea, se utilizaron modelos generales, específicos y tabla de rendimiento estándar tales como: (tablas de biomasa por especie y uso de tabla de rendimiento estándar) para los diferentes sistemas estudiados. A todas las especies encontradas dentro de las parcelas, se registraron la variable del diámetro normal, diámetro basal y altura total. Para el caso del factor de expansión y densidad de la madera, se utilizó información sugerida de la literatura.

3.8.1.2 Biomasa herbácea

La biomasa herbácea se cuantificó mediante un marco de muestreo de un metro cuadrado (1 m²). Se ubicó el marco en los sitios de muestreo, se recolectó todo el material herbáceo dentro del marco metálico y se procedió a pesar, se tomó una submuestra de 500 gramos, esta se llevó al laboratorio para determinar el contenido de humedad para su posterior cálculo de materia seca.

3.8.1.3 Medición de hojarasca

Se recolectaron todas las ramas, hojas, ramillas que se encontraban dentro de la subparcela de 1 m², luego se procedió a pesar toda la hojarasca recolectada en una bolsa de papel para la obtención del peso húmedo total de la muestra, y se procedió a tomar una submuestra de 500 gramos que fue correctamente identificada para ser llevada al laboratorio para su respectivo secado y determinación del peso de la biomasa seca. Para el cálculo del contenido de humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$(\text{Ec. 2}) \text{ CH} = (\text{Phs} - \text{Pss})/\text{Phs}$$

Donde:

CH= contenido de humedad (%)

Phs = peso húmedo submuestra (g)

Pss = peso seco submuestra (g)

Con el contenido de humedad se calculó la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa:

$$(\text{Ec. 3}) \text{ Y} = \text{PHt} - (\text{PHt} * \text{CH})$$

Donde:

Y= Biomasa (g)

PHt= Peso húmedo total (g)

CH= contenido de humedad (%)

3.8.2 Muestreo del suelo

Para la determinación del carbono en el suelo, se tomó en cada parcela una alícuota de suelo con ayuda de un barreno a una profundidad de 0 - 30 cm, así mismo, se tomó muestra para determinar la densidad aparente a través del método del cilindro de volumen conocido descrito por Mac Diken (1997). Ambas muestras fueron trasladadas al laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria.

A continuación se presenta la metodología para la determinación de la densidad aparente de volumen conocido:

1. Se utilizó un cilindro de volumen conocido (100 cm^3).
2. Se preparó la superficie del suelo a una profundidad de 30 cm.
3. Se introdujo el cilindro en el suelo sin ser comprimido.
4. Las muestras fueron colocadas en una bolsa de plástico, luego fueron etiquetadas y pesadas (P1), y a continuación se llevaron al laboratorio donde fueron secadas al horno a 105°C (hasta peso constante).
5. Después de ser secadas, se pesaron nuevamente (P2).
6. Se cálculo la densidad aparente mediante la siguiente ecuación:

$$\text{(Ec. 4) } DA = \text{Peso seco} / \text{Volumen del cilindro}$$

Donde:

DA = Densidad aparente (g/cm³)

Peso seco (gramo)

Volumen del cilindro (cm³)

3.9 Metodología detallada para la cuantificación de carbono en las diferentes fuentes de fijación y almacenamiento de carbono

3.9.1 Carbono en la biomasa aérea (Cba)

El cálculo de carbono en biomasa aérea, se estimó al multiplicar la biomasa seca aérea de cada uno de los árboles por un factor de 0.5 (fracción de carbono), sugerido por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), cuando no se tienen datos directos del laboratorio.

3.9.1.1 Sistema de plantación de pino

Dado a que no se dispone de un método específico propio del país para la estimación de biomasa seca de pinos que permita una mayor precisión, rapidez, facilidad de cálculo y de menor costo, se procedió a utilizar un modelo de ecuación específica para conífera, desarrollada en Guatemala por Brown 1996, con un coeficiente de determinación de 0,98 (cuadro 2). Esta ecuación consiste en la introducción de la variable diámetro normal para cada árbol encontrado en la parcela, asimismo, se calculó el total de biomasa seca por parcela de 1,000 m², luego se multiplicó por 10 para obtener biomasa seca por hectáreas.

Cuadro 2. Ecuación alométrica según Brown, (1996) utilizada en el cálculo de biomasa aérea en conífera

Componente	Ecuación (Ec.5)	Fuente	R ²
Conífera	$Y = \exp.[-1.170 + 2.119 * \ln(D)]$	Brown (1996)	0.98

Clave: R², coeficiente de determinación, ln (D), logaritmo natural del diámetro.

Donde:

Y = kilogramos de biomasa (kg)

D = diámetro normal

exp = significa “e” elevado a la potencia.

Para la estimación de carbono en la biomasa seca aérea, se procedió a multiplicar la biomasa seca por hectáreas por un factor de 0.5, sugerido por la IPCC cuando no se dispone de datos carbono de laboratorio.

$$(Ec.6) \quad Cbs = Bs * f$$

Donde:

Cbs = Carbono de biomasa seca

Bs = biomasa seca

F = factor sugerido por IPCC de 0.5

3.9.1.2 Sistema de plantación de café ecoforestal

El sistema de café ecoforestal está compuesto por árboles de sombras como: especies maderables, frutales, musáceas y cafeto de las cuales se utilizaron modelos generales y específicos bajo los criterios de selección mencionados en sistema de pino.

Árboles de madera y frutales. Para estas especies de sombra de cafeto se utilizó la ecuación general, recomendada por Brown *et al.* (1989), coeficiente de determinación 0.97. La estimación de biomasa aérea, consistió en la introducción en la ecuación, la variable de diámetro de cada individuo encontrado en la parcela. Esta ecuación es sugerida para sistema agroforestales, cuando no se tiene una alternativa de ecuación, según la fundación Winrock Internacional (1998).

Musáceas. Para este componente, se utilizó una ecuación específica desarrollada por Márquez (1997), con un coeficiente de determinación de R^2 0.99. Para la estimación de biomasa aérea, se introdujo la variable altura de cada individuo encontrado en la parcela.

Cafeto. Se utilizó ecuación específica desarrollada en Matagalpa, Nicaragua por Suárez (2004) con coeficiente de determinación de $R^2 = 0.89$. Para estimación de biomasa aérea, se introdujo a la ecuación las variables altura total y diámetro basal (15 cm del suelo) de todos los individuos encontrado en la parcela. Esta ecuación fue diseñada para un rango de diámetro de 0.3 -7.5 cm y altura total de 0.31-3.4 m (cuadro 3).

Cuadro 3. Ecuación alométrica según Brown, (1996) utilizada en el cálculo de biomasa aérea en café ecoforestal

Componente	Ecuación	Fuente	R^2
Árbol	$Y = \{-2.134 + 2.530 * \ln(D)\}$ (Ec. 7)	Brown <i>et al.</i> , (1989)	0.97
Café	$\ln = \{-2.39287 + 0.95285 * \ln(D) + 1.2693 * \ln(H)\}$ (Ec.8)	Suárez (2004)	0.89
Musácea	$Y = a + b * (\ln H / H^2)$ (Ec. 9)	Márquez (1997)	0.99

Clave: R^2 , coeficiente de determinación, $\ln(D)$, logaritmo natural del diámetro, $\ln(H)$, logaritmo natural de la altura, H^2 , altura elevado al exponente dos.

