



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

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN SUELO DE  
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) CON SOMBRA EN LA HACIENDA SANTA  
MAURA, JINOTEGA, NICARAGUA.**

**Autores: Br. Marlon Ignacio Pérez Zelaya  
Br. Johann Trinidad Ruiz Quezada**

**Asesor: Lic. Cristóbal Medina Benavides**

**Managua, Nicaragua, Noviembre 2003**

# Índice General

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURA.....	V
ÍNDICE DE ANEXO.....	VI
DEDICATORIA.....	VIII
AGRADECIMIENTO.....	IX
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XI
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en Nicaragua.....	4
2.2 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	4
2.3 El Protocolo de Kioto y las perspectivas actuales de venta de carbono.....	5
2.4 Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.....	6
2.5 Materia orgánica.....	7
2.6 Ciclo del carbono en el suelo.....	8
2.7 Los ecosistemas forestales como sumidero del Dióxido de carbono.....	9

2.8 El rol de los bosques como sumidero de carbono.....	11
2.9 Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono.....	12
2.10 Clasificación de los sistemas agroforestales.....	13
2.10.1 Sistemas agroforestales secuenciales.....	13
2.10.2 Sistemas agroforestales simultáneos.....	14
2.10.3 Cercas Vivas.....	15
2.10.4 Cortinas rompevientos.....	16
2.11 El café como sistema agroforestal.....	16
2.12 Valoración y costo del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono .....	18
2.13 conceptos básicos.....	21
<b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 Localización.....	23
3.2 Características biofísica.....	23
3.3 Característica del sistema cafeto.....	23
3.4 Diseño del muestreo.....	26
3.5 Elementos de muestreo.....	27
3.5.1 Hojarasca.....	27
3.5.1.1 Carbono almacenado.....	28
3.5.2 Suelo.....	29
3.5.2.1 Carbono almacenado.....	29
3.6 Valoración del servicio ambiental.....	30
3.7 Análisis estadístico.....	31

<b>IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Contenido de carbono en la hojarasca depositada al suelo en tres Tipología de cafeto.....	32
4.2 Contenido de carbono en diferentes profundidades del suelo y tipología de cafeto.....	35
4.2.1. Profundidad.....	35
4.2.2 Contenido total de carbono orgánico en el suelo por tipología.....	36
4.3 Contenido total de carbono en los diferentes deposito de almacenamiento y tipologías de café.....	39
4.4 Valoración económica del servicio ambiental por almacenamiento de carbono.....	40
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>IX. ANEXO.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro	Pág.
1 Separaciones de medias de contenido de carbono en hojarasca en tres tipología de cafeto (Según Tukey), hacienda santa Maura, 2002.....	33
2 Especies y densidades de árboles de sombra en tres tipología de Cafeto, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.....	33
3 Densidad y edad de cafeto en tres tipología, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.....	34
4 Contenido de carbono en tres profundidades de suelo por tipología de cafeto, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.....	36
5 Separaciones de medias de contenido de carbono en el suelo (0–30 cm) en tres tipología de cafeto (Según Tukey), hacienda Santa Muara, Jinotega, 2002.....	36
6 Contenido de carbono en los diferentes deposito de Almacenamiento, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.....	39
7 Promedios de carbono almacenado y su valor económico por tipologías de estudio, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Pág.
1 Ubicación del área de estudio, hacienda Santa Muara Jinotega, 2002.....	24
2 Tipología 1, hacienda Santa Maura, Jinatega 2002.....	25
3 Tipología 2, hacienda Santa Maura, Jinotega 2002.....	25
4 Tipología 3, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.....	26

## ÍNDICE DE ANEXOS

- 1a. Análisis de varianza para el contenido de carbono en la hojarasca en las tres tipologías de estudio.
- 1b. Análisis de varianza para el contenido de carbono en el suelo en las tres tipología de estudio.
- 2a. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm en tipología 1.
- 2b. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 10 a 20 cm en tipología 1.
- 2c. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 20 a 30 cm en tipología 1.
- 2d. Carbono almacenado en el suelo a diferente profundidad tipología 1.
- 2e. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm en tipología 2.
- 2f. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 10 a 20 cm en tipología 2.
- 2g. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 20 a 30 cm en tipología 2.
- 2h. Carbono almacenado en el suelo a diferente profundidad tipología 2.
- 2i. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm en tipología 3.
- 2j. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 10 a 20 cm en tipología 3.
- 2k. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 20 a 30 cm en tipología 3.
- 2m. Carbono almacenado en el suelo a diferente profundidad tipología 3.

- 3a. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 1.
- 3b. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 2.
- 3c. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 3.
- 3d. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 3.

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS:**

“Porque por Él fueron creadas todas las cosas, las que están en los cielos y las que están en la tierra. Todo fue creado por medio de Él y para Él”  
(Colosenses 1: 16)

### A mis Padres:

Por el apoyo que me brindaron, el amor y su sacrificio, por lograr mi formación integral.

Mayra del Socorro Quesada Pavón

Trinidad Ruiz Beteta

Johann Trinidad Ruiz Quesada

### **A Dios:**

Por la vida que me ha prestado y la sabiduría que El me dio.  
La sabiduría protegió al padre del mundo, a ese primer hombre que fue formado por Dios y que fue creado como único. Lo levantó de su caída y le dio la fuerza para que dominara a todas las cosas(Sabidurías 10: 1-2)

### A mis padres:

Freddy Pérez Roa

Rosa María Zelaya Gutiérrez.

Que se han esforzado trabajando fuertemente para que yo pudiera culminar mis estudios Y estar a mi lado en los momentos más importante de mi vida.  
A mi novia Ana Patricia Roa Palacios por estar a mi lado apoyándome en todos los momentos de mi vida.

Marlon Ignacio Pérez Zelaya

## **AGRADECIMIENTO**

**A Dios** por permitirnos culminar nuestros estudios de la carrera de Ingeniería Agronómica Suelos y Agua.

Al proyecto DIEP- PACI, por facilitar el financiamiento del presente trabajo de investigación.

Al señor Jorge Chávez por permitirnos realizar la etapa de campo de la tesis en su propiedad y proporcionar todo el apoyo del personal técnico y administrativos de la Hacienda Santa Maura.

A nuestro asesor y amigo Lic. Cristóbal Medina, por su dedicación, apoyo y amistad que nos ha brindado en el transcurso de esta tesis de investigación.

A los Profesores Ing. Claudio Calero, Ing. Ignacio Rodríguez, por brindarnos sus conocimientos y apoyo.

A nuestros amigos: Himel Ramírez Hurtado, Edwin Antonio Vivas y Henry Toledo  
Por su apoyo al realizar nuestro trabajo de diploma.

## RESUMEN

Las emanaciones de gases provoca el efecto de invernadero el cual consiste en el calentamiento de la atmósfera y superficie de la tierra. Los sistemas agroforestales son potenciales sumideros de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que pueden contribuir a mitigar el efecto de las emisiones globales principalmente del  $\text{CO}_2$ . El propósito de este trabajo es cuantificar el carbono (C) almacenado en el suelo de sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.). Este estudio se desarrolló en la hacienda Santa Maura, Jinotega, altitud 1000–1250 msnm, temperatura promedio de 19 a 23° C. Los suelos son: Vertic aquic Argidolls, Thipic entic Hapludoll y Thipic cumulic Argiudolls.

Se identificaron tres tipologías de cafeto de estudio que se diferencian por su variedad, edad y densidad de establecimiento. Se realizó un muestreo sistemático, Intensidad 2 %, la unidad de muestreo es la parcela circular de 250 m<sup>2</sup>. Se tomaron muestra de hojarasca con un marco metálico de 0.25 m<sup>2</sup> para determinar carbono orgánico, así mismo, se colectaron muestras de suelo a tres profundidades: 0-10, 10-20, 20–30 cm. El C encontrado en tejido de hojarasca se determinó por el método de Scholleberger y la del suelo por Walkley-Black. El almacenamiento de C muestra significancia entre tipologías ( $P < 0.01$ ). Al realizar separaciones de media por Tukey, se encontró que la tipología tres reportó el mayor promedio de C almacenado con 98.22 C ton ha<sup>-1</sup>, siguiéndole, el tipo dos con 78.66 C ton ha<sup>-1</sup> y por último, el tipo uno con 76.96 C ton ha<sup>-1</sup>. Las últimas dos tipologías no muestran diferencia estadística en el almacenaje de carbono. El almacenamiento de C en el suelo por las tipologías de cafeto fue en promedio de 84.28 C ton ha<sup>-1</sup> de las cuales, la mayor cantidad se encontró en el suelo mineral: 83 C ton ha<sup>-1</sup> (98.48 %), siguiéndole en orden la hojarasca con 1.28 25 C ton ha<sup>-1</sup> (1.52 %). La diferencia de contenido de C en el suelo entre tipología, está directamente ligado en el cambio de uso del suelo, densidad, especie de árbol de sombra, edad y manejo de la plantación. Este sistema genera un valor agregado por servicio ambiental de U\$ 1,149.27 al año en el área de estudio de treinta hectáreas, considerando un valor moderado de U\$5.00/ ton.

## SUMMARY

The gases emanations of the greenhouse effect cause the additional warming of the atmosphere and the surface of the earth planet. The agroforestry system are potential sump of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) which can contribute to mitigate the effect of the globe emissions mainly CO<sub>2</sub>. This purpose of the work is to quantify the carbon (C) stored in the soils of the agroforestry systems of coffee (*Coffea Arabica L.*). This research was carried out in farm Santa Maura, Jinotega, altitude 1000 – 1250 msnm, the average temperature ranges from 19 to 23° C, the soils are: Vertic aquic argidolls, Thipic entic hapludoll, and Thipic cumulic argiudolls.

Three typologies of coffee tree were identified according to their variety, age, and density. A systematic sampling, intense 2 %, the sampling unit is the circular plot 250 m<sup>2</sup>. Dried leaves samples were taken with a metallic piece of 0.25 m<sup>2</sup> to determine organic carbon, similarly, soil samples were collected to three depths 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm. The amount of carbon found in the tissue of the dried leaves was determined by the method Schollemberger and the soils by walkley – Black. The C. stored showed significance among the typologies ( $p < 0.01$ ). The distance between the mean according to Tukey, the typology number three showed the highest average of C. content with 98.22 ton ha<sup>-1</sup>, follow by number two with 78.66 ton ha<sup>-1</sup> and the last one type with 76.96 ton ha<sup>-1</sup>, the last two typologies did not show statistical differences en the carbon stored. The store of C en the soil by typology of coffee tree had an average of 84.28 ton ha<sup>-1</sup> of highest part was found en the mineral soil: 83 ton ha<sup>-1</sup> (98.48 %), followed by the dried leaves with 1.28 ton h<sup>-1</sup> (1.52 %). The difference of C content in the soil among typologies, is directly associated in the change of use of soil, density, specie of shadow tree, age and added value for environmental service of US \$1,149.27 yearly in the area of study of thirty hectares, being a moderated value of U\$ 5.00 ton<sup>-1</sup>

## I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial existe preocupación por el calentamiento de la tierra, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Eso se afirma en una primera evaluación realizada en 1990 por el grupo de trabajo Científico del IPCC (Intergubernamental Panel on Climate Change). Una preocupación primaria que identificó el IPCC en 1990 es el incremento continuo de concentraciones de gases de efecto de invernadero, como el resultado de la actividad humana, llevando hacia un cambio climático significativo para el presente siglo.

Se ha observado que el número de catástrofes naturales en el mundo ha estado en claro aumento, en los últimos 30 años. Entre las causas de esta catástrofe naturales, destacan los fenómenos relacionados con el estado del tiempo. Este aumento de catástrofe es uno de los escenarios posibles de las consecuencias del cambio climático.

La consecuencia de este efecto climático a grandes rasgo son las siguientes: susceptibilidad de incendio en los bosques, prolongadas sequías, reducción del caudal de los ríos, incremento de las temperaturas, incidencia directa de los rayos solares al ser humano, entre otros problemas.

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el gas que más contribuye al calentamiento global y de mayor responsabilidad provocada por el hombre (aproximadamente el 64 % del calentamiento observado actualmente). En los últimos 150 años la concentración de  $\text{CO}_2$  ha subido un 30%.

Se estima que la mayoría del aumento de concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) proviene del uso de combustible fósiles, mientras que el 20 –25% del aumento durante los últimos 150 años provienen del cambio del uso de la tierra (WHRC, 1998).

Una forma de disminuir los efectos del CO<sub>2</sub> es almacenarlo en la biomasa mediante la fotosíntesis y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica representa más de 1400 \*Gt (1Gt = 10 elevado a la 15 \*g), casi el doble que hay en la atmósfera (Post *et al.*, 1982). Los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes al absorber el CO<sub>2</sub> y liberar Oxígeno =2 m (Fwprdc,1996).

El cultivo del café en Nicaragua ha traído muchos beneficios de carácter económico al país. Además de la producción cafetalera, el agrosistema café se obtiene otros benéficos como: madera, leña, forraje y otros frutos. Los beneficios ambientales del cultivo del café incluyen conservación de la biodiversidad, mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y mantenimiento del microclima.

En la mayoría del área cafetalera de Nicaragua, se maneja bajo sombra arbórea. Por otro lado, existe gran potencial para manejar y recuperar áreas degradadas. En este caso, el pago de servicio ambiental por fijación y almacenamiento de carbono representa un valor agregado a la producción, que podría tener un gran potencial e importancia para los productores.

