

Entre los sistema estudiado, las plantaciones de pino presenta la mayor cantidad de carbono fijado en su diferentes fuente 210.26 tC ha⁻¹, siguiéndole el sistemas de plantaciones con fines energético con 161.3 tC ha⁻¹, luego el sistema de café ecoforestal con 144.09 tC ha⁻¹, y por último el bosque seco con manejo de regeneración natural con 106.74 tC ha⁻¹. La fuente de suelo, representa el 75.26 – 87.37 % de carbono almacenado en el sistema, siguiéndole, la biomasa aérea con 9.74 a 20.8 %, la biomasa de la raíz con 1.66 a 2.98 % y por ultimo la hojarasca y hierbas 0.46 a 2.15 %.

presented the greater amount of carbon fixed to its different source 210,26, following the energetic plantations with aims power with 161,3 tC ha⁻¹, soon the system of ecoforestal coffee with 144,09 tC ha⁻¹, and finally the dry forest with handling of natural regeneration with 106,74 tC ha⁻¹. The ground source, represents the 75,26 - 87,37 % of carbon stored in the system, following the aerial biomass with 9,74 to 20,8 %, the biomass by the root with 1,66 to 2,98 % and the leaf litter and grass with 0,46 to 2,15 %.

La fijación de carbono es un proceso fisiológico realizado por las plantas que permite la captura del carbono de las moléculas de CO₂ y su conversión en biomasa vegetal. Este proceso es de gran relevancia pues contribuye a evitar el recalentamiento global y son casualmente las plantaciones nuevas, que caracterizan a los sistemas productivos promovidos por el Programa Socio ambiental Forestal (POSAF), las que mayormente contribuyen a la fijación del carbono.

La determinación del carbono fijado en los sistemas productivos es importante en vista de que el comercio de carbono puede convertirse en un ingreso adicional para los productores, y máxime si consideramos que los costos de fijación del carbono en los países en desarrollo son mucho menores en comparación con los países industrializados (Castro, 2002) y las oportunidades que plantean diferentes organismos a nivel mundial soportados por la firma del Protocolo de Kyoto que compromete a los países industrializados (los firmantes) a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a niveles que disminuyan las afectaciones causadas por el hombre.

El objetivo general fue la de cuantificar el contenido de carbono en la biomasa aérea y en el suelo, en la hojarasca y en el suelo, en cuatro sistemas productivos promovido por el POSAF.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo consistió en el monitoreo de la fijación y almacenamiento de carbono en cuatro ecosistemas productivos establecidos y manejados en un periodo de seis años. Los sistemas están compuestos por el Sistema Ecoforestal de café (Jinotega), Reforestación de pino con fines industriales (Jalapa), Reforestación de especies energéticas (Jalapa) y Manejo de regeneración de bosque seco de latifoliada (Diriamba). El monitoreo de carbono consistió en determinar, analizar y calcular el carbono fijado y almacenado en la fuente de biomasa aérea, raíz, hojarasca y suelo. En la siguiente figura se muestra un flujograma del proceso que se siguió para el monitoreo del secuestro de carbono.

En cada sistemas se monitorearon de 3-5 fincas, con áreas mayores a una hectárea cada una. Se establecieron parcelas circulares (pino y bosque seco con manejo regeneración natural) y rectangulares (sistema café y latifoliada energéticas). En cada parcela se registraron

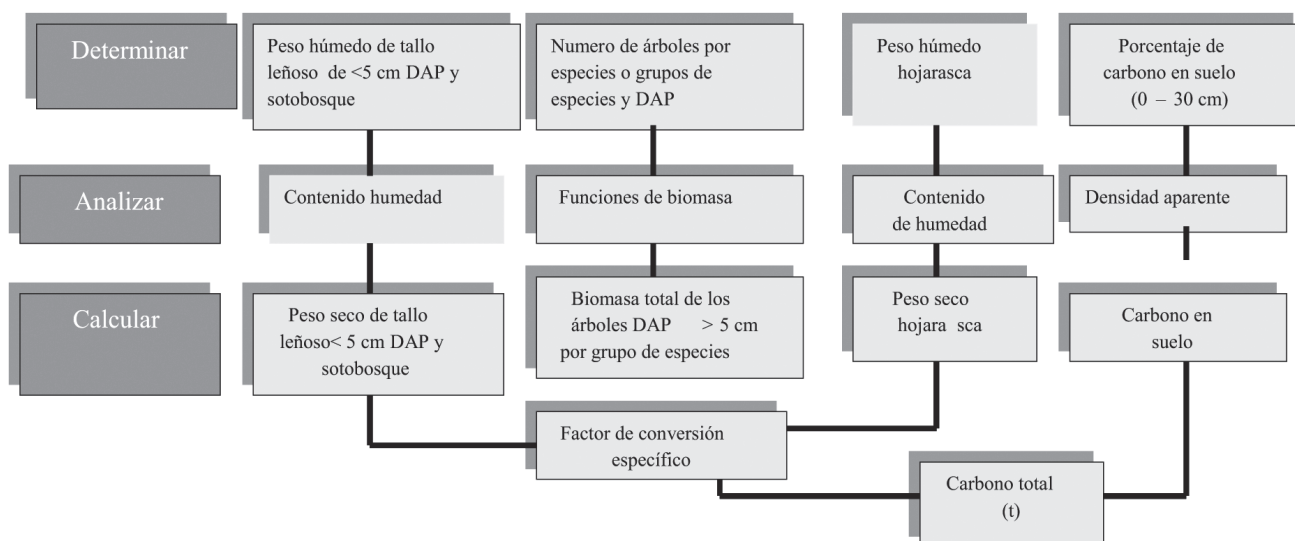


Figura 1. Flujograma del proceso a seguir para el monitoreo del secuestro de carbono.

el numero de árboles, la especie, el diámetro normal (cm), la altura total (m), así, mismo, en cada parcela, se ubicaron subparcela de 1 m² para el muestreo de suelo a una profundidad de 0-30 cm. para la determinación de contenido de carbono en el laboratorio de suelo y agua. También, se registró el peso húmedo de la hojarasca y/o hierba.

a) Estimación de la biomasa aérea. Para la estimación de la biomasa aérea, se utilizaron ecuaciones generales de acuerdo a regiones climáticas y específicas para cada especie (Tabla 1).