Árboles

Donde:

Y = biomasa en kilogramo (kg)

\ln = logaritmo natural

D = diámetro normal

-2.134 (constante)

2.530 (constante)

Café

Donde:

-2.39287 (constante)

0.95285 (constante)

1.2693(constante)

H= altura (m)

D = diámetro normal

Musacea

Donde:

Y = biomasa en gramos

A = 185.1209 (constante)

B = 881.9471 (constante)

H = altura (m)

En esta fuente el carbono se calculó en base al total de biomasa seca (tonelada) encontrada en parcela de 1,000 m² de árboles de madera y frutales, esta se multiplicó por 10 para obtener biomasa seca por hectárea, luego se multiplicó por 0.5 para obtener tonelada de carbono por hectárea.

Para las especies de musáceas y cafeto se calculó en base al total de biomasa seca encontrada en parcela de 100 m², esta, se multiplicó por 100 para obtener biomasa seca por hectárea, luego, se multiplicó por 0.5 para obtener tonelada de carbono por hectárea (ecuación 6).

3.9.1.3 Sistema de plantaciones con fines energético

El cálculo de la biomasa aérea en el sistema energético, se realizó a través de una ecuación general desarrollada por Brown *et al.*, (1989), con un coeficiente de determinación de 0.97. La ecuación seleccionada fue diseñada al tipo de clima, basado en precipitación pluvial de clima húmedo con rango de precipitación de 1,500 – 4,000 mm año⁻¹. Este sistema, se encuentra localizado en el departamento de Nueva Segovia, que la caracteriza con una precipitación que oscila 1,400 – 1,600 mm año⁻¹.

Para la estimación de biomasa aérea, se introdujo en la ecuación las variables del diámetro normal y altura de cada individuo encontrado en la parcela (cuadro 4).

Cuadro 4. Ecuación alométrica según Brown, (1996) utilizada en el cálculo de biomasa aérea en las plantaciones con fines energético

Componente	Ecuación (Ec. 10)	Fuente	R ²
Árbol	$Y = \exp [-3.1141 + 0.9791 \ln(D^2H)]$	Brown <i>et al.</i> , (1989)	0.97

Clave: $\ln(D^2H)$, logaritmo natural del diámetro elevado al exponente dos multiplicado por la altura.

Donde:

Y = biomasa

A = - 3.1141 (constante)

B = 0.9791 (constante)

D = diámetro normal (cm)

H = altura (m)

La estimación de carbono en las especies energéticas, se calculó en base al total de biomasa seca encontrada en parcela de 1,000 m², esta, se multiplicó por 10 para obtener biomasa seca por hectárea (t), luego, se multiplicó por 0.5 (fracción de carbono) para obtener tonelada de carbono por hectárea (ecuación 6).

3.9.1.4 Sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural

La estimación de la biomasa seca en este sistema, se aprovechó la base de datos de inventario realizado al inicio del año 2005, por COOPPAAD. Esta estimación, se realizó a través de la tabla de rendimiento estándar, aplicada para cada uno de los árboles, donde se integran las variables del volumen del fuste (Vf) de cada uno de los árboles, densidad de la madera (GE) y factor de expansión de biomasa (FE).

Como no se disponía de información de campo de la densidad de la madera, se utilizó un factor de 0.5, sugerido por el IPCC, asimismo, para el caso de la fracción de carbono de 0.5. El valor de 0.5 para obtener carbono o fracción de carbono se debe a que la literatura indica que en promedio la materia vegetal contiene 50 % de carbono una vez que se ha removido el agua (Mac Diken, 1997).

Para la estimación del factor de expansión de biomasa se utilizó un factor promedio 1.6.

Para cuantificar la biomasa aérea en este sistema se utilizó la ecuación:

$$\text{(Ec. 11) } BA = VF * GE * FE$$

Donde:

BA= biomasa aérea (tonelada)

VF= volumen del fuste limpio (m^3)

GE= densidad de la madera (t / m^3)

FE = factor expansión

Para obtener la biomasa aérea en tonelada de carbono por hectárea se utilizó la ecuación seis, aplicada a los sistemas anteriores.

3.10 Carbono en la biomasa sobre el suelo

3.10.1 Carbono en la biomasa herbácea (C_{bh})

Para estimar la biomasa herbácea se siguieron los siguientes pasos metodológicos.

Primer paso: para el cálculo de la biomasa en esta fuente se obtiene el valor para el contenido de humedad. Este valor se cálculo con la siguiente ecuación:

$$(Ec. 12) Y= PHt - (PHt *CH)$$

Donde:

Y= biomasa seca(g)

PHt= peso húmedo total (g)

CH = contenido de humedad (%)

Segundo paso: después de estimar el valor de contenido de humedad se procede a calcular la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa:

$$(Ec. 13) Y = PHt - [(PHt * CH)]$$

Donde:

Y = biomasa en gramo

PHt = peso húmedo total (g)

Ch = contenido de humedad

Tercer paso: Los valores obtenidos se dividen entre 1, 000,000 para obtener toneladas. Este valor se multiplica por 0.5 lo que da toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono se dividen dentro del total de metros muestreados. Esta operación da toneladas de carbono sobre metros cuadrados (tC/m²) y al multiplicarlo por 10,000 se obtiene tonelada de carbono por hectárea (tC/ha).

3.10.2 Carbono en la hojarasca

Se aplica el mismo procedimiento que para el carbono fijado en la biomasa herbácea.

3.10.3 Carbono orgánico en el suelo

Una vez obtenido la densidad aparente y el porcentaje de carbono, los cuales son obtenidos en el laboratorio se procede a utilizar la siguiente ecuación para la obtención de toneladas de carbono por hectárea.

$$(Ec.14) \quad CS \text{ (tC/ha)} = CC * DA * P$$

Donde:

CS = Carbono en el suelo (tCha⁻¹)

CC = contenido de carbono (%)

DA = densidad aparente (g / cm³)

P = profundidad de muestreo (0-30 cm, igual para cada uno de los sistemas)

3.10.3.1 Metodología de análisis de carbono en la materia orgánica (% carbono)

La metodología de análisis de carbono en el suelo, según Walkley – Black, citado por Medina (2004) la que consiste en el siguiente procedimiento:

- Principio del método

Entre los elementos principales que constituyen la materia orgánica del suelo el carbono es el que puede cuantificar en forma rápida. Por lo tanto, la estimación de la materia orgánica, se ha basado en la determinación del carbono.

En general la determinación de este elemento se fundamenta en procedimientos cuantitativos que implica la conservación de la forma orgánica.

Esta transformación se puede incluir por procedimiento de combustión o por métodos de oxidación – reducción que involucra el tratamiento de la muestra con un agente oxidante fuerte. Los oxidantes más comúnmente utilizados son compuestos inorgánicos que contienen el anion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$, cuyo exceso no (reducido) es cuantificado por titulación. El contenido de carbono orgánico en el suelo se puede expresar directamente en valor porcentual o ser estimado en forma de materia orgánica.