Este estudio se realizó con el objetivo de obtener información de la cantidad de carbono almacenado en el suelo en sistema agroforestales de café. Esto dará una nueva alternativa a los productores de café generándole un valor agregado mediante el servicio ambiental de almacenamiento de carbono y de esta forma también contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero.

\*Gt = Guiga tonelada

\*g = gramos

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Cuantificar la cantidad de carbono atmosférico almacenado en el suelo de tres tipologías de café, como resultado de la medición de la hojarasca, suelo.

## Objetivos específicos

- Cuantificar el contenido de carbono de la hojarasca presente en las tipologías de café.
- Cuantificar el carbono almacenado por el suelo como materia orgánica
- Valorar el servicio ambiental de almacenamiento del carbono en las tipologías de cafeto.

## Hipótesis

- Existen diferencias en el almacenamiento de carbono atmosférico entre los diferentes depósitos (hojarasca, suelo).
- Existen diferencias en el almacenamiento de carbono atmosférico entre las tipologías de café.
- El almacenamiento de carbono en las tipologías de café, generaran un valor agregado por el servicio ambiental brindado.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en Nicaragua**

El gobierno de Nicaragua través del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), en cumplimiento de sus compromisos ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático) CMMUCC, presenta la primera referencia para el año 1994 sobre las emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (GEI) en los sectores: Energía, Procesos Industriales, Desperdicios, Agricultura, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura.

Nicaragua posee aún en relación con su territorio considerables extensiones boscosas, además de miles de hectáreas de suelos agrícolas en abandono, en algunos casos por más de 20 años; debido a estas circunstancias el país resultó ser fijador de GEI. De conformidad al balance de emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> equivalente, el territorio nacional posee una capacidad de fijación de 4,424 Gg de CO<sub>2</sub> (4.42 millones de toneladas) para el año de referencia 1994. El sector Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (CUTS) fijó una considerable cantidad de CO<sub>2</sub> que sitúa a Nicaragua en la posición de país fijador de GEI .(PNUD-NIC/98/G31-MARENA, 2001)

### **2.2 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**

Nicaragua, como parte de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) desde octubre de 1995, tiene entre sus responsabilidades la elaboración de la Primera Comunicación Nacional, la cual es una muestra evidente de los esfuerzos que el país está realizando para contribuir a reducir los impactos globales del cambio climático. En este sentido, el Gobierno de Nicaragua también ratificó el Protocolo de Kioto en julio de 1999 por el decreto No. 2295 de la Asamblea Nacional.

Nicaragua bajo la Convención, tiene obligaciones compartidas pero diferencias entre las cuales están:

Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y poner a disposición de la Conferencia de las Partes, sus inventarios nacionales por fuente y sumidero de gases de efecto invernadero;

Formular e implementar un programa nacional que contenga medidas para mitigar el cambio climático.

La Primera Comunicación nacional fue elaborada en base a estudios realizados por los Proyectos: "Primera Comunicación Nacional en Respuesta a sus obligaciones ante la CMNUCC, PNUD-NIC/98/G31-MARENA" y "Apoyo a la implementación de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y del Protocolo de Montreal, PANIF/MASRENA" ambos coordinados por el MARENA.(PNUD-NIC/98/G31-MARENA, 2001)

Muchas de las acciones perfiladas en la Primera Comunicación Nacional están todavía a nivel de ideas de posibles proyectos, se espera que esta se transformen en resultados tangibles en un futuro no muy lejano.

### **2.3 El Protocolo de Kioto y las perspectivas actuales de venta de carbono**

Como culminación del proceso iniciado por CoP 1 en Berlín, para establecer un compromiso vinculante de reducción de emisiones entre la comunidad internacional, las Partes de la CMCC acordaron, en diciembre de 1997, el protocolo de Kioto. Este instrumento vinculante estableció un compromiso cuantificable de reducción de emisiones para 39 países desarrollados o con economías en transición.

El Protocolo tiene como objetivo la reducción de las emisiones de GEI en un 5 % con respecto a las cantidades que emitían en 1990. Este 5% es un promedio que incluye 6 gases: dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, hidrofluorocarbono, perfluorocarbono y hexafluoruro de azufre.

Los firmantes de la Convención que se adhieran a él se obligan a reducir sus emisiones en montos establecidos y cuantificables pero cada nación puede cumplir su compromiso limitando las emisiones de los seis gases en cualquier combinación, siempre y cuando el total equivalente en emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo del 2008 al 2012 sea el porcentaje requerido por encima o por debajo de la líneas de referencia (Ramírez P, 1998).

#### **2.4 Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero**

La actividad forestal orientada a la conservación, consiste en la aplicación de las mejores Prácticas verificables para el manejo de los recursos forestales, inclusive zonas boscosas y árboles, de forma que sean ecológicamente racionales, económicamente viables, socialmente responsables y ecológicamente aceptables; y que conduzcan el potencial de estos recursos para producir múltiples beneficios en el presente y en el futuro (Ducan, *et al.* 1999). Según Andrasko, (1999), la forestería ha recibido especial importancia en los últimos años, debido a la importancia que presenta como potencial para contribuir a la reducción del efecto invernadero mediante las siguientes posibilidades:

1. Reducir la emisiones de gases de efecto invernaderos (reducir y disminuir la tala de bosques y la quema).
2. Mantener los actuales depósitos de los gases invernadero, conservando el bosque natural, incluyendo los bosques localizados dentro de las áreas protegidas (bosques de propiedad pública), y en zonas de amortiguamiento (bosques en terrenos de propiedad privada).

3. Expandir los depósitos de gases invernaderos por medio de la creación de nuevas áreas forestales, mediante la regeneración natural en tierras abandonadas (bosques secundarios); mediante el establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales (Alfaro, 1997; Finegan, 1997).

La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra en el trópico, constituyen una fuente significativa de dióxido de carbono atmosférico. La magnitud de esta fuente adicional es comúnmente estimada entre 8% y 47%, de la que se produce de los combustibles fósiles.

En Costa Rica, se han realizado estudios de fijación de carbono que han dado los siguientes resultados: en bosque tropical húmedo hasta 16,7 ton/ha de C por año (Tosi, 1995, citado por Carranza, *et al.* 1996) y en bosque húmedo premontano 5,1 ha por año. En bosques de altura Segura (1997), encontró que la cantidad de carbono almacenado para el *Quercus costarricensis*, con manejo silvicultural fue de 56 ha y la tasa de fijación anual para todo el bosque, considerando todas las especies fue de 1,87 ton/ha por año.

Segura (1997), determinó que la fracción de carbono de algunas especies en la cordillera central de Costa Rica puede variar entre 0,43 y 0,47, siendo no significativas las diferencias; la tasa de fijación anual de carbono varía entre 1,9 y 2,6 ton/ha de C por año, dependiendo de la gravedad específica y de la fracción de carbono de las especies.

## **2.5 Materia Orgánica**

La materia orgánica (M.O) es uno de los principales componentes del suelo, constituyendo aproximadamente el 5% del volumen total del suelo (Alexander, 1980). Esta proviene de los restos aéreos y subterráneos de plantas, restos y deyecciones de animales: abono orgánico y compuestos orgánicos incorporados al suelo con plaguicidas.

De los materiales vegetales incorporados o añadidos al suelo, el tejido verde de las plantas superiores posee alrededor de 75% o aun más de agua. La materia seca está formada de C, H, O, N y elementos minerales (Alexander, 1980). La diversidad de minerales vegetales proporciona a la microflora una gran variedad de sustancias heterogéneas tanto física como química.

## **2.6 Ciclo de Carbono en el suelo**

El ciclo comienza con la fijación anhídrido del carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea, que pasa a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consume directamente para suministrar energía a las plantas, el anhídrido carbónico así formado se libera a través de sus hojas o de sus raíces.

Otra parte es consumida por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismo del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide el anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera ( Scimel, 1995; Smith *et al.* , 1993; citado por Ordóñez, 1999).

La fijación de carbono por bacteria y animales es otra manera de disminuir la cantidad de dióxido de carbono, aunque cuantitativamente menos importantes que la fijación de carbono por las plantas. Cuando los organismos vegetales son comprimidos por depositación, no son atacados por bacteria, sino que sufren una serie de cambios para formar turba, luego carbón pardo o lignita, y finalmente carbón. Los cuerpos de algunos organismos marinos pueden sufrir cambios semejantes y formar, en largos períodos, petróleo. Estos fenómenos significan la substracción de parte del carbono al ciclo; pero más tarde los trastornos

geológicos o de las minerías o perforación realizada por el hombre llevan a la superficie el carbón o el petróleo, que será quemado hasta convertirlo en dióxido de carbono, volviendo en esta forma al ciclo inicial.

La cantidad de carbono depende de las características del suelo, de la cubierta vegetal, de la altitud y del tipo de explotación humana. El carbono sigue un ciclo global haciendo intervenir varios depósitos, los océanos, la biosfera, y la atmósfera con carbono biológico o fósil. (Eswaran *et al.* 1993; citado por Locatelli, 1999).

Las actividades humanas contribuyen a la liberación anual alrededor de 5.4 millones de toneladas de carbono por combustión de carbón fósil ( carbón y petróleo) y alrededor de 1.6 mil millones de toneladas de cobertura de los suelos, esencialmente por deforestación tropical (Dixon *et al* 1994; citado por Locatelli, 1999).

## **2.7 Los ecosistemas forestales como sumideros del dióxido de carbono**

La superficie forestal estimada en la tierra es de  $4.1 \times 10^9$  ha donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2.3%, menos el 10% de las áreas que se encuentran bajo manejo. Aproximadamente el 37% del carbono se encuentran en latitudes bajas 0 a 25 grados, 14% en las medias (25 a 50 Lat). y 49% en las altas (50 a 75 Lat.) Es por esto que Dixon afirma que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto a su altitud. Dos tercera partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentran contenido en el suelo.

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

almacenar carbono en su biomasa. La concentración creciente del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera contribuye al calentamiento del planeta y, por consiguiente, al cambio climático.

Los bosques son importantes para el ciclo global del carbono porque almacenan gran cantidad de este en la vegetación 1.5 veces la cantidad de este en la atmósfera y en el suelo 4 veces la misma cantidad y lo intercambia con la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis y respiración, y lógicamente estos se constituyen en fuentes de carbono para la atmósfera cuando son cortados por el hombre o por causas naturales, por ejemplo, incendios, quemas, talas, etc. En total los bosques contienen una cantidad de carbono entre 20-100 veces superior por unidad de área, que las tierras de cultivos y juegan un papel crítico en la regulación del nivel del carbono atmosférico.

La cantidad de biomasa viva acumulada por el crecimiento de los árboles en los bosques, disminuye gradualmente conforme aumenta la edad del bosque (Finnegan y Delgado, 1997; Kyrlunk 1990) y por lo tanto su potencial de secuestro de carbono también disminuye. Sin embargo, esto no quiere decir que los bosques en los diferentes períodos de crecimiento no fijen carbono. Debido a esta variabilidad que muestran los bosques naturales con respecto a las características de captura y almacenamiento de dióxido de carbono, es que se piensa en diferentes alternativas de manejo de bosque natural y ecosistemas forestales.

Una característica sobresaliente de los bosques primarios y que constituyen un papel importante en la fijación de carbono, es la gran cantidad de biomasa por unidad de área acumulada comparada con otras áreas de ecosistemas. Se considera como biomasa total de un bosque, aquella que incluye la masa viva de los árboles, arbustos, palmas enredaderas epífitas, etc. establecidas arriba y abajo del suelo, así como las plantas muertas que se encuentran en la superficie del suelo y los troncos en descomposición (Finnegan y Delgado, 1997). Por ello obviamente al saber la biomasa total de un bosque requiere de mucho tiempo,

esfuerzo y dinero, razón por la cual no existen muchos datos sobre ellos; sin embargo, se tiene información de unas 30 ha, que han sido medidas en los bosques tropicales, en los cuales, la mayoría de la información reportada de biomasa se basan solamente en el componente de los árboles, debido a que son inventarios forestales, los cuales no toman en cuenta la vegetación existente fuera del árbol como tal (Brown, 1997; Brown y Lugo, 1992; Brown *et al* ,1989).

## **2.8 El rol de los bosques como sumideros de carbono**

La vegetación, a través de la fotosíntesis, transforma energía solar en química absorbiendo CO<sub>2</sub> del aire para fijarlo en forma de biomasa, y libera a la atmósfera oxígeno (O<sub>2</sub>). Los bosques, en particular, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono (C) ya que:

- Almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico)
- Intercambian carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y respiración
- Son fuentes de emisión de carbono cuando son perturbados por causas naturales, por ejemplo incendios, avalanchas, etc., o antrópicas, como la quema para habilitar campos a actividades agropecuarias, explotaciones forestales sin conceptos silviculturales, etc.
- Pero también son sumideros (transferencia neta de CO<sub>2</sub> del aire a la vegetación y al suelo, donde son almacenados) cuando se abandonan las tierras perturbadas, que se recuperan mediante la regeneración natural.

El hombre, a través del manejo silvicultural de los bosques nativos existentes, y por la creación de nuevos bosques mediante forestaciones y reforestaciones en áreas donde no existen árboles, es capaz de alterar las reservas y flujos de C forestal, modificando su papel en el ciclo del C y utilizando con ello su potencial para mitigar los cambios del clima.