A) Reactivos

- Solución de dicromato de potasio (*IN*)
- Acido sulfúrico concentrado
- Solución de sulfato ferroso
- Indicador de difenilamina
- Agua destilada

B) Procedimiento (digestión del carbono)

1. Pesar 0.5 gramos de suelo de 0.5 mm
2. Agregar 10 ml de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en un erlemeyer de 500 ml
3. Agregar cuidadosamente 20 ml de H_2SO_4 concentrado
4. Dejar reposando por un tiempo de 30 minutos
5. Agregar 250 ml de agua destilada al erlemeyer

C) Valoración del exceso de dicromato

1. Agregar 18 gotas del indicador
2. Valorar la muestra con la solución FeSO_4 0.5 N
3. Usar un blanco y valorarlo primero que la muestra

D) Cálculos

% Carbono Orgánico = $(\text{meq } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meq } \text{FeSO}_4) (0.003) (100) / \text{peso de la muestra}$

Donde:

miliequivalente (meq) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \text{Volumen } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times \text{N}$

$\text{meq } \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2 = \text{Volumen } \text{Fe}_2\text{SO}_4 \times \text{N}$

0.003 = peso meq del carbono

100 = para expresar en base a 100

Para convertir a % Materia Orgánica (MO) = % c. orgánico $\times 1.7240$

3.10.4 Carbono en la biomasa de raíces (Cbr)

La estimación del carbono en la fuente de la raíz, fue la de calcular su biomasa a través del producto del 15 % de la biomasa aérea, luego multiplicarla por la fracción de carbono (0.5).

$$\text{(Ec. 15) } \text{Cbr} = \text{CBA} \times 0.15 \text{ (15 \% de la biomasa aérea)}$$

Donde:

Cbr = Carbono en la biomasa raíces (tCha^{-1})

CBA = Carbono biomasa aérea (tCha^{-1})

3.10.5 Procedimiento para la obtención de resultados

La información obtenida de campo, se procedió a aplicar los modelos generales, específicos y tabla de rendimiento estándar de especies vegetales encontradas en los diferentes sistemas de estudio, luego se procedió a integrar las variables de diámetro, altura total y factores de cálculo de la densidad de la madera, fracción de carbono, factor de expansión entre otros. Estos últimos tres sugerido por la literatura cuando no se dispone de información directa de campo.

Se elaboró una base de datos en el programa Excel, en la cual, se introdujeron las variables de entrada, para el cálculo de la biomasa seca por árbol, encontrado en la parcela, luego, se realizó la sumatoria de la biomasa seca por parcela, luego, se estimó el contenido de carbono en tonelada por hectáreas.

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. Cuantificación de carbono fijado en los diferentes sistemas

4.1.1 Sistema de plantación de pino

De las cinco fincas estudiadas con relación a la biomasa aérea, se encontró un rango de fijación de carbono de 16.78 tC/ha a 32.72 tC/ha, encontrándose el mayor valor en la finca del señor Adrián Hernández, este resultado, se explica debido a que sus plantaciones de pino tienen el mayor promedio diámetro (16 cm) y de seis años de establecido (cuadro 5 y 6).

El promedio de carbono en la biomasa aérea de pino fue de 25.50 tC/ha. A como es de esperarse el contenido de carbono en la raíz, tiene correspondencia con el diámetro, altura y densidad de la plantación, por lo tanto encontramos en la misma finca, el mayor valor de 4.9 tC/ha, el rango osciló de 2.52 tC/ha a 4.9 tC/ha con un promedio de 3.82 tC/ha. Este valor fue obtenido en base a un porcentaje de la biomasa aérea (15 %). En la fuente de hojarasca se encontró un valor máximo de 8.7 tC/ha, con un rango de 1.17 tC/ha a 8.7 tC/ha, promedio de 3.71 tC/ha (cuadro 5).

La fuente de suelo, se observó un rango de almacenamiento de carbono de 147.26 a 223.04 tC/ha, con un promedio de 178.79 tC/ha, obteniéndose el mayor valor en la finca del señor Fidel González de 223.04 tC/ha (cuadro 5).

En general la mayor fuente de almacenamiento de carbono fue el suelo con un valor promedio de 178.79 tC/ha, siguiéndole en orden la biomasa aérea 25.50 tC/ha, luego la hojarasca 3.71 tC/ha y por último en menor cantidad la raíz con 3.82 tC/ha.

Por otro lado el promedio de carbono reportado por el sistema en general fue de 211.82 tC/ha, con rangos que oscilan de 178.42 tC/ha a 260.29 tC/ha (cuadro 5).

Cuadro 5. Promedios de carbono fijado por los componentes del sistema de pino, municipio de Jalapa, Nueva Segovia, 2006

Productor	Biomasa aérea (tC/ha)	Raíz (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Suelo (tC/ha)	tC/ha
Adrián	32.72	4.9	5.9	147.26	190.48
Francisco	32.3	4.83	8.7	214.13	260.29
Indelfonso	16.78	2.52	1.17	157.95	178.42
Fidel	22.38	3.35	1.31	223.04	250.08
Lenin	23.30	3.50	1.48	151.59	179.87
Promedio	25.50	3.82	3.71	178.79	211.82
Rango	16.78 - 32.72	2.52 - 4.9	1.17 - 8.7	147.26 - 223.04	166.58- 260.29

Estos datos se encuentran por encima a lo reportado en Guatemala por la Fundación Solar (2000), la cual reporta valores de 105 a 125 tC/ha en bosque de coníferas, asimismo Gómez *et al.*, (2000), en estudio realizado en Nicaragua en plantaciones de *Pinus oocarpa*, 11 años de edad, densidad de 337 árboles/ha, encontraron valores menores a este estudio de 31.84 tC/ha a 52.78 tC/ha, cuyos diámetro oscila de 8 a 15 cm. Este resultado se explica, dado a que este estudio supera el valor promedio de densidad de 598 árboles/ha, con rango que oscilan de 483 a 765 árboles/ha (cuadro 6).

Cuadro 6. Diámetro, altura y densidad promedio de árboles en el sistema de plantación de Pino

Productor	Tamaño parcela (m ²)	Diámetro promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Densidad (árboles/ha)
Adrián Hernández	1,000	16	14.54	550
Francisco Espinales	1,000	15.09	14.71	630
Indelfonso Sarate	1,000	7.31	--	765
Fidel González	1,000	14.42	13.97	483
Lenin González	1,000	13.63	--	560
Promedio	1,000	13.29	14.41	598
Rango	1,000	7.31 - 16	13.97 - 14.71	483 - 765

La cantidad de carbono fijado y almacenado en el sistema, puede estar atribuido a la edad de la especie, densidad, altura sobre el nivel de mar, condiciones ecológicas entre otros. Estos resultados pueden ser atribuidos a la relación existente entre la altura y los diámetros de los árboles tal como lo indican Gómez *et al.*, (2000); en su estudio realizado en los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia, que los árboles que presentan mayor altura y diámetro van a fijar mayor cantidad de carbono en su biomasa aérea, comparados con los de menor altura y diámetro.

4.1.2 Sistema de plantación de café ecoforestal

Al comparar las cinco fincas estudiadas con respecto a la fuente biomasa aérea, se obtuvo un valor promedio de 16.98 tC/ha, esta fuente está conformada por los componentes árbol, musa y café. Al hacer comparación de la biomasa aérea de las diferentes especies que componen el sistema, los árboles de sombra obtuvieron el valor más alto con 15.82 tC/ha, este valor es atribuido a la altura y diámetro promedio de 7.9 m y 11.54 cm respectivamente (cuadro 7 y 8), aunque la musácea presenta mayor número de plantas por área, pero presenta el menor valor de contenido de carbono 0.020 tC/ha, esto se debe a que su tallo es hueco y con gran contenido de agua, asimismo, el cafeto por su altura y diámetro no supera al contenido de carbono obtenido en los árboles (cuadro 8).

Cuadro 7. Diámetros, alturas y densidad promedio de árboles reportadas por el sistema de café ecoforestal

Componentes	Tamaño parcela (m ²)	Diámetro promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Densidad (Individuos/ha)
Musáceas	1,000	--	3.42	530
Café	1,000	2.63	2.08	450
Arbol	1,000	11.54	7.19	250
Promedio	1,000	4.72	4.23	410
Rango	1,000	2.63 -11.54	2.08 - 7.19	250 - 530

Los árboles con manejo de poda reportan una fijación de carbono de 6.02 tC/ha a 17.07 tC/ha, mientras que la finca de Don Baldobino que maneja los árboles (*Inga* sp) sin podar reportó 30.99 tC/ha, esto, se debió, al mayor desarrollo de diámetro, altura y expansión de copa. La fuente raíz dio un valor promedio de 2.38 tC/ha, esta fuente, está correlacionada con la biomasa aérea, esto se refiere a que la biomasa de las raíces, se obtiene del 15 % de la biomasa aérea. La fuente hojarasca, presentó un valor de 0.76 tC/ha, asimismo, de hierbas de 0.98 tC/ha. La presencia de hojarasca y herbáceas en el piso del ecosistema se debe a la época de recolección (verano), espaciamiento o el arreglo del sistema (cuadro 8).

La fuente suelo fue el que obtuvo el máximo valor promedio con 142.78 tC/ha, cantidad que se encuentra dentro de los rangos reportados por Dixon (1995), el cual indica que en los sistemas agroforestales la cantidad de carbono en el suelo va de 12 a 228 tC/ha (cuadro 8). Estudio realizado por Winrock (1998), estimó un promedio de 48 tC/ha a 30 cm de profundidad en la región de San Juan, La Laguna, Guatemala. Según estos resultados los valores reportados por el sistema dentro del componente suelo podría ser atribuido a la profundidad a la cual fueron tomadas las muestras. De manera general el suelo fue el que almacenó mayor cantidad de carbono con un valor promedio de 125.9 tC/ha, seguido por la biomasa aérea 15.18 tC/ha, luego la raíz 2.41 tC/ha, hierbas con 0.98 tC/ha, y por último la hojarasca con 0.76 tC/ha (cuadro 8).

Cuadro 8. Carbono fijado y almacenado en las diferentes fuentes del sistema de plantación de café ecoforestal en el municipio de Jinotega

Productor	Arbol (tC/ha)	Musa (tC/ha)	Café (tC/ha)	Raíz (tC/ha)	Hierba (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Suelo (tC/ha)	tC/ha
Valerio G.	17.07	0.005	0.84	2.56	0.55	-	163.30	184.32
José Alcides	6.02	0.004	1.81	0.90	0.80	0.97	112.89	123.39
Alejandro E.	14.91	0.0019	1.15	2.23	1.19	1.19	217.14	235.65
José G.	16.45	0.0079	1.15	2.46	2.29	0.11	156.35	178.81
Pablo E	9.49	0.079	1.17	1.42	0.07	-	118.24	128.22
Baldobino R	30.99	-	0.69	4.76	--	-	88.80	125.2
Promedio	15.82	0.020	1.14	2.38	0.98	0.76	142.78	163.88

Nota: La biomasa aérea es la sumatoria obtenida del árbol, musa y cafeto (16.98 tC/ha)

Los resultados obtenidos de la fijación y almacenamiento carbono en el sistema café ecoforestal registra un valor promedio de 163.88 tC/ha. Con valores que oscilan de 123.39 a 184.32 tC/ha, estos valores que están por encima a lo reportado en estudios de fijación de carbono en sistemas agroforestales con café, árboles y musáceas, realizado en Guatemala (Alvarado *et al.*, 1999), donde se obtuvo para todo el sistema (árboles, café, suelo y hojarasca), un promedio de 91.64 tC/ha/año, no se reportó un dato para las musáceas.

Resultados encontrados por algunos autores citados por Suárez (2002), tales como Aplizar *et al.*, (1985), el cual, encontró 3.93 tC/ha/año en sistema de café asociado con Laurel (*Cordia alliodora*) y 7.6 tC/ha/año en café asociado con Poro (*Eritrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. Mientras que Ávila (2000) encontró 4.1 a 5 tC/ha/año en café asociado con *E. duglupa* a diferentes edades en Costa Rica. Por otro lado, Fournier (1996) reporta 8.4 tC/ha/año en un sistema de café asociado con Poro en el valle central de Costa Rica y Márquez (1997) encontró 3.77 tC/ha/año en Guatemala. En Guatemala un estudio realizado por Alvarado *et al.*, (1999) estimó la fijación de carbono por sistema agroforestal con café con árboles de sombra y musáceas, obteniendo para el sistema un promedio de 91.64 tC/ha/año (Medina 2004).

Según algunos autores, los factores que influyen en la tasa de fijación de carbono dependerán de la especie arbórea y densidad de la siembra (Segura 1999; Cubrero *et al.*, 1999), materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, climáticos y el manejo silvicultural.

4.1.3 Sistema de plantaciones con fines energético

Al hacer la comparación entre las cinco fincas estudiadas en este tipo de sistema, la biomasa aérea, se observó con mayor valor promedio, en la finca del señor Teófilo Ramos con 66.22 tC/ha, debido a que en esta finca se encontró el mayor número de árboles por área (1,840 árboles/ha), asimismo, estos árboles fueron los que presentaron el mayor diámetro promedio con 10.87 cm y la máxima altura promedio con 12.64 m (cuadros 9 y 10).

Cuadro 9. Diámetros, alturas promedio y cantidad de árboles reportados por el sistema de plantaciones con fines energético

Productor	Tamaño parcela (m ²)	Diámetro Promedio (cm)	Altura promedio (m)	Densidad (árboles/ha)
Jacinto M.	1,000	9.24	8.37	1,330
Julio M.	1,000	7.15	5.45	1,330
Oscar A.	1,000	7.34	6.17	730
Simeón O.	1,000	7.06	6.43	560
Teofilo R.	1,000	10.87	12.64	1,840
Promedio	1,000	15.87	7.81	1,158
Rango	1,000	7.15 – 10.87	5.45 - 12.64	560 – 1,840

La fuente raíz al igual que la biomasa aérea (árbol) reportó el mayor valor promedio de 9.93 tC/ha en la misma finca.

El mayor contenido de carbono en la hojarasca, se encontró en la finca del señor Julio Martínez con un valor promedio de 3.04 tC/ha., por otro lado la fuente herbácea obtuvo un valor de 0.74 tC/ha en la finca del señor Simeón Olivas.