## **2.9 Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono**

La reforestación no incluye exclusivamente a las plantaciones forestales, sino las diferentes formas de cultivo según el fin primordial del establecimiento; así por ejemplo, existen las plantaciones en bloque y las utilizadas por medio de los sistemas agroforestales como pueden ser el cultivo en linderos, sistema rompevientos, sistema taungya, entre otros.

Los sistemas agroforestales tienden a incluir prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y plantas, por el contrario, aumenta los rendimientos de la madera sin elevar los costos, lo cual contribuye a crear sumideros para el carbono en forma de árboles y productos maderables perdurables en el tiempo, a la vez ayuda a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales ya existentes reduciendo la presión sobre los bosques y en áreas donde la leña es escasa. Las masas forestales ubicadas en los sistemas agroforestales pueden llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios, y si la madera de los árboles es procesada, 50% de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición (Dixon 1995, Stella 1999).

Según Kurstel y Burshel (1993), la cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de los diferentes sistemas agroforestales oscila normalmente de 3 a 25 ton/ha de C, en el caso de huertos caseros y taungya se logra superar los 50 ton/ha de C de biomasa; las cortinas rompevientos, los linderos y las cercas vivas producen menor cantidad de materia seca. El potencial para el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales incluyendo el carbono del suelo, oscilan entre 12 y 228 ton/ha de C (Dixon 1995), siendo el potencial para el almacenamiento de carbono mayor en el trópico húmedo.

En algunos sistemas agroforestales en América Central, se han estimado tasa de fijación de carbono desde 0.1 a 3.6 ton/ha de C año. El almacenamiento de CO<sub>2</sub> dependerá de la especie arbórea y densidad de la siembra (Segura, 1999; Cubero y Rojas 1999), la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y el manejo silvicultural al que se vea sometido.

## **2.10 Clasificación de los sistemas agroforestales**

La clasificación de los sistemas agroforestales presentada, está basada en la función que desempeñan los árboles en asocio con los cultivos agrícolas, la cual puede ser de producción (leña, fruto, madera y forraje) y de servicios (sombra, protección y fertilización). Por el arreglo en el espacio y en el tiempo se subdividen en:

### **2.10.1 Sistemas agroforestales secuenciales**

En este sistema existe una relación cronológica entre los cultivos anuales y los productos arbóreos, es decir que los cultivos y los árboles se suceden en el tiempo, ejemplo de éstos son la agricultura migratoria y el sistema taungya.

**Agricultura migratoria:** El sistema tradicional consiste en cortar el bosque para utilizar el área en la siembra de cultivos agrícolas, obteniéndose uno o dos años de cosecha y luego dejando en reposo la parcela. La regeneración natural que se desarrolla es el barbecho, el cual crece de ocho a diez años o más, iniciándose después nuevamente el ciclo.

**Sistema Taungya:** Es un método de reforestación que combina la producción de árboles (madera-leña) con la siembra de cultivos agrícolas básicos durante los primeros años de establecimiento de los árboles (uno a tres años), hasta que la sombra de los mismos lo permita. La meta del Sistema Taungya es la producción forestal. El cultivo sirve para bajar los costos de establecimiento en la plantación.

Un ejemplo de este sistema es el eucalipto con frijol, maíz y sorgo; leucaena con maíz y frijol cultivados entre de árboles y cucurbitáceas con maderables.

### **2.10.2 Sistemas agroforestales simultáneos**

Consisten en la integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes con árboles maderables, frutales o de uso múltiple y/o ganadero, éstos se subdividen en:

a) Sistemas que combinan cultivos perennes con árboles de sombra y maderables.

Estos sistemas tradicionales normalmente formados por la combinación de cultivos perennes como el café y el cacao con arboles que pueden ser maderables de alto valor: cedro (*Cedrela odorata*, L), caoba (*Swietenia Humilis*, Zucc.) laurel (*Cordia alliodora*, Ruiz y Pavón, Oken.); arboles mejoradores del suelo y las condiciones ambientales como helequeme (*Erythrina Fusca*, Lour.), guaba (*Inga Vera*, Will ssp (Willd)Leon.), madero negro (*Gliricidia sepium*, (Jack) Steud.), aceituno (*Simarouba glauca*, DC.) y árboles frutales como cítricos, aguacate y mango.

b) Sistemas que combinan cultivos de ciclo corto (maíz, frijol, sorgo) con árboles leguminosos, cuya función es la fertilización de los suelos, ejemplo clásico de este sistema es el sistema de cultivo en callejones.

Cultivos en callejones: Son conocidos como cultivos en franjas o en hileras.

Consisten en el establecimiento de árboles con cultivos agrícolas anuales. Se prefiere que los árboles utilizados sean fijadores de nitrógeno (leguminosos). Para mejorar la fertilidad del suelo y disminuir el uso de fertilizantes.

El objetivo inmediato de los cultivos en callejones es la producción de abonos verdes provenientes de las podas de los árboles y posterior incorporación de la

biomasa al suelo. La meta principal de este sistema agroforestal es la producción agrícola con bajo nivel de insumos.

c) Sistemas que combinan cultivos agrícolas en general con árboles y arbustos cuya función principal es la conservación y fertilización de los suelos como las barreras vivas.

Barreras vivas: Este sistema es empleado en prácticas de conservación de suelos y agua, es conocido también como barreras antierosivas para recuperación y estabilización de suelos en laderas. Pueden combinarse árboles o arbustos como gandul (*Cajanus cajan*) y zacates para retener el suelo en forma de barrera, evitando así la erosión. Algunas especies arbóreas apropiadas son fijadoras de nitrógeno como la leucaena y el madero negro.

d) Sistemas que combinan el pastoreo de animales como árboles de sombra, frutales, maderables y forrajeros, entre los principales están:

Arboles forrajeros y leña: Para la obtención de forraje que complemente la alimentación del ganado se usa guácmo (*Guazuma ulmifolia, Lam.*), madero negro (*Gliricidia sepium (Jacq) Steud.*) helequeme (*Erythrina fusca, Lour.*).

Bancos de forraje arbóreo: Aunque no sea un sistema netamente silvopastoril por faltar interacción del ganado con el árbol, sí es recomendable y consiste en una plantación densa con especies de alto valor proteínico. El espaciamiento apropiado puede ser desde 0.50 por 0.50 metros hasta dos por un metro. Las especies más utilizadas son la leucaena (*Leucaena leucocephala (Lam.) De wit.*), el madero negro (*Gliricidia sepium (Jacq) Steud.*), el helequeme (*Erythrina fusca, Lour.*), estableciéndose a través de plantas en bolsas, estacas o siembra directa.

### **2.10.3 Cercas Vivas**

Una cerca viva está formada por una hilera de árboles para delimitar potreros o áreas de pastos, cuya función es delimitar propiedades y obtener beneficios adicionales (leña y madera).

Entre las especies más utilizadas se encuentran el madero negro (*Gliricidia Sepium*(Jacq) Steud), el helequeme (*Erythrina fusca, Lour.*) guacimo (*Guazuma ulmifolia, Lam.*), el jiñocuabo (*Bursera simarouba (L) Sarg.*), etc., pueden también incluirse especies de alto valor comercial como el pochote (*Bambacopsis quinata (Jacq) Dugand.*) y la caoba (*Swietenia humilis, Zucc.*). Además de diversos frutales.

#### **2.10.4 Cortinas rompevientos**

Una cortina rompevientos se caracteriza por la formación de una a cinco hileras de árboles y arbustos plantados contra la dirección del viento, cuya función principal es la protección de los cultivos, pastos, ganado y a la vez, evitar la erosión eólica (pérdida de suelo por acción del viento). En las hileras centrales se usan árboles de mayor altura y en las laterales árboles de porte medio y bajo.

#### **2.11 El café como sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales proporcionan una gran variedad de climas, suelos, tipos de vegetación y sistemas de producción en los diferentes agrosistemas cafetaleros en Nicaragua, los cuales se pueden clasificar en cuatro tipos:

- Tradicional o rustico
- Policultivo manejado
- Monocultivo ( café con una especie de sombra)
- Monocultivo ( café con varias especie de sombras)
- A pleno sol.

Debemos resaltar que en Nicaragua aproximadamente el 80 por ciento o más del café se encuentra 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 de manejo tradicional de sombra con tecnología moderna y reducción de los niveles de

aplicación de agroquímicos, para lograr sistemas sostenibles y competitivos con tecnología limpias y café de calidad.

Varios estudios han demostrado el papel importante del café con sombra versus cafetales al sol, como conservadores de la flora, fauna, microorganismos, agua y suelos y particularmente como fijadores de carbono.

Desde un punto de vista permanente antropocéntrico, el café bajo sombra representa, por lo tanto, una ventaja económica y ecológica, pues conserva paisajes tradicionales y genera un potencial importante de ecoturismo.

El café bajo sombra además de protegerlos de las lluvias y de los vientos fuertes, la sombra juega también un papel amortiguador contra cambios de temperaturas o humedad relativa. 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 que el suelo se seque mucho durante el verano.

Las ventajas de los sistemas agroforestales son varias. Solo dirigiéndonos a las ventajas de sombra, encontramos beneficios de varias procedencias. En términos de sombra las leguminosas, como el género Inga (Guaba), vemos que la capacidad de fijar nitrógeno del árbol, por medio de las micorrizas, reduce la demanda total para abono o fertilizante del cafetal. No es que estos árboles leguminosos abastezcan a los cafetos de nitrógeno fijado, sino que eliminan la competencia para nitrógeno entre los árboles de sombra ( que son leguminosas) y los cafetos.

Además del café, los árboles de sombra producen un gran rango de productos, tales como; Leña, material para la construcción de cercas, mueble o viviendas son unos de los usos de la madera que sale de un cafetal con una sombra diversa. Adicionalmente, los árboles de sombra proveen sus propios frutos. Aguacate, cítricos, sapotes, etc., que pueden aumentar los ingresos anuales del productor.

## **2.12 Valoración y costo del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono**

MARENA (1999), determina que el propósito de la venta internacional del carbono es en realidad la venta certificada de reducciones de emisiones de carbono. Nicaragua en particular no es un emisor de gases de efecto de invernadero, sino por el contrario actúa como un secuestrador al reducir las emisiones de gases contaminantes. Los países desarrollados son los grandes emisores de gases de efecto invernadero y tienen como compromiso la reducción de estos gases, pero les cuesta muy caro cumplir con estos objetivos, por ende prefieren financiar en países subdesarrollados para cumplir con estos compromisos.

Centroamérica posee un gran potencial en el almacenamiento y fijación de carbono gracias a la presencia de grandes extensiones de ecosistemas forestales, por lo que se vería favorecida en los beneficios que conllevaría la venta del carbono.

Uno de los países comercializadores de carbono en Centroamérica es Costa Rica, que desde hace unos años ha implementado la venta del servicio ambiental a quienes contaminan. El pago por el servicio ambiental (PSA) es obtenido de la tercera parte de los impuestos de hidrocarburos y de Organismos Internacionales interesados en contribuir en la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero.

Así mismo, Nicaragua esta desarrollando proyecto de investigación para contar con inventarios de gases de efectos de invernadero, entre otros de los compromisos que adquirió en la conferencia de la tierra (1992) y que ratificó esta convención en 1995. Estos proyectos le dan la oportunidad a Nicaragua para que en un futuro mediano pueda entrar en la comercialización de carbono, tomando la experiencia de Costa Rica y aprovechando los acuerdos firmados con países signatarios (MARENA 1999).

Para el análisis económico es crucial si el almacenamiento y fijación de carbono puede ser tratado como un beneficio económico o no. Niskanen *et al.* ( 1996 ), hacen referencia en este aspecto con el precio sombra de una unidad de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) el cual, es el monto del daño externo causado por una emisión.

Las determinaciones del nivel de precio sombra para el control de emisiones, sin embargo, varían notablemente según el método de valorar los daños y perjuicios externos con los costos de prevenirlos. Puesto que normalmente se presentan los valores de la unidad de emisiones del carbono como una sumatoria de las fracciones valoradas, en el presente los precios sombra de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) también dependen de la tasa de descuento usada. En conclusión puede asumirse que el precio sombra de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) es positivo aunque parece imposible determinar objetivamente cualquier estimación exacta o de fondo.

Barios estudios realizados en los países en vías de desarrollo evalúan el costo de almacenar carbono usando opciones como agroSilvicultural, plantaciones de larga y de corta rotación, regeneración natural, manejo de bosque, y prácticas silviculturales basado en una estimación de la disponibilidad técnica del área de tierra en un país dado, los estudios tropicales han desarrollado curvas de costo que muestran incrementos de los costos marginales con el más alto

almacenamiento. Las curvas para India, China y Tailandia, por ejemplo indican que la unidad de costo por almacenar carbono en 80% del área técnicamente disponible estaría por menos de US\$ 10 (Brown, 1995).

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

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

En la valoración del servicio ambiental de sumidero de carbono utilizaremos varios precios de referencia internacionales, debido a que en nuestro país (Nicaragua) no se han realizados estudios de valoración económica. Costa Rica, en una negociación internacional, acordó un precio de US\$10 y 16 por tonelada métricas de CO<sub>2</sub> equivalentes a US\$36.6 y US\$58.6 por tonelada métricas de carbono secuestrado y almacenado permanentemente. Respecto a la demanda de Carranza 1996 cita estimaciones de costos del daño causado por cada tonelada métrica adicional de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera de entre US\$10 y US\$20 (o US\$36.7 y US\$73.2 por ton de carbono). Fankhauser y Tol (1995), estiman dicho costo en US\$20 por ton de CO<sub>2</sub> (US\$73.2 por ton de carbono) y predice que este incrementara a US\$28 (US\$102.5).