El suelo obtuvo un valor promedio de 193.36 tC/ha en la finca del señor Julio Martínez.

El sistema de plantación con fines energético fija y almacena un valor promedio de 153.72 tC/ha, con un rango de 120.18 tC/ha a 205.9 tC/ha, la fuente de mayor almacenamiento lo registra el suelo con un promedio de 126.87 tC/ha, siguiéndole en orden la biomasa aérea de los árboles con un promedio de 21.79 tC/ha, luego la raíz con 3.27 tC/ha y por último la hojarasca y hierbas con 1.54 tC/ha y 0.74 tC/ha (cuadro 10).

Cuadro 10. Carbono fijado y almacenado en las fuentes del sistema de plantaciones con fines energético, Jícara, Nueva Segovia, 2006

Productor	Árbol (tC/ha)	Raíz (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Hierbas (tC/ha)	Suelo (tC/ha)	tC/ha
Jacinto M.	22.08	3.31	0.67	-	125.44	151.5
Oscar A.	7.86	1.18	1.25	-	142.56	152.85
Julio M.	8.3	1.24	3.04	-	193.36	205.9
Simeón O.	4.5	0.67	1.25	0.74	113.02	120.18
Teofilo R.	66.22	9.93	1.49	-	60.00	137.64
Promedio	21.79	3.27	1.54	0.74	126.87	153.72
Rango	4.5 - 66.22	0.67 - 9.93	0.67 - 3.04	0.74	60 - 193.36	120.18 - 205.9

Los valores de fijación y almacenamiento de carbono obtenido en está dentro del rango a lo reportado por Ordóñez (1991), 124 tC/ha a 131 tC/ha, en una plantación energética en bosque templado en la ciudad de México, San Juan Nuevo, Michoacán.

La densidad de la plantación es de 2,500 árboles/ha, altura de 3.6 m, no indica la edad de establecimiento de la plantación energética. El estudio de referencia indica que el valor de la biomasa aérea fue superada 38 tC/ha, no así, el carbono almacenado en el suelo 76 tC/ha a 84 tC/ha.

Por lo tanto, la mayor cantidad de carbono encontrado en este estudio se debe a que la fuente del suelo obtuvo mayor almacenamiento de carbono.

Los resultados obtenidos pueden estar influenciados por las condiciones climáticas, altitud, tipo de especies, densidad de la plantación entre otros.

4.1.4 Sistema bosque seco con manejo de regeneración natural

Para el cálculo de carbono en este sistema se utilizó un inventario forestal proporcionado por la Cooperativa de Proyectos Agropecuario Industrial de Diriamba (COOPPAAD).

En el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural, se encontraron especies arbórea con diámetro promedio de 15.60 cm, con rango de 13.39 a 16.76 cm. y una densidad de 367 a 1,133 árboles/ha (cuadro 11). Las especies predominantes en el sistema se encuentran enlistadas en el anexo 1.

Cuadro 11. Diámetros promedios y densidad arbórea para el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural

Productor	Tamaño Parcela (m²)	Diámetro promedio (cm)	Densidad (árboles/ ha)
Primitiva Chávez	600	14.3	583
Reyneiro Silva	600	15.34	600
Marcos Mendieta	600	13.39	367
Hermanos Martínez	600	16.76	1,133
Promedio	600	15.60	670
Rango	600	13.39 - 16.76	367 – 1,133

El sistema fija y almacena carbono en un valor promedio de 105.74 tC/ha, con rangos que oscilan de 93.70 a 120.97 tC/ha. La mayor fuente de almacenamiento fue el suelo (80.34 tC/ha), siguiendo la biomasa aérea (21.27 tC/ha), luego la raíz (3.17 tC/ha) y por último la hojarasca con (0.96 tC/ha) (cuadros 11 y 12).

Cuadro 12. Promedios obtenidos para el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural, Diriamba, Carazo, 2006

Productor	CBA (tC /ha)	Hojarasca (tC/ha)	Raíz (tC/ha)	Suelo (tC/ha)	tC/ha
Primitiva Chávez.	26.22	1.32	3.92	73.82	105.29
Reyneiro Silva.	27.69	0.88	4.15	88.25	120.97
Marcos Mendieta.	9.86	0.96	1.42	90.77	103.01
Hermanos Martínez	21.32	0.67	3.19	68.51	93.70
Promedio	21.27	0.96	3.17	80.34	105.74

Según Brown (1988), el bosque tropical seco tiene por término medio 27 tC/ha en América Latina. Aunque la cantidad reportada por el sistema es mayor a la estimada por Brown no se puede realizar una comparación debido a que es un dato generalizado para toda América Latina (Andrasko K., 1990). De los estudios realizados en este tipo de sistema sobre carbono se puede mencionar investigación realizada por Siu *et al.*, (2001), sobre la estimación y almacenamiento de carbono en el refugio de vida silvestre Chacocente, con la finalidad de estimar el contenido de carbono y almacenamiento en el bosque en diferentes niveles de edades; de cero, doce, veinte y cincuenta años. Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron estimación de carbono en el nivel cero año de 212.05 tC/ha, nivel doce 216.4 -297.4tC/ha, nivel de veinte 231.2 – 312.1 tC/ha y el nivel de cincuenta años 244.9- 306.4 tC/ha.

4.2 Análisis de los sistemas estudiados

Al hacer una comparación entre los cuatro sistemas estudiados, el pino fue el que obtuvo el mayor promedio en la biomasa aérea con 25.50 tC/ha, seguido por el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural con 21.27 tC/ha, plantación energética 21.79 tC/ha y por último el sistema de café ecoforestal con 16.98 tC/ha. El valor obtenido por el sistema pino, se puede atribuir a la relación que existe entre la altura y el diámetro de los árboles, de las cuales se observan diámetros que oscilan entre 7.31 a 16 cm y altura con rango de 13.97 – 14.71 m. Otro de los factores que favoreció, a este sistema en comparación con los demás fue que es una especie heliofita (cuadro 13).

En lo que respecta a la raíz al igual que para la biomasa aérea el sistema pino fue el que obtuvo mayor cantidad de carbono este fue de 3.82 tC/ha, siguiéndole en orden, plantación energética con 3.27 tC/ha, regeneración natural 3.17 tC/ha y por último el sistema de café ecoforestal con 2.38 tC/ha. El alto valor obtenido en la raíz del sistema pino se debe a la correlación que existe entre el componente biomasa aérea y la biomasa de las raíces. Al igual que en los demás componentes el sistema pino obtuvo un valor promedio superior, en la hojarasca este fue de 3.71 tC/ha, siguiéndole en orden, plantación energética con 1.54 tC/ha, bosque seco con manejo de regeneración natural con 0.96 tC/ha y por último el sistema de café ecoforestal con 0.76 tC/ha. Esto se debe a la densidad poblacional que presentó el sistema, debido a la ventaja que tiene por la forma de su copa esta permite que pueda existir mayor número de individuos, asimismo por la época de verano que fueron recolectadas las muestras (cuadro 13).

Solamente los sistemas ecoforestal y plantación con fines energético fueron los que presentaron el componente herbáceo, en donde el mayor valor promedio lo obtuvo el sistema ecoforestal con 0.98 tC/ha y el mínimo valor lo reportó el sistema plantación con fines energético con 0.74 tC/ha. Como se puede observar al igual que en la hojarasca la cantidad fijada es reducida debido a la época en que se realizó el muestreo.