Encuanto a la oferta el costo promedio de almacenar una t métrica de carbono por medio de plantaciones forestales es de US\$11.5 (Winjum *et al*, 1993; Cline, 1992) que implicaría un valor mucho más bajo de US\$112 millones (US\$92 millones bajo el escenario pesimista). Si el precio se basa en el costo del control de emisiones, este valor solo se incrementa levemente.

## 2.13 Conceptos básicos

**Efecto invernadero:** Es el calentamiento adicional del planeta, producto de un flujo continuo de energía que proviene del sol, fundamentalmente en forma de luz visible, que llega a la tierra y la tierra manda de vuelta esta energía hacia el espacio. (Rapidel *et al.* 1999).

**Dióxido de carbono:** Es un gas de efecto invernadero y el segundo mayor responsable del efecto invernadero provocado por el hombre; este gas está naturalmente presente en la atmósfera y está formado por dos átomos de oxígeno y por un átomo de carbono. (Rapidel *et al.* 1999).

**Sistema:** Es un conjunto o combinación de elementos o partes que forman un complejo o unidad, como por ejemplo un sistema de río o sistema de transporte. Es un complejo o conjunto de miembros correlacionados que interactúan en conjunto y coordinadamente, un sistema está formado por componentes, atributos e interrelaciones. (Blanchard y Fabrycky, 1981).

**Sistema agroforestal:** Es un sistema combinado de cultivos agrícolas y del bosque; mediante el uso múltiple del bosque (Padilla, 1981).

**Biomasa:** Se define como la cantidad de organismos vivos de una o más especies o de todas las de una comunidad, por unidad de superficie en un momento dado (Zamora y Quiroz, 2000), aunque también en materia meramente forestal se define como la masa total de los componentes de un árbol incluyendo las ramas y las hojas (Venega *et al.* 2000). La manera de medir la biomasa es a través del peso y su unidad de medida es el Kg. o tonelada, según sea el caso.

**Almacenamiento de Carbono;** Se refiere a la capacidad del bosque para mantener una determinada cantidad promedio de carbono por ha, que nunca será liberado a la atmósfera.

**Contenido de Carbono;** Es una cantidad absoluta de Carbono en un almacenamiento específico en un momento dado

**Flujo de Carbono;** Transferencia de Carbono de una reserva a otra (Segura, 1997).

**Parqueo de Carbono;** Es una forma temporal de almacenamiento. (Segura, 1997).

**El secuestro de carbono;** Se refiere a la acción de remover en forma permanente CO<sub>2</sub> que se encuentra en la atmósfera y, por lo tanto, requiere de un incremento neto en la biomasa del bosque o plantación forestal. (Segura, 1997)

**Fijación de Carbono;** Se refiere al carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijar en periodo determinado. (Segura, 1997).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización

Este trabajo se realizó en la hacienda Santa Maura ubicada en la comarca Palo de Sombrero, departamento de Jinotega 13° 05´ de latitud Norte y 86° 00´ de longitud Oeste (Ver figura 1).

#### 3.2 Características biofísicas

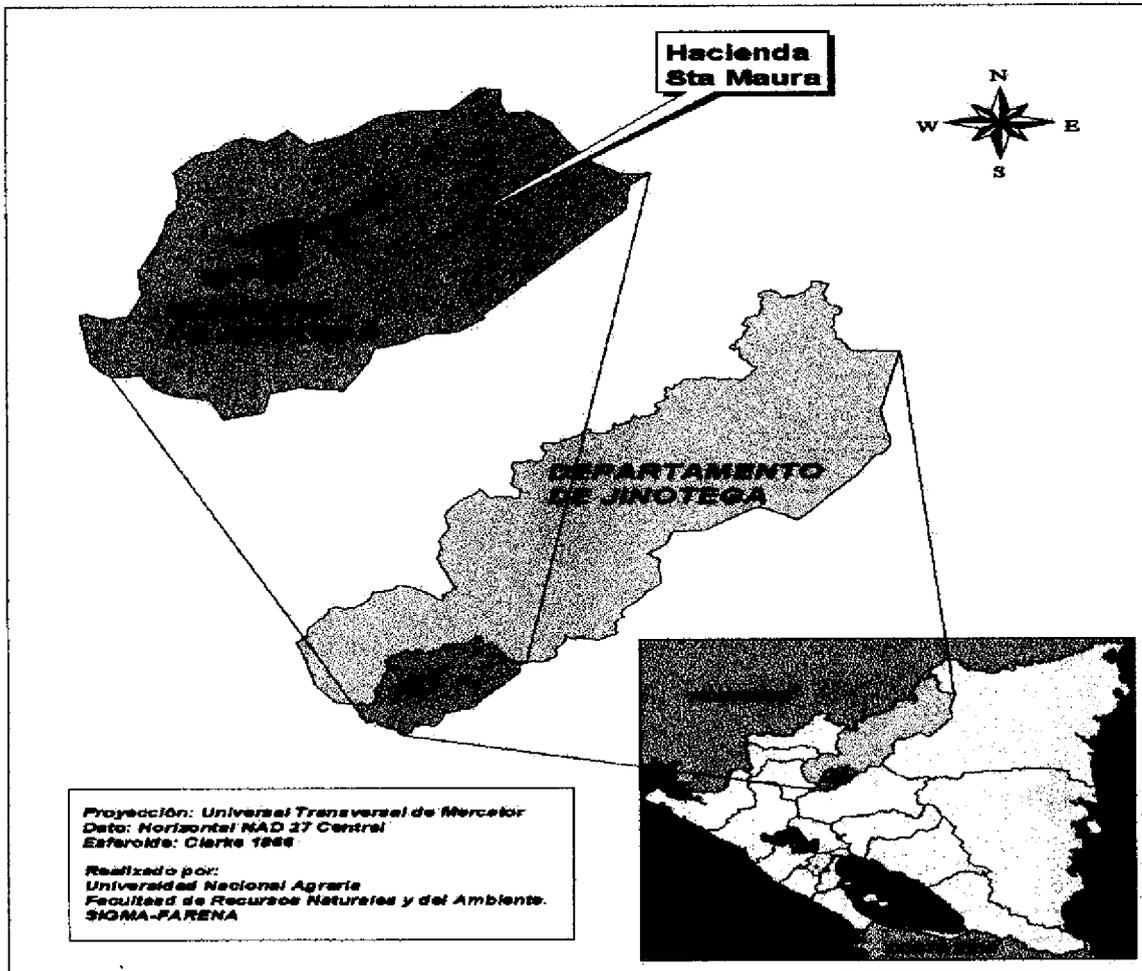
Según la clasificación Köppen el clima del municipio es de Sabana Tropical de Altura. La temperatura media oscila entre los 19° y 21° Centígrados. La precipitación pluvial varía entre los 1 600 y 1 800 mm (Fenzl, 1988). Las lluvias permanecen de 7-8 meses al año con una interrupción de 8 -15 días en el período canicular (15 julio al 15 agosto).

#### 3.3 Características del sistema de cafeto

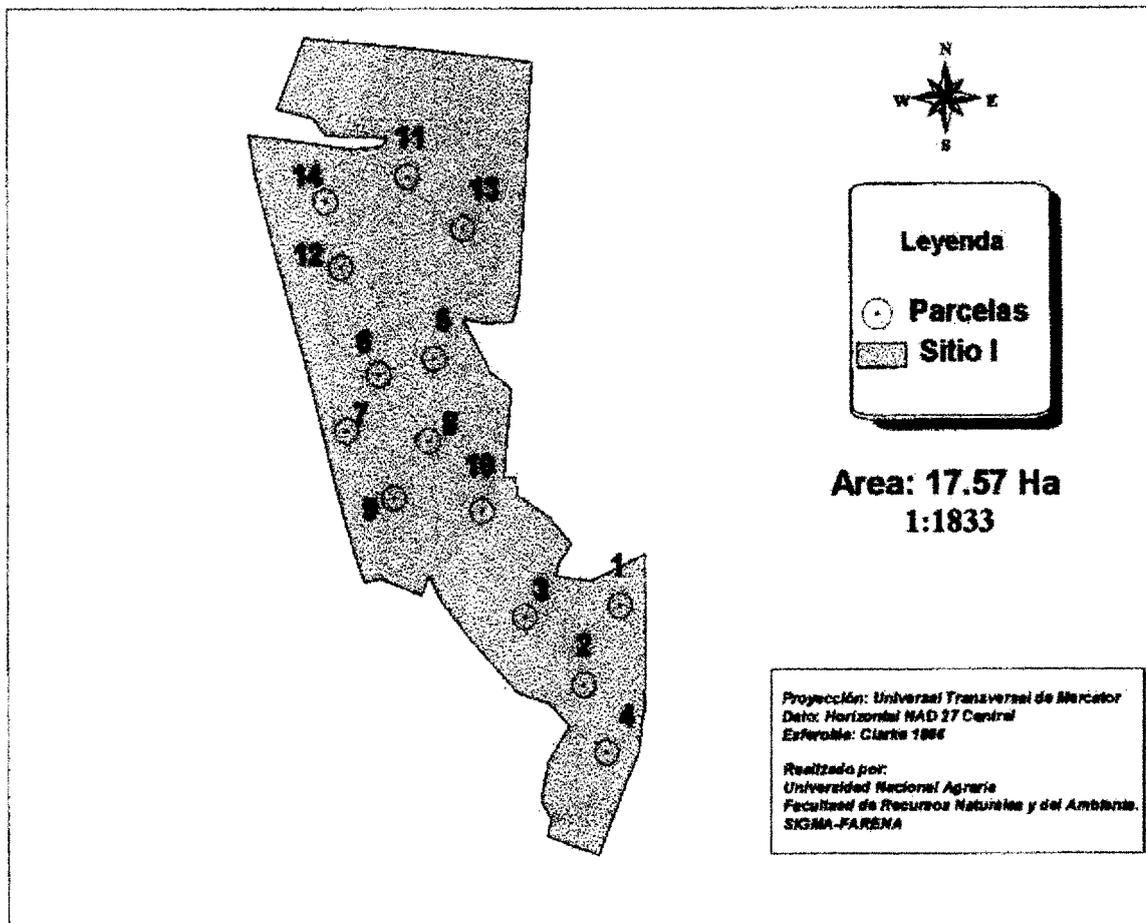
Se seleccionaron tres tipologías de cafeto de acuerdo a la densidad y edad de establecimiento. Las tipologías seleccionadas son las siguientes:

- **Tipología 1:** Café Pacamara (plantada 1.41 - 1.73 m), combinado con cinco especies arbóreas (*Inga vera*, *Will ssp (Wild.) Leon*, *Erythrina fusca*, *Lour*, *Erythrina poeppigiana (Walp) O.F. Cook*, *Croton reflexifolius*, *H.B.K.*, *Solanum sp*), 3 - 4 años (6 \* 7m), ubicado en el sitio conocido como Las Canoas. El suelo es un Vertic Aquic Argiudolls, textura arcillosa, drenaje imperfecto a moderado, pendiente de 4 a 16 % y un área de 17.57 ha (Ver figura2).
  
- **Tipología 2:** Café Catimor (1.0 \* 1.66 m), asociado con guaba (*Inga vera Will ssp (Willd.) Leon*), 8-9 años (9.0 \* 6.0 m), ubicado en el sitio conocido como Alemania. El suelo es un Thipic entic Hapludolls, textura arcillosa, drenaje de moderado a imperfecto, pendiente de 6 a 32 % y un área de 5.07 ha (Ver figura 3)

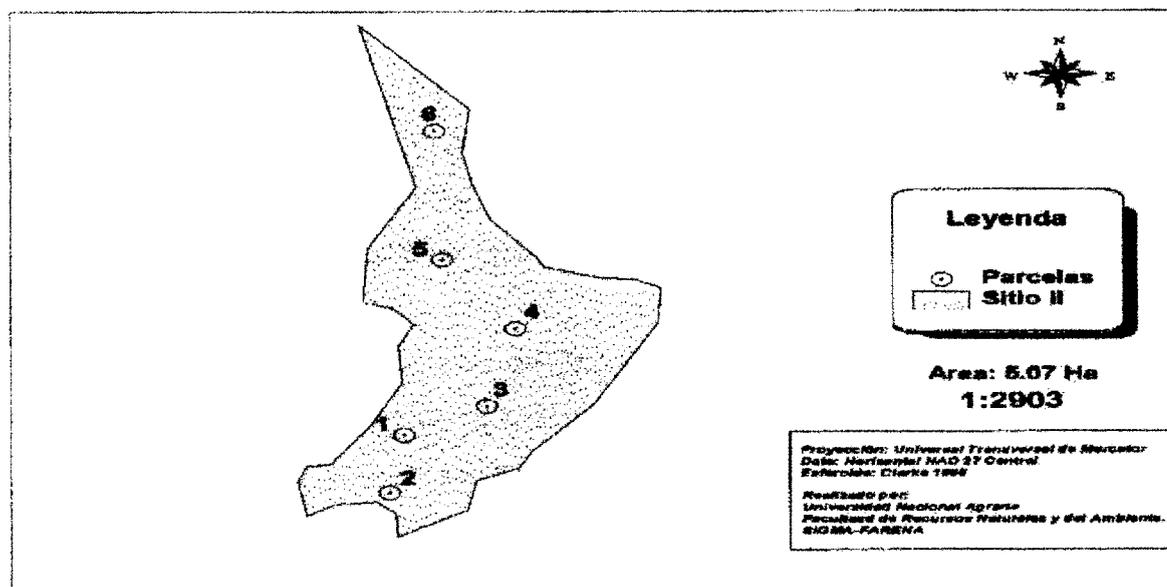
- **Tipología 3:** Café Catuai (0.93 \* 1.75 m) más guaba (*Inga vera*, Will ssp (Willd) Leon), 9-10 años (7.2 \* 9.0m) y nogal (*Juglan olanchanum*; Standl y L.Wms.), más de 50 años. El café más guaba tiene similar edad, ubicado en el sitio conocido como El Infierno. El suelo es un Thipic cumulic Argiudolls, textura franco arcillosa, pendiente de 45 a 70 % y un área de 8.8 ha (Ver figura 4).



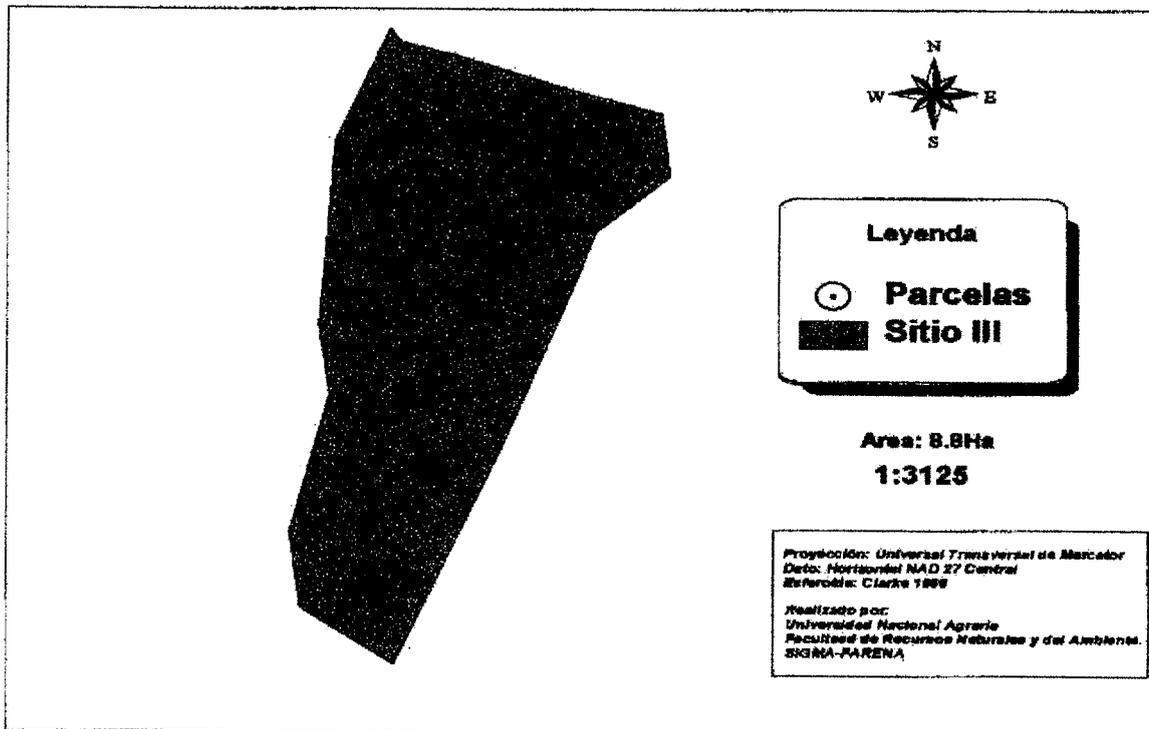
**Figura 1. Ubicación del área de estudio, hacienda Santa Muara Jinotega, 2002**



**Figura 2. Tipología 1, hacienda Santa Maura, Jinotega 2002**



**Figura 3. Tipología 2, hacienda Santa Maura, Jinotega 2002**



**Figura 4. Tipología 3, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002**

### **3.4 Diseño del muestreo**

Se seleccionaron tres tipología de cafeto de diferente densidades y edades de establecimiento, cada una se georeferenció y determinó el área, luego se estimó el numero de parcelas de observación con el criterio del 2 % de intensidad de muestreo, lo cual correspondieron para la tipología (1), 14 parcelas, tipología (2), 6 parcelas y tipología (3), 8 parcelas.

El tamaño de la parcela es de 250 m<sup>2</sup>, de forma circular con un radio de 8.92 m. El diseño de muestreo utilizado es un estratificado, dentro del estrato se ubicaron parcela de manera sistemática cada 50 m.

### 3.5 Elemento de muestreo

Dentro de cada parcelas se tomarón los siguientes elementos de muestreo:

- Hojarasca
- Suelo

#### 3.5.1 Hojarasca

Para la hojarasca se tomaron cuatro submuestra de cada parcela, utilizando marcos de 0.25 m<sup>2</sup> siguiendo la metodología propuesta por Marquez (1997), en forma modificada. Para los sistema de café, consiste en ubicar cuatro puntos en direcciòn Norte, Sur, Este y Oeste; a partir de un árbol de referencia y a dos distancia diferente y las otras al azar de las cuales se tomaron muestras correspondiente a cada direcciòn, se homogenizarón para obtener una muestra compuesta por parcela. Esta fueron enviadas al laboratorio para determinar la fraccion de carbono.

Para el cálculo de la biomasa en esta fuente se obtuvo el peso total húmedo (PhBt) proveniente de un 1 m<sup>2</sup> de cada parcela. Esto se llevó al laboratorio para su secado y determinación del contenido de humedad.

El porcentaje de humedad se estimó en la muestra en condiciones húmeda donde se obtuvo un peso y luego se extrajo el agua libre a capilaridad en un horno a 60° C, hasta alcanzar un peso constante y por medio de la siguiente fórmula se obtuvo el porcentaje de humedad:

$$CH = [(Phs - Pss)/Phs] * 100$$

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:

Para determinar el porcentaje de materia seca, se tomó el peso seco de la hojarasca, luego se trituro en un molino y se tamizó, se homogenizó la muestra. Se pesó la cápsula de aluminio e introdujo 10 g de muestra, colocándose posteriormente en un horno a 105° C hasta alcanzar un peso constante. El porcentaje de materia seca se determinó mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Materia seca} = [(C_m - P_c)/P_m] * 100$$

Donde:

C<sub>m</sub>: Cápsula más la muestra seca

P<sub>c</sub>: Peso de la cápsula (g)

P<sub>m</sub>: Peso fresco de la muestra (g)

**Para obtener biomasa seca se utilizó la siguiente formula:**

$$B = [(P \times MS (\%)]/100$$

Donde:

B : Biomasa (t)

P : Peso total fresco (t)

MS: Materia seca (%)

### **3.5.1.1 Carbono almacenado**

Para el cálculo del contenido de carbono almacenado en el componente hojarasca se obtuvo multiplicando la biomasa seca por la fracción de carbono mediante la ecuación que se presenta a continuación:

$$CA = Bs * Fc$$

Donde:

CA : Carbono almacenado

Bs : Biomasa seca

Fc : Fracción de carbono

Los valores obtenidos se dividieron por 1, 000, 000 para obtener toneladas. Estos valores se multiplicó por la proporción de carbono del componente. Los valores de carbono se expandieron a la hectárea y se expresa en ton/ha de C.

### **3.5.2 Suelo**

Se utilizó la metodología propuesta por Marquez (1997), en forma modificada la que consiste en tomar muestra de suelo en dirección Norte, Sur, Este y Oeste a partir de un árbol de referencia. Se extrajeron submuestra de suelo para cada nivel de profundidad (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm). Las muestras de suelo se obtuvieron en el área de muestreo de las hojarascas, extrayendo 3 submuestras de suelo por dirección para un total de 12 submuestra por parcela de 250 m<sup>2</sup>.

Cada submuestra obtenida por profundidad y dirección se colocaron en una cubeta para luego hacer una muestra compuesta por cada nivel de profundidad para un total de 3 muestras por parcela.

#### **3.5.2.1 Carbono almacenado**

El contenido de carbono en el suelo, se determinó por el método de Walkley y Black. El Laboratorio de suelo (UNA) reportó datos de porcentaje de carbono y el carbono contenido en suelo se calculó a partir de los valores de porcentajes de carbono (C), densidad aparente y profundidad con la siguiente ecuación:

$$CA = PC \times DA \times P$$

Donde:

CA: Carbono almacenado

PC: Carbono en el suelo (%)

DA: Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

P: Profundidad del suelo (cm)

El contenido de carbono será reportado en  $\text{kg}/\text{ha}$  y transformado a  $\text{ton}/\text{ha}$ .

Para determinar el contenido de carbono, es necesario conocer la densidad aparente del suelo. Para esto se utiliza el metodo del "Cilindro de volumen conocido" descrito por MacDicken (1997) como se presenta a continuacion:

1. Utilizar un cilindro de volumen conocido.
2. Preparar la superficie del suelo a la profundidad deseada.
3. Introducir el cilindro en el suelo sin comprimir el mismo.
4. Colocar la muestra en una bolsa plástica numerada y obtener peso húmedo ( $p_1$ ), para llevar al laboratorio y secar en un horno a  $105^\circ \text{C}$  hasta peso constante.
5. Despues de secar, pesar nuevamente ( $p_2$ ).
6. Calcular la densidad aparente:  $Da = \text{Peso seco} / \text{Volumen del cilindro}$ .

### 3.6 Valoración del servicio ambiental

El método de valoración económica a aplicarse es el de costo de oportunidad de un recurso que no tiene precio, puede ser estimado por el valor de otros usos alternativos sea agrícola, forestal u otros (Pearce y Turner (1992), citado por Segura (1999).

Para la valoración del servicio ambiental por almacenamiento de C, se tomó algunas de las experiencias obtenidas en Costa Rica, lo cual tomaron como referencia tres tipos de valoraciones (Ávila *et al*, 2001):

- 1) El valor utilizados en los proyectos internacionales (U\$ 10 ton)
- 2) El valor en los proyectos negociados por Implementación Conjunta en Costa Rica (U\$ 5 ton)
- 3) El valor real actual pagado de servicios ambientales vigente, estimado en U\$ 1.53 por ton.

### **3.7 Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza con el fin de encontrar si existen diferencia significativas de la fracción de carbono en las hojarasca y suelo, tanto dentro y entre las tipologías de cafeto. Así mismo se realizaron las pruebas comparaciones de medias de Tukey entre los tratamientos.

En referencia a los datos provenientes del cafeto, suelo y hojarasca por tipología, se determinó la varianza así como un valor promedio.

Adicionalmente de utilizar las pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas básicas, se utilizó el sistema SAS para manipular los datos obtenidos.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Contenido de carbono en la hojarasca depositada al suelo en tres Tipología de cafeto

El contenido de carbono encontrado en la hojarasca del suelo en tres tipologías de cafeto, muestran significancia ( $P < 0.05$ ). Las separaciones de medias para los diferentes tipos de cafeto, según Tukey, las tipologías 2 y 1 difieren estadísticamente en el contenido de C, mientras la tipología 3 no evidencia diferencia con las tipologías 1 y 2. (Cuadro 1 y 2, anexo 1a).

El mayor contenido de carbono en la hojarasca se encuentra en la tipología 2 con  $1.7 \text{ ton ha}^{-1}$  de C estructurada por Café Catimor (plantada  $1.0 * 1.66 \text{ m}$ ), asociado con guaba (*Inga vera*, *Will ssp (willd) Leon.*), 8-9 años ( $9.0 * 6.0 \text{ m}$ ). La edad de los árboles y cafeto está íntimamente ligada con la tasa de acumulación de biomasa aérea (ramas y hojas), que a su vez influencia en el aporte de carbono al suelo a través de la hojarasca.

En un segundo orden descendente en la aportación de hojarasca al suelo, está representada por la tipología 3 con  $1.2 \text{ ton ha}^{-1}$  de C Café Catuai ( $0.93 * 1.75 \text{ m}$ ) más guaba (*I. vera*, *Will ssp (willp) León.*), 9-10 años y nogal (*J. olanchanum*, *Stndl y L. Wms.*), más de 50 años. El café más guaba tiene similar edad y densidad diferente (Cuadro 2 y 3). El cafeto tiene la mayor densidad y la guaba la más baja con respecto a las otras tipologías, y su aportación de C indica ofrecer cantidades intermedias, debido al arreglo de densidades árbol-cafeto y la tasa de crecimiento de la especie y el volumen de acumulación de biomasa aérea. La cantidad de hojarasca encontrada en el suelo demuestra que en término comparativo, las especies de sombra son las responsables del mayor aporte de hojarasca al suelo en comparación al cafeto.

La tipología 1 con 0.97 ton ha<sup>-1</sup> de C; Café Pacamara (1.41 \* 1.73 m), combinado con cinco especies arbóreas (*I. vera*, *Will ssp (willd.) Leon*; *E. Fusca, Lour.*; *E. Poeppigiana(Walp) O.F. Cook.*; *C. reflexifolius H.B.K.*; *Solanum sp*), 3-4 años. Este tipo acumula menos cantidad de hojarasca al suelo, aun de contener la mayor diversidad y densidad de árboles por hectáreas, esto indica que la edad (3-4 años) está ligada en la cantidad de acumulación de biomasa aérea, así mismo el aporte de hojarasca al suelo. La especie más predominante en el sistema está la guaba (*Inga vera*), esta representa el 35.4 % (208 árboles por hectárea) de la población arbórea, el restante 64.6 % está compuesta por cuatro especie establecida temporal y permanente, esta tipología contiene un total de 552 árboles por hectáreas. Cuadro. 2 y 3. La alta densidad de árbol en este sistema, tiene como objetivo la de proteger al suelo de las pérdidas de agua en etapas temprana del desarrollo del sistema agroforestal de café.