También se debe de considerar que estas fuentes pasan a ser materia orgánica, favoreciendo al suelo de esta manera (cuadro 13)

Cuadro 13. Promedios de la tasa de fijación de carbono para los cuatro sistemas

Sistema	B. aérea (tC/ha)	Raíz (tC/ha)	Suelo (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Hierbas (tC/ha)	tC por sistema
Pino	25.50 (12.05 %)	3.82 (1.80 %)	178.79 (84.47%)	3.71 (1.75%)	-	211.65 (100 %)
Plantación energética	21.79 (14.18%)	3.27 (2.12%)	126.87 (85.60%)	1.54 (1.00%)	0.74 (0.48%)	153.6
Regeneración natural	22.27 (21.06%)	3.17 (3.00%)	80.34 (76.07%)	0.96 (0.90%)	-	105.74
Café ecoforestal	16.98 (10.36%)	2.38 (1.45%)	142.78 (87.12%)	0.76 (0.46%)	0.98 (0.60%)	163.88

Al estimar el incremento medio anual (IMA) para las plantaciones de pino y latifoliada energética con seis años de establecida la plantación, el sistema de pino obtuvo una tasa anual de fijación de 3.90 tC/ha/año y 3.63 tC/ha/año para el sistema de plantación con fines energético. En general en todos los sistemas estudiados se encontró que la mayor fuente de almacenamiento de carbono fue el suelo (sin línea de base), representando al sistema un rango de porcentaje de 76.07% - 87.12 %, siguiéndole la biomasa aérea 10.36% – 21.06 %, biomasa radicular con 1.45% – 3.00 %, y las fuentes de menor porcentaje de contenido carbono fueron la hojarasca con 0.46% – 1.75 % y la hierba con 0.48% – 0.60%.

Cuadro 14. Rangos reportados por los cuatro sistemas en sus diferentes medidas

Sistema	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Densidad (árboles /ha)
Pino	7.31 - 16	13.97 - 14.71	483 - 765
Ecoforestal	2,63 -11,54	2,08 - 7,19	250 - 530
Plantación energética	7.15 - 10.87	5.45 - 2.64	560 - 1,840
Regeneración natural	13.39 -16.76	--	220 - 680

V - CONCLUSIONES

- El sistema pino fija mayor cantidad de carbono en su biomasa aérea (23.44 tC/ha), siguiéndole el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural (22.26 tC/ha), luego la plantación energética con (21.79 tC/ha) y por último el sistema café ecoforestal (14.04 tC/ha).
- En el sistema de pino obtuvo el valor carbono más alto en la biomasa radicular de (3.82 tC/ha), siguiéndole en orden el sistema con fines energético (3.27 tC/ha), luego bosque seco de latifoliada con manejo de regeneración natural (3.17 tC/ha) y por último café ecoforestal (2.38 tC/ha).
- En hojarasca del sistema de pino se encontró el mayor valor carbono (3.71tC/ha), luego el sistema de plantación energética (1.54 tC/ha), bosque seco de latifoliada con manejo de regeneración natural (0.96 tC/ha) y por último café ecoforestal (0.76 tC/ha).
- El mayor valor de almacenamiento de carbono en el suelo se encontró en el sistema de pino (178.79 tC/ha), luego el sistema de café ecoforestal (142.78 tC/ha) plantación energética (126.87 tC/ha), y por último bosque seco de latifoliada con manejo de regeneración natural (80.34 tC/ha).
- El sistema de pino obtuvo el mayor valor de fijación y almacenamiento de carbono en sus cuatro fuentes (211.82 tC/ha), siguiéndole en orden el sistema de café ecoforestal (163.88 tC/ha), luego la plantación energética (153.72 tC/ha), y por último bosque seco con manejo regeneración natural (105.74 tC/ha).
- En los cuatros sistemas estudiados, la fuente del suelo obtuvo los mayores valores de carbono representando en el sistema de 76.07 a 87.12 %.

- El carbono en la biomasa aérea es la segunda fuente de fijación de carbono, representando en el sistema del 10.36 al 21.06 %.
- El carbono en la biomasa de la raíz representa del 1.45 al 3.00 %.
- La hojarasca y hierba son las fuentes que menos contenido de carbono obtienen, representando en el sistema de 0.46 a 1.75 %.

VI. RECOMENDACIONES

- Los valores obtenidos en el monitoreo de carbono en sistemas productivos pueden ser empleados como valores de referencia de los sistemas en cuanto a la fijación y almacenamiento de carbono en las tres zonas ecológicas: Jinotega, Nueva Segovia y Carazo, sin embargo, es necesario evaluar en otras zonas ecológicas los mismos sistemas para disponer de datos estratificados por zonas y de esta manera aproximarse mejor a los valores reales por sistema productivo y territorio.
- Realizar estudios para el desarrollo de ecuaciones alométricas de estimación de biomasa por especie, con el propósito de obtener datos reales acorde a las condiciones ambientales del país.
- Realizar estudios propios del país del componente de biomasa de las raíces para precisar la cantidad de carbono que puede fijar.
- Aprovechar los inventarios forestales que realizan otras instituciones para realizar estimaciones de biomasa, asimismo, efectuar cálculos de contenido de carbono a bajos costos.
- Al momento del aprovechamiento forestal, aprovechar para la construcción de ecuaciones alométrica que estimen la biomasa por especies o grupos de especies en una determinada condición ecológica.
- Establecer los mecanismos necesarios para la implementación de pago de servicio ambiental de carbono, asimismo, crear condiciones organizativa, técnica y económica para que los pequeños productores participen en la venta de carbono en el mercado internacional a gran escala, de esta manera mejorar las condiciones socioeconómicas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- 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) N 87: 7– 14.
- Aldy, J. E., Orszag, P.R., Stiglitz, J.E. 2001. Climate Change: An Agenda for Global Collective Action, Pew Center on Climate Change. Prepared for the Conference on “The Timing of Climate Change Policies”. 38 p.
- Alpizar, L., Fassbender, H.W., Heuvelink, J. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Eritrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. In biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35(3): 233– 242.
- Andrade, C.H.J 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mángium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. CATIE.
- Andrasko Kenneth. El calentamiento del globo terráqueos y los bosques: estado actual de los conocimientos 41(163): .1990. Unasyuva FAO.
- Araujo, T.M., Higuchi, N., de Carvalho Junior, J.A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brasil. Forest Ecology and Management. 117 : 43– 52.
- Ávila, 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.
- Beek Robinaus Der *et al.*, 1992. Manejo forestal basado en la regeneración natural del bosque. Estudio sobre el caso en los robledales de altura de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. pp 4 – 9 48 p.
- Brown, S. y Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. Forest science 35 (4): 381 – 902.
- Brown, 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. y Lugo 1993. Tropical secondary forest. Journal of tropical ecology. 32 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Primer FAO, Montes 134. Roma 55 p.