Cuadro 1. Separaciones de medias de contenido de carbono en hojarasca en tres tipología de cafeto (Según Tukey), hacienda santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.

Tipología	N	Media ton ha <sup>-1</sup> de C
2	6	1.665 a
3	8	1.220 ba
1	14	0.966 b

Medias presididas con letras iguales no difieren estadísticamente, según la prueba de rangos múltiples de Tukey con P = 0.05.

Cuadro 2. Especies y densidades de árboles de sombra en tres tipología de Cafeto, hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.

Tipología	Nombre Local	Especie arbórea		Edad (años)	Distanciamiento (m)		%	Ptas ha <sup>-1</sup>	Tipo Sombra	
		N. común	N. Científico		Surco	Planta				
1	Canoas	Búcaro (poró)	<i>E. poeppigiana</i> , (Walp) O.F. Cook	3 a 4	6.7	5.25	13.00	76	P	
1	Canoas	Guaba	<i>I. vera</i> , Will ssp (Willd) Leon.	3 a 4	6.7	5.25	35.40	208	P	
1	Canoas	Helequeme	<i>E. fusca</i> , Lour	3 a 4	6.7	5.25	7.50	8	P	
1	Canoas	Copalchil	<i>C. reflexifolius</i> , H.B.K.	3 a 4	6.7	5.25	24.50	144	T	
1	Canoas	Cuernavaca	<i>S. especie</i>	3 a 4	6.7	5.25	19.70	116	T	
<b>Subtotal</b>								<b>100 %</b>	<b>552</b>	
2	Alemania	Guaba	<i>I. vera</i> , Will ssp (Willd) Leon.	8 a 9	9.00	6.00	100	176	P	
<b>Subtotal</b>								<b>100%</b>	<b>176</b>	
3	Infierno	Guaba	<i>I. vera</i> , Will ssp (Willd) Leon	8 a 9	7.20	9.00	98.70	153	P	
3	Infierno	Nogal	<i>J. olanchanum</i> , Standl y L.Wms	>50	-	-	1.30	2	P	
<b>Subtotal</b>								<b>100%</b>	<b>155</b>	

Cuadro 3. Densidad y edad de cafeto en tres tipología, hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.

Tipo	Variedad	edad	Distancia (m)		Área/ Planta	Densidad Postura (Ptas ha <sup>-1</sup> )	Total Plantas	
			Surco	Planta				
1	Pacamara	3 a 4	1.41	1.73	2.44	4,166	Doble	8,332
2	Catimor (Icafé 90)	8 a 9	1.01	1.66	1.68	5,988	Única	5,988
3	Catuai	9 a 10	0.93	1.75	1.63	6,145	Única	6,145

En general el aporte de la hojarasca en las tres tipología es bastante mínima, esta oscilan de 5.08 – 6.81 ton ha<sup>-1</sup> de C, lo que representa un contenido de carbono de 0.96 – 1.66 ton ha<sup>-1</sup> de C, estos datos corresponden antes de efectuarse la poda de árboles, por lo tanto sólo reflejan parcialmente la dinámica del mismo si se piensa que tal dinámica depende de factores tales como fenología de las especies arbórea y cafeto, época de podas de los árboles, etc. Las cifras encontradas están dentro del rango de otros estudios realizados a este tipo de sistemas agroforestal de café. La Asociación Nacional del Café de Guatemala (Anacafé 1998), muestran datos aproximados de 3.37 ton ha<sup>-1</sup> de C aportado por la hojarasca al suelo. Suárez de Castro y Rodríguez, citado; por Fassbender, (1987) reportan estudios de mantillos (hojarasca) en cafetales con *Inga sp* en Colombia, donde encontraron valores de 0.86 ton ha<sup>-1</sup> en cafetales jóvenes hasta 23.06 ton ha<sup>-1</sup> en cafetales viejos.

## **4.2 Contenido de carbono en diferentes profundidades del suelo y tipología de cafeto**

### **4.2.1. Profundidad**

Se consideró el registro de la variable profundidad del suelo, para evaluar la influencia que ejerce sobre el almacenamiento de carbono en el suelo.

El contenido de carbono a diferente profundidades del suelo, presentan significancia ( $P < 0.01$ ) para el tipo de cafeto 1 y 3, mientras que el tipo 2 no establece diferencia en el contenido C en las diferentes profundidad del suelo. (Cuadro 4 y anexo1b).

Los mayores valores de almacenamiento de carbono por niveles de profundidad se observa en café de mayor edad 9-10 años (Tipología 3) siguiéndole en orden, la edad de 8-9 años (tipología 2) y por último la de menor edad, 3-4 años (Tipología 1). (Figura 2).

En las profundidades evaluada (0-30 cm) se observa en las tres tipología que el 73-77 % del total de carbono se encuentra en los primeros 20 centímetros de profundidad del suelo y el restante 23-27 % se encuentra entre la profundidad de 20-30 cm., como es de esperarse el movimiento del humus en el perfil del suelo es de arriba hacia abajo y su concentración disminuye conforme aumenta la profundidad del suelo (Cuadro 4). La concentración de C en el suelo puede estar relacionado con la tasa de aporte de hojarasca, descomposición, tipo de suelo, drenaje, lluvia, temperatura y manejo del suelo.

Cuadro 4. Contenido de carbono en tres profundidades de suelo por tipología de cafeto, hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.

Profundidad (cm)	Contenido de carbono por tipología de cafeto (ton ha <sup>-1</sup> )								
	Tipología 1			Tipología 2			Tipología 3		
	Medias C	Acum.	%	Medias C	Acum.	%	Medias C	Acum.	%
	<i>(P&lt;0.01)</i>			<i>(NS)</i>			<i>(P&lt;0.01)</i>		
0 – 10	32.61 a	32.61	43.7	29.42 a	29.42	38	38.12 a	38.12	39.65
10 – 20	26.00 b	58.61	77.1	27.33 a	56.75	73.31	36.12 a	74.24	77.22
20 - 30	17.10 c	75.71	100	20.17 a	76.92	100	21.90 b	96.14	100

Medias presididas con letras iguales no difieren estadísticamente, según la prueba de rangos múltiples de Tukey con  $P < 0.01$  y  $0.05$

#### 4.2.2 Contenido total de carbono orgánico en el suelo por tipología

La Tipología 3 y 1 muestran diferencia ( $P < 0.05$ ) en el contenido total de C en el suelo encontrándose los mayores almacenamiento de C en la Tipología (3) de 9-10 años con 96.75 ton ha<sup>-1</sup> de C, mientras que la Tipología (2) de 8-9 años presenta un valor de 76.93 ton ha<sup>-1</sup> de C. La Tipología (1) de 3-4 años, con menor contenido de C presenta el valor de 75.72 ton ha<sup>-1</sup> de C. Las últimas dos tipología muestran estadísticamente un comportamiento similar en cuanto al almacenamiento de carbono a la profundidad evaluada de 0-30 centímetros. (Cuadro 5)

**Cuadro 5. Separaciones de medias de contenido de carbono en el suelo (0–30 cm) en tres tipología de cafeto (Según Tukey), hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.**

Tipología	N	Media Ton ha <sup>-1</sup> de C
3	8	96.75 a
2	6	76.93 ba
1	14	75.72 a

Medias presididas con letras iguales no difieren estadísticamente.

El alto contenido de carbono en el suelo en la Tipología 3, puede estar influenciado por un acumulado en el cambio de uso del suelo de bosque a plantaciones de cafeto en los últimos diez años. Los suelos de los bosques son grandes sumideros de carbono. Kanninen citando a Bolin y Sukumar (2000), entrega cifras de 123 ton ha<sup>-1</sup> de C almacenado en suelo de bosque tropical. El contenido de C, también va estar influenciado por la densidad de plantas de cafeto (6,145 plantas ha<sup>-1</sup>) de doble postura, la textura de suelo: franco arenoso, granular, profundos (mayores de 50 cm) y manejo adecuado de la plantación: podas, prácticas de conservación de suelo que permite mayor acumulación de carbono en los perfiles del suelo.

Las tipologías 1 y 2 muestran un comportamiento similar en el almacenamiento de C, esto se explica que los suelos son arcillosos y de baja capacidad de infiltración de agua que promueva el transporte interno del humus en la parte inferior del suelo y su estructuración. Por otro lado la tipología dos esta influenciado por efecto de la edad (8-9 años), mientras que el tipo uno, tiene efecto de cambio de uso del suelo recientemente (3-4 años) de pastizales a agrosistema de café. Al efectuarse comparaciones indican que los efectos de almacenamiento de carbono se deben a varios factores: edad de las especies, textura de suelo, cambio de uso de suelo, manejo del cultivo, etc.

La edad de la especie repercute en un mayor desarrollo de las raíces y mejora la estructuración del suelo, así como también en el aporte de biomasa aérea al suelo, tipo de vegetación existente. Los bosques y los pastizales son grandes potenciales en el almacenamiento de C en el suelo. Ávila *et al.* (2001) reporta C almacenado (0-25 cm) en pasto brachiaria a pleno sol por la cantidad de 66 ton ha<sup>-1</sup> de C, pasto retana a pleno sol 84 ton ha<sup>-1</sup> de C y Brachiaria-eucalipto (3 años) 87 ton ha<sup>-1</sup> de C.

Los valores encontrados en los diferentes tipologías de cafeto, están por debajo a estudios realizado por Ávila *et al.* (2001) en diferentes sistemas agroforestal o monocultivo de café en Costa Rica, donde encontró valores de almacenamiento de C en cantidad de 139 ton ha<sup>-1</sup> para el sistema Café-eucalipto (4 años), 161 ton ha<sup>-1</sup> para Café-eucalipto (6 años), 184 ton ha<sup>-1</sup> para Café-poró (más de 10 años) y 153.9 ton ha<sup>-1</sup> para café a pleno sol (0-25 cm). Obviamente estos resultados dependen de las condiciones de cada sitio (clima, suelo, tipología de cafeto, manejo, etc.). Ávila *et al.* (2001) al comparar sus datos encontrados en Costa Rica, indica que fueron semejantes a los reportados en la literatura respecto a sistemas agroforestales con café en varios lugares de América Central (Fassbender *et al.* 1985), Fournier (1996), Márquez (1997), Alvarado *et al.* (1999), en Turrialba, Costa Rica, se encontraron 164 ton ha<sup>-1</sup> de C almacenado en el suelo (0-45 cm) de Sistema Agroforestal de Café (SAF).

En Guatemala (ANCAFE, 1998), estudio realizado sobre la Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agrosistema café, encontró valores similares a lo nuestro donde reporta cantidades de C orgánico en el suelo que oscilan de 47.18 a 67.60 ton de C en diferente niveles altitudinales y se observa el incremento de almacenamiento de C en el suelo conforme aumenta la altitud.

Ingram y Fernández (1999), citado por la FAO (2000) y Acuña y Oviedo (2001); indican que el secuestro de carbono estará controlado por un número de factores como la composición mineral del suelo, su textura, profundidad, densidad

aparente y la aireación. La magnitud a la que el nivel potencial del carbono del suelo puede llegar, será controlado por factores limitantes como la producción de biomasa aérea y subterránea, por los efectos directos del clima en los procesos del suelo y por los efectos indirectos del clima en la producción de biomasa. Los niveles actuales del almacenamiento de carbono en el suelo serán controlados por factores de reducción entre los cuales están las pérdidas directas por erosión, lixiviación y por las causas del manejo de residuos de las cosechas que puedan limitar la cantidad de carbono que entran en el suelo.

#### **4.3 Contenido total de carbono en los diferentes depositos de almacenamiento y tipologías de café**

El almacenamiento de carbono en las diferentes tipologías, muestra según la prueba de Tukey ( $P < 0.01$ ) la evidencia para separar las tipologías de estudio en dos categorías estadísticas. La tipología tres reportó en promedio la mayor cantidad de carbono almacenado con  $98.22 \text{ ton ha}^{-1}$  de C siguiéndole en orden el tipo dos con  $78.66 \text{ ton ha}^{-1}$  de C y por último el tipo uno con  $76.96 \text{ ton ha}^{-1}$  de C, las últimas dos tipologías muestran estadísticamente igual comportamiento en el almacenaje de carbono.

Del total de C almacenado, el suelo mineral es el depósito donde se encuentra la mayor cantidad de C, este representa el 98.76-97.89 % ( $76 - 97 \text{ ton ha}^{-1}$  de C), siguiéndole en orden el depósito de hojarasca que oscila de 1.24 - 2.11 % ( $0.96 - 1.66 \text{ ton ha}^{-1}$  de C).

La media del total de C almacenado en el suelo por el agrosistema cafetalero es de  $90 \text{ ton ha}^{-1}$  de C. El rango de almacenamiento va desde  $76.96$  toneladas en la tipología uno hasta  $98.22$  en la tipología tres. Estos valores están dentro de lo reportado por ANACAFE (1998).

Cuadro 6. Contenido de carbono en los diferentes deposito de Almacenamiento, hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.

Componente	Tipología de cafeto						Total	Media	%
	1		2		3				
	ton ha <sup>-1</sup>	%	ton ha <sup>-1</sup>	%	ton ha <sup>-1</sup>	%			
Hojarasca	0.96	<b>1.25</b>	1.66	<b>2.11</b>	1.22	<b>1.24</b>	3.84	1.28	<b>1.24 – 2.11</b>
Suelo	76	<b>98.75</b>	77	<b>97.89</b>	97	<b>98.76</b>	250	83	<b>98.76 - 97.89</b>
<b>Totales</b>	<b>76.96</b>	<b>100</b>	<b>78.66</b>	<b>100</b>	<b>98.22</b>	<b>100</b>	<b>253.84</b>	<b>84.28</b>	<b>100</b>

#### 4.4 Valoración económica del servicio ambiental por almacenamiento de carbono

Una vez estimada la cantidad promedio de carbono que se puede mantener almacenada permanentemente, el proceso de valoración es fácil, en concepto. En la práctica, sin embargo, la valoración se complica por el hecho de que todavía no existe un mercado abierto, líquido y estable para el secuestro de carbono (Ramírez y Gómez, 2002).

Si tomamos en cuenta que a nivel internacional se han fijados precios con amplio rango por t de carbono, esta pueden oscilar desde de US\$ 1.535 hasta US\$ 31 por ton ha<sup>-1</sup> de C, los beneficios de estos recursos serán un atractivo económico y ecológico a los productores de café.

En Costa Rica (Ávila *et al*, 2001) realizó valoración económicas del servicio ambiental por almacenamiento de carbono, utilizaron los criterios del IPCC (2000) y lo estipulado en la Ley forestal 7575 (Costa Rica). Se tomaron como referencia tres tipos de valoraciones: 1) el valor utilizados en los proyectos internacional (10 U\$/ton); 2) el valor en los proyectos negociados por Implementación Conjunta en Costa Rica (5 U\$/ton); 3) valor real actual pagados a los productores nacionales, según el pago de servicio ambiental vigente estimado en 1.53 U\$ ton<sup>-1</sup>.

Montoya *et al.* (1995) De Jong *et al.* (1998) citado por Ordóñez (1999), consideraron precios entre U\$ 5 y 10 por tonelada métrica de carbono por concepto de captura de carbono como servicio ambiental en proyectos forestales

El cuadro 7 presentan los promedios de contenido de carbono y el valor económico del servicio ambiental (almacenamiento C) que brinda cada tipología. El mayor valor económico agregado en concepto de almacenamiento de carbono lo representa la tipología 3, superando la tipología 2 y 1.

Cuadro 7. Promedios de carbono almacenado y su valor económico por tipologías de estudio, hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua 2002.

Tipología	ton ha <sup>-1</sup> de C Almacenado	Precio U.S. \$/tM		
		1.53	5.00	10.00
1	76.96	117.75	384.80	769.30
2	78.66	120.35	393.30	786.60
3	98.22	150.28	491.10	982.20
<b>Promedio</b>	<b>84.28</b>	<b>128.95</b>	<b>421.40</b>	<b>842.80</b>

De acuerdo a las edades y tipología de cafeto, se obtiene un promedio de almacenamiento de 84.28 ton ha<sup>-1</sup> de C, el total de área de las tres tipología es de 30 ha, lo que representa un total de 2,528.40 ton de C con un valor de U\$ 12,642 si se estima a un precio reservado de U\$ 5.00 la ton ha<sup>-1</sup> de C.

Este nuevo beneficio ambiental del sistema agroforestal de café, como es el almacenamiento de carbono tiene importancia económica, solo si el valor del servicio ambiental de almacenamiento de carbono prestado se transfiriera en su mayoría al productor.

## V. CONCLUSIONES

- El depósito hojarasca para el almacenamiento de C en las tres tipología estudiada, el tipo dos fue la que obtuvo la mayor cantidad de carbono con 1.67 ton ha<sup>-1</sup> de C, seguido de las tipologías tres y uno con 1.22 y 0.92 ton ha<sup>-1</sup> de C, respectivamente.
- Con respecto al suelo mineral como depósito de C, se determinó que la mayor cantidad de C almacenado de acuerdo a las tres tipología de cafeto se encontró en tipología 3 con 97 ton ha<sup>-1</sup> de C, seguida de las tipología 2 y 1 con 77 y 76 ton ha<sup>-1</sup> de C, respectivamente.
- La mayor cantidad de C almacenado en los tres depósito del suelo corresponde a la tipología 3 con 98.22 ton ha<sup>-1</sup> de C siguiéndole la 2 y 1 con 78.86 y 76.96 ton ha<sup>-1</sup> de C respectivamente,
- En las tipologías de estudio el componente suelo representa el mayor contenido de C almacenado con 98.76 - 97.89 % seguido de la hojarasca con 1.24 – 2.11%.
- La biomasa y contenido de carbono va estar influenciado por la edad, la densidad y especie de árboles de sombra y cafeto.
- El promedio total de carbono en el suelo es de 84.28 ton ha<sup>-1</sup> de C, si se estima un costo moderado de U\$ 5.00 dólares por ton ha<sup>-1</sup> de C, obtenemos U\$ 421.40 ha<sup>-1</sup>. para un total (30 ha) de U\$ 12,642 acumulado en 11 años, lo que representa un ingreso anual de U\$ 1,149.27 en toda el área de estudio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Continuar estudio que contemple las mediciones de biomasa, en sistemas agroforestales de café, dado que la determinación precisa de esta asegura una estimación real de la cantidad de carbono almacenado.
- Realizar estudios comparativos con otros sistemas productivos que capturen y almacenen carbono.
- Es importante realizar valoraciones que incluyan todos los servicios ambientales que producen los sistemas agroforestales con el fin de atribuir al propietario un monto atractivo para que maneje sosteniblemente el sistema.
- Brindar una mayor información a los productores sobre los sistemas agroforestales de café, no solo con el fin de obtener beneficio en la producción, si no de los diversos servicios ambientales.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, V. G; Oviedo, S. A. 2001. Estudio sobre fijación de carbono en plantaciones de Pinus oocarpas de 11 años de edad, en los sitios quinta Buenos Aires Estelí y Aurora, Nueva Segovia, Trabajo de diploma UNA. Managua, Nicaragua 64p.
- ANACAFE.1998. Cuantificación Estimada del Dióxido de Carbono Fijado por el Café en Guatemala. 9º Congreso de caficultura nacional. Guatemala.
- Alfaro, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistema forestales. Revista forestal Centro Americana No 19 , Abril – junio 1997.
- Andrade Castañeda Hernán J. Dinámica Productiva de Sistema Silvopastoril con Acacia mangiun y Eucalyptus deglupta en el Tópico Húmedo. Escuela de postgrado, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1999.
- Ávila, G. 2001. Almacenamiento, Fijación de Carbono y Valoración de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales en Costa Rica. Avance de Investigación. Agroforesterías en las Américas Vo. 8, No. 30 2001. CATIE, Costa Rica.
- Alexander M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo, 2ª ed. México 18, D.F. Pag.491.
- Andrasko, K,1999. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques, estado actual de los conocimiento. UNASYLVA, 41; 163 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer FAO, Motes 134. Roma. 55 p.
- Brown, S; Lugo, A. 1992. aboveground biomass estimate for tropical moist forests of the brazilian amazon. Interciencia 17 (1): 8 – 18.
- Brown, S; Gillespie, A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. Forest science 35 (4): 881 – 902.
- Brown, S. 1995. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emission. IPCC. 24. p 776 – 797.
- CATIE, 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono N° 27. Revista forestal Centro Americana.
- Coste R. El Café. Editorial Blume, Barcelona 1968. 263 p.

- Cubero, J ; Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones (*Gmelina arborea*), Teca (*Tectona grandis*, L, F.) y Pochote (*Bombacopsis quinata*. Jacq) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.
- Carranza, C. F; Bruce, A. A; Echeverria, J; Tosi, J; Mejias, R. 1996. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de Costa Rica. Centro Científico Tropical/ODAMINAE. San José Costa Rica.77 p.
- Cline, W. R. 1992. The economic of global warming. Institute for international economics. Washington D. C.
- Duncan, P; Jorgen, B; Bruenig, F ; Burguess, P; Cabarde, B; Cassells, D; Douglas, J; Gilmour, D; Hardcastle, P; Hartshorn, G; Kaimowitz, D; Kishor, N; Leslie, A; Palmer, J; Putz ,F; Salleh,N; Sizer, N; Synott, T; Wadsworth, F; Whitmore, T, 1999. No habrán bosques sin manejo; Sustentación de ecosistemas forestales bajo condiciones iniciales. Actualidad forestal tropical, G, (4).10 p.
- Dixon, A; Scura, F; Carpenter, A; Sherman, B. 1994. Análisis económico de impacto ambiental. Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico. Turrialba, CATIE. 249 P.
- Dixon John A. *et al.* Evaluación Económica del Servicio Ambiental de Almacenamiento de Carbono : El caso de un bosque húmedo tropical bajo diferentes estrategias de manejo sostenible. Estudio de caso versión latinoamericana.
- Dixon, R. K. 1995 Agroforestry systems : sources or sink of greenhouse gases ? Agroforestry Systems 31: 99 – 116.
- Dixon, K. 1995. Sistemas Agroforestales y gases de invernadero. Agroforesteria de las Américas. Julio – Septiembre 2 (7) 22 - 26.
- Fassbender H.W. 1987. Modelos Edafológico de Sistema Agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 475p.
- Fassbender, H. W; Alpizar, L; Heuvelop, J; Enriquez , W; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) o poró (*Erytrina poeppigiana*), en Turrialba Costa Rica. I Biomasa y Reservas Nutritivas. Turrialba. 35: 233 – 242.
- Fassberder, H. W. 1982. Química de suelo con énfasis en suelo de América Latina. San José, Costa Rica.

- Fenzl, N. 1988. Nicaragua: geografía, clima, geología, hidrogeología. Belém, UFPA/INETER/INAN. Managua, Nicaragua. 1988.
- Finegan, B; Delgado, D. 1997. Efecto del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del Noroeste de Costa Rica. Cambio en la riqueza y composición de la vegetación, Informe técnico N° 298, Unidad de bosque naturales, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Fankhauser, S; Tol, R. 1995. Recent advancements in the economic assessment of climate change costs. Center for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE) and brije universities, amterdam. CSERGE – Working paper No. 31. 38 p.
- FAO. 2000. LA contribución forestal para la mitigación del cambio climático. In reunión la contribución forestal para la mitigación del cambio climático.(4 – 6 de Octubre 1999, Tegucigalpa, Honduras) Boletín Informativo de los programas forestales nacionales. 2(4): 17 – 18.
- Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Cambio Climático, Segundo informe de evaluación, PNUMA – UNEP 1995.
- Kursten, E. and P., Burschel, 1993. CO2- Mitigation by Agroforestry Water, Air and Soil. Pollution, 533-544 P.
- Kyrlunk, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industria forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. Revista internacional de sivicultura e industria forestal, Unasilva 41(163)4 1: 2 – 15.
- López Alejandro; schlonvoigt Andrea; Ibrahim Mamad; Kleinn Chistoph; Kanninen Markku. 1999. Cuantificación del Carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Revista Agroforestería en las Américas. Vol 6 N°23. CATIE. Turrialba Costa Rica . Pag. 51 - 53
- Locatelli, B. 1999. Bosques tropicales y ciclo del carbono traducido por el ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente. Proyecto cambio climático. Programa ambiental Nicaragua Finlandia.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Nicaragua. Año de referencia 1994. Proyecto Primera Comunicación Nacional. PNUD-NIC/98/ G 31- MARENA. Managua, Nicaragua, Marzo, 2001.

- Márquez, L. 1997. Validación de campo de los métodos del instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Guatemala. Universidad del valle de Guatemala. 45 p.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) 1999. Guía para aprender el cambio climático en Nicaragua. Programa de apoyo a la implementación de la convención marco de cambio climático y protocolo de Montreal. Managua, Nicaragua, 69 p.
- Muschler Reinhold G. Arboles en Cafetales. Modulo de enseñanza agroforestal, Materiales de enseñanza No 45. Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica 1999. 139 p.
- Matteucci D. Silvia, Colma Aída. Metodología Para el Estudio de la Vegetación. Secretaria general de la Organización de los Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo científico y Tecnológico Washington, D.C. 1982. 163 p.
- Macdiken, K. G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects; Winrock International institute for agricultural development. 87 p.
- Niskanen, A; Saastamoinen, O; Rantala, T. 1996. Economic impacts of carbono sequestration in reforestation: Example from boreal and moist tropical conditions. Research article. *Silva fennica* 30 (2 – 3): 269 – 278.
- Ordóñez, J. 1999. Captura de carbono en bosque templado: el caso de San Juan nuevo, Michoacán: primera edición 81p.
- Padilla, H., 1981. Glosario práctico de términos forestales. 1ª ed. México, 99 p.
- PNUD-NIC/98/G31-MARENA.2001. Primera comunicación nacional sobre cambio climático. Proyecto primera comunicación nacional en repuesta a sus obligaciones ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Managua. 125 P.
- Ramírez, O. A; Gomez, M. 1999. Estimación y valoración economica del almacenamirnto de carbono. *Revista Forestal Centroamericana*. 2(27): 17 – 22.
- Segura, M. A. 1999. Valoración del Servicio de Fijación y Almacenamiento. de Carbono en Bosque Privado en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica, Escuela de postgrado, CATIE. Turrialba Costa Rica

Segura, M. A. Almacenamiento y Fijación de Carbono en Bosque de bajura de la Zona Atlántica de Costa Rica. Comunicación técnica

Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de la Ciencia y el Mar. Universidad Nacional. Tesis Licenciatura. Heredia, Costa Rica. 147 p.