- Bueso R. y Márquez K. 1997. Establecimiento y manejo de regeneración natural. UNA 40 p.
- Cárdenas, L. 1986. Estudio ecológico y diagnóstico silvicultural de un bosque de terraza media en la llanura aluvial del Río Nanay, Amazonía Peruana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 133 p.
- Castillo Dzeb B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. CATIE.
- Castro G. 2005. Stand dynamic and regeneration of tropical dry forests in Nicaragua. Tesis UNA sp.
- Carcache, M. *et al* 2005. Establecimiento y manejo de sistemas de café ecoforestal POSAF II/ MARENA pp 8 – 10, 66 p.
- Ciesla W. M. 1996. Cambio climático, bosque y ordenación forestal. Una visión de conjunto, Roma, Italia FAO 115 p.
- Cubrero, J. y Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea Roxb.*), teca (*teutona grandis L.F*) y pochote (*Bombacopsis quintana Jacq*) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste Costa Rica. Tesis para optar por el grado de licenciados en ciencias forestales con énfasis en desarrollo forestal. CATIE. 111 p.
- Dixon *et al* 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. UNA 100 p.
- Dixon, K. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. Agroforestería en las Américas. 2(7). 22- 26.
- Erickson, G, Namkoong y J.H. Roberts, 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. Forest ecology and management. 62 p.
- 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.
- García, A. 2002. Sistemas silvopastoriles. Una alternativa para la venta del servicios ambientales y mejorar el nivel de vida de las familias ganaderas en Nicaragua. Managua, Nicaragua UNA. 117 p.

- Gramejo, G. y Estuardo W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la reserva de biosfera Maya, Peten, Guatemala. CATIE. 73 p.
- Gentry, A.H. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forest. Cambridge University Press.
- Gerhard, K., and Hytteborn, H. 1992. Natural dynamics and regeneration methods in tropical dry forests. *Journal of Vegetation Science* 3:361-364.
- Gillespie, T.W. Grijalva, A & Farris C. N 2000. Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central América.
- Gómez, V. y Oviedo, S. 2000. Estudio sobre fijación de carbono en plantaciones de *Pinus oocarpa*, de 11 años de edad en los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora. Managua, Nicaragua. UNA 57 p.
- Gómez, L. 2000. Cambio climático y desarrollo. Un proyecto en colaboración de la oficina Regional para América Latina y el Caribe del PNUD y Yale School of forestry & Environmental Studies. Publicación en formato PDF en CD- ROM.
- González, B. 2005. Tree species diversity and regeneration of tropical dry forests in Nicaragua. UNA capitulo I p 1.
- Gutiérrez, A. 2005. Manejo del bosque de pino en Nicaragua. POSAF / MARENA pp 7, 8, 66 p.
- Guharay, F; Monterroso, D; Staver, C. 1999. Designing pest-suppressive multi-strata perennial crop systems. *In: Multi-strata agroforestry systems with perennial crops. Proceedings; International symposium on Multi-strata agroforestry systems with perennial crops (Feb 22-27 1999).* CATIE, Turrialba, CR. p. 80-84.
- Hall, D.O; Roa, K.K. 1994. Photosynthesis. 5 ed, Cambridge, Cambridge University Press. 211 p.
- Hernández, W. 1991. Cambio climático. El calentamiento global, tecnológico en marcha.
- IPPC, 1995. Cambio climático. Segunda evaluation .p 23, p 71.
- IPCC, 2001a. Intergovernmental panel on climate change. 2001. Synthesis report. IPCC third assessment report (TAR). A report of the IPCC. WMO UNEP. Geneva, Switzerland.

- IPCC, 2001 b. Climate change, 2001: Mitigation. A report of work group III of the intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers.
- IPCC, 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC revised guidelines for national greenhouse gas inventories. México 11- 13 p.
- INIFOM. Ficha municipal. Consultado el 16 de noviembre del 2007. Disponible www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/NUEVASEGOVIA/el_jicaro.pdf.
- Jiménez, F. *et al* 2001. Modelo de enseñanza agroforestal N 6. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. CATIE. pp 41, 72, 92, 187p.
- Kass L. Donald *et al* 1999. EN agroforestería en las Americas Vol. 7 N 26 2000. Investigación Agroforestal de postgrado. CATIE pp 2- 7, 81p.
- Locatelli, B .1999. Bosques tropicales y ciclo del carbono. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 91p.
- Louman B. Mejía A. & Niñez, L. 2002. Inventario en bosques secundarios. In Orozco, L. & Brumer, C. (Eds) Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE.
- Louman B, y Quiroz D. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 265 p.
- Louman, B., J. Valerio, W. Jiménez. 2001. Bases ecológicas *En* Louman, B., Quirós, D., Nilsson, M. (Eds) Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmedos con Énfasis en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 35-46.
- Mac Diken, K, G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock international institute for agricultural development. 87p.
- Márquez, L. 1997. Validación de campo de los metodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistema agroforestales. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 45 p
- Márquez, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Fundación Solar. Guatemala. pp 10 ,14, 16, 19, 20, 21, 33 p.
- Matthew, D. 1997. Field test of carbon monitoring methods in Agroforestry Systems in the Philippines. Winrock Internacional.

- Mc Laren, K.P. & Mac Donald, M.A. 2003. The effect of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forests in Jamaica.
- Medina C. 2004. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas de café con sombra (*Coffea arabica* L), hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua. Tesis. Managua, Nicaragua, UNI. 108 p.
- Medina C. 2006. Indicadores de impactos de los sistemas forestales y agroforestales. POSAF II p 1, 28 p.
- Membreño, E. 2004. Regeneración natural y patrón espacial de distribución de *Lysiloma divaricatum*, en el bosque seco tropical de Chacocente, Carazo, Nicaragua. Tesis. Managua, Nicaragua, UNA 64 p.
- Molina y Paiz 2002 a. Producción de biomasa y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y tacotales en la zona baja de la Micro – cuenca Río Bul – Bul, Matiguas, Matagalpa. Tesis. Managua, Nicaragua, UNA 55 p.
- Molina J. I. y Paiz D. 2002 b. Almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles en el municipio de Matiguas, Matagalpa. Tesis. Managua, Nicaragua, UNA 60 p.
- Munschler G. Reinhold 2000. Modelo de enseñanza agroforestal N 5. Árboles en cafetales. CATIE pp 13, 17, 30, 139 p.
- Muschler, R.G., Nair, 1999. Modification of growth environment for *Coffea arabica* by different pruning regimes of *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica. Agroforestry Systems. (submitted).
- Murphy, P.G. & Lugo, A.E.:1995. Dry forest of Central America and the Caribbean. In Bullock, S.H. Mooney, H.A. & Medina, E. (Eds). Seasonally dry tropical forests.
- Mussak, M. y Laarman, J. 1989. Farmers production of timber trees in the cacao-coffee region of coastal Ecuador. Agroforestry Systems 9; 155-170.
- Murphy, P. & A. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17: 67-88.
- Murphy P.G. y Lugo A.E. 1995. Dry forest of Central American and the Caribbean. En: Bullock S.H. y Medina E. Eds. Seasonally Dry Tropical Forest; pp.9 – 34. Cambridge. University Press, Cambridge.