Stella, R. 1999. La agricultura en Argentina: Alternativa de manejo forestal. *Bosque y Desarrollo* Abril. 20 – 21: 91 – 94 p

Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Manual de Procedimiento para Inventario de Carbono en Ecosistema Forestal. Valdivia, Chile. Enero 2001 Pág. 1-9.

WHRC.1998. Global Carbon Cycle. The Wood Hole Research Center. (<http://www.Whrc.Org/carbon/carbon/Html>).

Winjunm, J. K; Dixon, R. K; Schroeder. 1992. An assessment of forest management practices for sequestration of carbon: I. Estimating Global Potential, U.S. EPA, Environmental Research Laboratory Corvallis, Oregon (EUA).

# IX. ANEXOS

Anexo 1a. Análisis de varianza para el contenido de carbono en la hojarasca en las tres tipologías de estudio

<b>FUENTES</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F C</b>
Modelo	2	2.0689918	1.03450	3.7824
Error	25	6.8376261	0.27351	Prob > F
C. Total	27	8.9066180		0.0367

Anexo 1b . Análisis de Varianza para el contenido de carbono en el suelo en las tres tipologías de estudio.

<b>FUENTES</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F C</b>
Modelo	2	2447.817424	1223.908712	4.49
Error	25	6815.319276	272.612771	Pr>F
C. Total	27	9263.136700		0.0216

Anexo 2a. Carbono almacenado en el Suelo a una profundidad de 0 – 10 cm.

Tipología 1

Altitud=1050 m.s.n.m.

Área= 25ha

Nº Parcela	Nivel (10 cm)	Da Prom. (g/cm <sup>3</sup> )	CA (%)	CA (Ton/ha)
1	10	0.93	4.28	39.804
2	10	0.885	3.11	27.5235
3	10	0.8775	4.86	42.6465
4	10	1.06	2.98	31.588
5	10	0.8425	3.11	26.20175
6	10	0.9475	3.57	33.82575
7	10	0.9525	3.01	28.67025
8	10	0.9	4	36
9	10	0.9375	3.75	35.15625
10	10	0.9275	3.37	31.25675
11	10	0.8925	3.44	30.702
12	10	0.995	2.59	25.7705
13	10	0.93	3.6	33.48
14	10	1.11	3.06	33.966
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>0.94196429</b>	<b>3.48071429</b>	<b>32.6136607</b>

Anexo 2b. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 10 – 20 cm.

Tipología 1

Nº Parcela	Nivel (20 cm)	Da Prom. (g/cm <sup>3</sup> )	CO (%)	CA (Ton/ha)
1	10	0.94	3.78	35.53
2	10	0.90	3.17	28.37
3	10	0.93	4.06	37.86
4	10	1.09	1.84	20.10
5	10	0.95	2.64	25.15
6	10	1.00	2.95	29.35
7	10	1.11	1.57	17.35
8	10	0.98	2.34	22.93
9	10	1.03	2.34	24.10
10	10	0.96	3.05	29.20
11	10	0.96	1.61	15.46
12	10	1.11	2.21	24.53
13	10	1.02	2.47	25.07
14	10	1.18	2.47	29.02
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>1.01</b>	<b>2.61</b>	<b>26.00</b>

Anexo 2c. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 20 – 30 cm en tipología 1.

Nº Parcela	Nivel (30 cm)	Da Prom. (g/cm <sup>3</sup> )	CO (%)	CA (Ton/Ha)
1	10	1.01	3.26	32.93
2	10	0.93	3.26	30.24
3	10	0.95	1.07	10.17
4	10	1.18	1.5	17.74
5	10	0.99	2.46	24.42
6	10	0.99	2.15	21.23
7	10	1.15	0.36	4.13
8	10	1.04	1.57	16.29
9	10	1.10	1.23	13.47
10	10	0.99	1.09	10.79
11	10	0.99	1.06	10.52
12	10	1.18	0.9	10.62
13	10	1.05	2.1	22.00
14	10	1.25	1.19	14.88
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>1.06</b>	<b>1.6571</b>	<b>17.10</b>

Anexo 2d. Carbono almacenado en el suelo a diferentes profundidades

Tipología 1

Nivel (cm)	Da Prom. (g/cm <sup>3</sup> )	CO (%)	CA (Ton/ha)
10	0.94	3.48	32.61
20	1.01	2.61	26.00
30	1.06	1.66	17.10

Anexo 2e. Carbono almacenado en el Suelo 0 – 10 cm en tipología 2  
Área 5.17 ha.

Nº Parcela	Nivel (cm)	Da Prom. (g/cm <sup>3</sup> )	CO (%)	CA (tMC/ha)
1	10	0.7925	5.11	40.50
2	10	0.825	3.57	29
3	10	0.95	3.38	32
4	10	0.97	3.69	36
5	10	0.965	2.09	20
6	10	0.9175	2.03	19
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>0.90</b>	<b>3.31</b>	<b>29</b>

Anexo 2f. Carbono almacenado en el Suelo a una profundidad de 10 – 20 cm en tipología 2

Nº Parcela	Nivel (cm)	Da Prom.	CO	CA
		(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(tMC/ha)
1	10	0.8525	4.43	38
2	10	0.945	3.38	32
3	10	1.035	2.34	24
4	10	1.1325	2	23
5	10	0.9675	2.61	25
6	10	0.9425	2.37	22
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>0.98</b>	<b>2.86</b>	<b>27</b>

Anexo 2g. Carbono almacenado en el Suelo a una profundidad de 20 – 30 cm en tipología 2

Nº Parcela	Nivel (cm)	Da Prom.	CO	CA
		(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(tMC/ha)
1	10	1.005	2.34	24
2	10	1.1175	3.6	40
3	10	1.095	0.98	11
4	10	1.1825	1.66	20
5	10	1.085	1.23	13
6	10	1.055	1.26	13
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>1.09</b>	<b>1.85</b>	<b>20</b>

Anexo 2h. Carbono almacenado en el Suelo a diferente profundidad en tipología 2

Nivel (cm)	Da Prom. (g/cm <sup>3</sup> )	CO (%)	CA (tMC/ha)
10	0.90	3.31	29
20	0.98	2.86	27
30	1.09	1.85	20

Anexo 2i. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 0 – 10 cm en tipología 3  
 Área 13.10

Nº Parcela	Nivel (cm)	Da Prom.	CO	CA
		(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(tMC/ha)
1	10	0.96	4.08	38.99
2	10	0.95	4.34	41.01
3	10	0.96	2.43	23.41
4	10	0.85	5.45	46.42
5	10	0.88	4.45	39.27
6	10	0.95	4.08	38.94
7	10	0.89	4.5	39.97
8	10	0.96	3.99	38.22
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>0.92</b>	<b>4.17</b>	<b>38.28</b>

Anexo 2j. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 10 – 20 cm en tipología 3

Nº Parcela	Nivel (cm)	Da Prom.	CO	CA
		(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(tMC/ha)
1	10	1.06	3.24	34.44
2	10	0.97	3.42	33.29
3	10	1.12	2.5	27.93
4	10	0.97	3.95	38.23
5	10	0.94	4.27	40.28
6	10	1.10	3.61	39.83
7	10	1.04	3.22	33.64
8	10	1.01	4.14	41.89
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>1.03</b>	<b>3.54</b>	<b>36.19</b>

Anexo 2k. Carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 20 – 30 cm en tipología 3

Nº Parcela	Nivel (cm)	Da Prom.	CO	CA
		(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(tMC/ha)
1	10	1.17	0.96	11.27
2	10	1.06	2.56	27.20
3	10	1.25	0.82	10.22
4	10	1.07	1.96	21.03
5	10	0.93	2.08	19.42
6	10	1.14	2.73	31.23
7	10	1.14	2.21	25.18
8	10	1.05	2.96	31.22
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>1.10</b>	<b>2.04</b>	<b>22</b>

Anexo 2m. Carbono almacenado en el suelo a diferente profundidad en tipología 3

Nivel (cm)	Da Prom.	CO	CA
	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(tMC/ha)
10	0.92	4.17	38.28
20	1.03	3.54	36.19
30	1.10	2.04	22.10

Anexo 3a . Base de calculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 1.

Nº Parcela	PhBt (g)	MS (%)	Bs (g)	BS (tM)	C (%)	FC	Ca (tMC/M <sup>2</sup> )	CA (tMC/ha)
1	665	88.67	589.63	0.00059	21.3	0.21	0.00013	1.26
2	570	87.67	499.70	0.00050	20	0.20	0.00010	1.00
3	380	85.58	325.22	0.00033	19.3	0.19	0.00006	0.63
4	284	92.80	263.55	0.00026	17.4	0.17	0.00005	0.46
5	526	88.75	466.83	0.00047	16.7	0.17	0.00008	0.78
6	397.18	93.60	371.76	0.00037	22.6	0.23	0.00008	0.84
7	179.21	90.83	162.78	0.00016	30.3	0.30	0.00005	0.49
8	313.9	95.46	299.65	0.00030	12.9	0.13	0.00004	0.39
9	640.94	75.67	484.98	0.00048	19.3	0.19	0.00009	0.94
10	965	90.83	876.54	0.00088	25.8	0.26	0.00023	2.26
11	620	93.64	580.55	0.00058	23.6	0.24	0.00014	1.37
12	539	97.36	524.79	0.00052	20	0.20	0.00010	1.05
13	522	88.33	461.10	0.00046	16.1	0.16	0.00007	0.74
14	514	93.00	478.02	0.00048	27.7	0.28	0.00013	1.32
<b>Promedio</b>	<b>508.3</b>	<b>90.16</b>	<b>456.08</b>	<b>0.000456</b>	<b>20.93</b>	<b>0.21</b>	<b>0.000095</b>	<b>0.97</b>

PhBt= Peso húmedo total de Biomasa,  
%MS= % Materia Seca(CM-PC)/PM\*100

BS= Biomasa seca (PhBt\*%MS)/100  
FC= Fracción de Carbono

Anexo 3b. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 2.

Nº Parcela	PhBt (g)	MS (%)	Bs (g)	BS (tM)	C (%)	FC	Ca (tMC/M <sup>2</sup> )	CA (tMC/ha)
1	625	86.00	537.50	0.0005	26.4	0.26	0.00014	1.42
2	767	96.91	743.29	0.0007	28.7	0.29	0.00021	2.13
3	338	88.82	300.21	0.0003	27	0.27	0.00008	0.81
4	609	94.45	575.23	0.0006	20.6	0.21	0.00012	1.18
5	823	86.91	715.26	0.0007	26.4	0.26	0.00019	1.89
6	922	91.36	842.37	0.0008	30.4	0.30	0.00026	2.56
<b>Promedio</b>	<b>680.67</b>	<b>90.74</b>	<b>618.98</b>	<b>0.00062</b>	<b>26.58</b>	<b>0.27</b>	<b>0.00017</b>	<b>1.67</b>

PhBt= Peso húmedo total de Biomasa,  
%MS= % Materia Seca(CM-PC)/PM\*100

BS= Biomasa seca (PhBt\*%MS)/100  
FC= Fracción de Carbono

Anexo 3c. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca de la tipología 3.

Nº Parcela	PhBt (g)	MS (%)	Bs (g)	BS (tM)	C (%)	FC	Ca (tMC/M <sup>2</sup> )	CA (tMC/ha)
1	985.83	91.72	904.15	0.000904	13.8	0.138	0.0001248	1.25
2	841.53	90.47	761.35	0.000761	22.3	0.223	0.0001698	1.70
3	724.27	91.79	664.83	0.000665	20.4	0.204	0.0001356	1.36
4	336.95	94.70	319.09	0.000319	21	0.21	6.701E-05	0.67
5	354.23	94.52	334.81	0.000335	62.1	0.621	0.0002079	2.08
6	408.01	94.99	387.57	0.000388	20.4	0.204	7.906E-05	0.79
7	425.62	94.30	401.36	0.000401	20.4	0.204	8.188E-05	0.82
8	404.57	94.23	381.23	0.000381	28.6	0.286	0.000109	1.09
<b>Promedio</b>	<b>560.13</b>	<b>93.34</b>	<b>519.30</b>	<b>0.000519</b>	<b>26.13</b>	<b>0.26</b>	<b>0.000122</b>	<b>1.22</b>

PhBt= Peso húmedo total de Biomasa,

BS= Biomasa seca (PhBt\*%MS)/100

%MS= % Materia Seca(CM-PC)/PM\*100

FC= Fracción de Carbono

Anexo 3d. Base de cálculo del carbono almacenado en la hojarasca en tres tipologías

Tipología	PhBt (g)	% MS	BS (g)	BS (Ton)	% C	FC	Ca (TonC/M <sup>2</sup> )	CA (TonC/ha)
1	508.3	90.16	456.08	0.000456	20.93	0.21	0.000097	0.97
2	680.67	90.74	618.98	0.000619	26.58	0.27	0.000167	1.67
3	560.13	93.34	519.30	0.000519	26.13	0.26	0.000122	1.22