- Nabuurs, G. y Mohren G.M. 1993. Carbon fixation Through Forestry Activities: a study of the Carbon Sequestering Potential of Selected Forest Types. Commissioned by the Foundation Face. Report Ibn 93/4. Institute for Forestry and nature research, Forests Absorbing Carbodioxide Emisión. Netherlands 206 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales. 2001. Impacto del cambio climático en Nicaragua, PANIF 79 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales - DANIDA 1994. Ficha técnica Pinos de Nicaragua. MARENA. 44 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales 2002. Proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero. MARENA p 12 82 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales 1999. Guía para comprender el cambio climático en Nicaragua. MARENA p 11 62 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales 2000 a. Planes Ambientales Municipales. Departamento de Carazo. Municipio de Diriamba. pp 10, 18 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales 2000 b. Planes Ambientales Municipales. Departamento de Jinotega. Municipio de Jinotega. pp.3, 10, 18 p.
- Nicaragua, Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales 2000 c. Planes Ambientales Municipales. Departamento de Nueva Segovia. Municipio de Jalapa 2000. p p 11, 19 p.
- Nicaragua, Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente 1992. Servicio forestal nacional departamento investigación forestal. Laboratorio de tecnología de la madera. (Ficha técnica N 41). 4p.
- Nicaragua, Programa Socioambiental Forestal / MARENA, 2005. Manejo y Aprovechamiento del Bosque Latifoliado. Managua, Nicaragua. 72 p.
- Nicaragua, Programa Socioambiental Forestal II / MARENA, 2005. Establecimiento y Manejo de plantaciones forestales. 1 a ed. Managua, Nicaragua. 72 p.
- Nicaragua, Programa Socioambiental Forestal II / MARENA, 2005. Establecimiento y manejo de sistemas de café ecoforestal. Managua, Nicaragua. 73 p.

- Ortiz, E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Instituto tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Serie de apoyo académico No. 16. Cartago, Costa Rica. 71 p.
- Ordóñez, B. 1991. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. SEMARNAP. México D. F. 72 p.
- Pérez, E. *et al.*, 2005. Potencial de plantación y fijación de carbono. Tomo II. MAGFOR – PROFOR. pp. 15, 16,18 , 165 p.
- Ramírez y Vivas, 2004. Cuantificación del almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea arábica*) con sombra en la hacienda Santa Maura, Jinotega, Tesis. Managua, Nicaragua, UNA.
- Ruiz G. Alfredo. 1992. Sistemas silvopastoriles. Pág. 112- 114. Nitlatan – UCA. 116 p.
- Segura, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación cordillera volcánica central de Costa Rica. CATIE. Turrialba Costa Rica. 132 p.
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis* en un bosque de altura de la cordillera de Salamanca, Costa Rica. Tesis Licenciatura. Escuela Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional, Heredia, CR. 147 p.
- Segura M. y Kanninen M. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Siu, Y. y Ordeñana, W. 2001. Estimación del contenido de carbono en el bosque seco secundario de vida silvestre Chacocente. Tesis. Managua, Nicaragua, UNA pp 5,12, 77 p.
- Somarriba E. 1995. Esquema de trabajo para la cuantificación y evaluación de asociaciones pasto/ganado/guayaba (*Psidium guajava*). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 7 p.
- Snowdon, P; Raison J; Keith, H; Montagu, K; Bi, H; Ritson, P; Grieson, P; Adams, M; Burrows, W; Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report, no, 31, primer borrador. Australian Greenhouse Office, AU. 114 p.

- Suárez P. 2004. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica sur, Matagalpa, Nicaragua. CATIE 117 p.
- Téllez, E. *et al* 2005. Análisis de la afectación a dueños de aserríos y carpinterías de seis municipios de Nueva Segovia, como consecuencia del ataque del descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis Zimm.*) ocurrido en el periodo 1999 – 2001. Tesis. Managua, Nicaragua, UNA 61 p.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2001. Climate Change INFORMATION SHEETS, Switzerland, UNEO, UNFCCC. Information Kit: 62 p.
- Valdivia 2001. Manual de procedimiento para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. FONDEF pp 8 ,10, 15 p.
- Vine, E; Sathaye, J; Makundi, W. 1999. Guidelines for the monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125 p.
- Winrock international. 1998. Carbon sequestration and sustainable Coffea in Guatemala. Arlington. 18 p.
- Zamora, J. Quiroz. 2000. Terminología forestal de uso común en Centro América. Manejo forestal tropical. CATIE. Unidad de manejo de bosques naturales. N 14. Junio, 2000. ISSN. 1409 – 3456.

Anexo 1

Cuadro de especies vegetales encontradas en las áreas de estudio

Nombre común	Nombre científico	Familia
Aguacate mico	<i>Persea americana Mill</i>	Lauraceae
Acacia manguim	<i>Acacia manguim (Willd)</i>	Leguminoceae
Caraña	<i>Bursera graveolem (H.B.S) triana</i>	Burseraceae
Cedro real	<i>Cedrela odorata L.</i>	Meliaceae
Café caturra	<i>Coffea arabica Var catu rra</i>	Rubiaceae
Chaguite	<i>Musa sp</i>	Musaceae
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba (L) sarg.</i>	Burseraceae
Jacarandá	<i>Jacarandá mimosifolia</i>	Bignonaceae
Jaraguá	<i>Hyparrenia rufa L.</i>	Poaceae
Guaba roja	<i>Ingá sp</i>	Mimonaceae
Guitite	<i>Acnitus arborescens</i>	Solanaceae
Guaba	<i>Inga vera Will ssp</i>	Mimonaceae
Guineo	<i>Musa sapientum Var rubra</i>	Musaceae
Quebracho	<i>Pithecellobium arboreum</i>	Musaceae
Laurel	<i>Cordia alliadora (Ruiz & Pavon)</i>	Boragináceas
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala (Lam)</i>	Mimonaceae
Higuerilla	<i>Ricinus communis L.</i>	Euphorbiceae
Madero negro	<i>Gliricidia sepium (Jacq)</i>	Fabaceae
Macuelizo	<i>Tabebuia rósea (Bertol) DC</i>	Fabaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardaceae
Manzano rosa	<i>Syzygium jambos</i>	Myrtaceae
Pino oocarpa	<i>Pinus oocarpa Schiede</i>	Pinaceae
Pasto	<i>Andropogon gayanus. (L)</i>	Poaceae
Cornizuelo	<i>Acácia costaricensis Schenck</i>	Mimonaceae
Aguacate de monte	<i>Phoebe mexicana Meissn</i>	Lauraceae
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Poaceae

Anexo 2 a: Carbono fijado por las diferentes fuentes en el sistema de pino, Jalapa, 2006

Finca	Biomasa aérea (tC/ha)	Biomasa raíz (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Suelo (tC/ha)
Adrián I	36.62	5	4.7	167.84
Adrián II	28.81	4.8	7.2	126.68
Francisco I	30.89	4.6	7.81	231.42
Francisco II	33.71	5.1	10.25	196.84
Indelfonso I	11.04	1.7	1.07	171.9
Indelfonso II	1.98	0.30	1.26	144
Fidel I	22.46	3.37	1.17	235.29
Fidel II	22.28	3.34	1.37	180.42
Fidel III	22.41	3.36	1.38	253.41
Lenin	23.30	3.50	1.48	151.59
Total	233.5	34.93	37.64	1,859.4
Promedio	23.35	3.49	3.76	185.94