1) Ecuación de biomasa de café (rango de diámetro:

200 g para determinar el contenido de materia seca en el laboratorio. Para el calculo de la biomasa en esta fuente se obtuvo el valor de contenido de humedad. Este valor se calculó con la siguiente ecuación;

$$CH = (Phs - Pss) / Phs$$

CH : contenido de humedad, Phs: Peso húmedo submuestra (g), Pss: Peso seco de la submuestra (g).

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

$$Y = Pht - (Pht * CH)$$

Tabla 1. Ecuaciones generales y específicas para estimación de biomasa aérea

Especie	Ecuación	Fuente	R ²
Café ¹	$\ln = -2.39287 + 0.95285 * \ln(D) + 1.2693 * \ln(H)$	Suárez 2002	0,89
Banano ²	$Y = \sqrt{a + b * (\ln H / H^2)}$	Márquez 1997	0,99
Arboles ³	$Y = \exp \{-2.134 + 2.530 * \ln(D)\}$	A.J.R. Gillespie	0,97
Conifera ³	$Y = \exp \{-1,170 + 2,119 * \ln(D)\}$	Brown, 1996	0,98
Latifoliada energética	$Y = \exp [- 3.114 + 0.9719 \ln(D^2H)]$	Brown <i>et al.</i> (1989), citado por Schegel <i>et al.</i> (2001).	0,97

0.3cm-7.5cm) y altura total de la planta (rango de altura: 0.31m-4m): (n=102). Biomasa estimada en kilogramo; 2) Biomasa estimada en gramo; 3) D: Diámetro a la altura del pecho (1.30 m) , Biomasa expresada en kilogramo.

Para el sistema de bosque seco de latifoliada de manejo de regeneración natural se utilizó la base a datos de inventario del año 2005, Subcuenca del Río Grande de Carazo. Este inventario fue proporcionado por la Cooperativa de Proyectos Agropecuario Industrial de Diriamba (COOPPAAD). Para la estimación de la biomasa aérea se utilizó la siguiente ecuación:

$$B_{ta} = V_f \times GE \times FEB$$

B_{ta}: biomasa total aérea (kg) V_f; volumen del fuste, GE; gravedad específica, FEB; factor de expansión de biomasa.

b) Estimación de biomasa de raíz. Par el cálculo de la biomasa de la raíz, se utilizó un porcentaje del 15 % de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea, que es una estimación conservadora (MacDicken, 1997).

c) Estimación biomasa en hojarasca. Para la hojarasca y malas hierbas se utilizó un marco de muestreo de 1m² donde se colectó el material herbáceo y/o hojarasca, se tomó el peso fresco, luego se tomó una submuestra de

Y = biomasa en gramo, Pht: Peso húmedo total (g), CH : contenido de humedad

Los valores obtenidos se dividió entre 1, 000,000 para obtener toneladas. Este valor se multiplicó por 0.5 lo que da toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono se dividen dentro del total de metros muestreados. Esta operación da tC/m² y al multiplicarlo por 10,000 se obtuvo tC/ha.

d) Para la estimación del carbono orgánico en el suelo se utilizó la siguiente ecuación:

$$CS = Da \times C \% \times P$$

CS: carbono en el suelo (tCh⁻¹), Da: Densidad Aparente (g/cm³): carbono (%), P : Profundidad (cm)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Carbono fijado en el sistema café ecoforestal. La mayor cantidad de carbono se encontró en la fuente en el suelo y la biomasa aérea. Los valores de carbono fijado en el sistema, oscilan de 6,02 - 17.90 tC ha⁻¹. La finca el testigo presenta el mayor valor de carbono fijado (31.68 tC ha⁻¹).

El suelo es la primera fuente de almacenamiento de carbono, debido a que está recibiendo constantemente aporte de materia orgánica de la biomasa aérea, los

valores encontrados oscilan de 88,80 a 217.14 tC ha⁻¹. La segunda fuente la representa la biomasa aérea con un promedio de valor de 14.11 tC ha⁻¹, siguiéndole en orden, las raíces y la hojarasca y/o herbáceas (1,94 tC ha⁻¹. y 1,44 tC ha⁻¹). la fijación de carbono en la diferente fuentes, se atribuye a la densidad, diámetro, edad, especie y diversidad. La finca el testigo (café + árbol de sombra) obtiene el menor valor de almacenamiento de carbono.

En general el sistema café ecoforestal fija carbono en el rango de 121,78 – 235,65 tC ha⁻¹ (figura 1).

b) Carbono fijado en el sistema de pino industrial. En el momento del monitoreo, el sistema de pino industrial fijó carbono en su biomasa en el rango de 16.78 – 32.72

tC ha⁻¹, los mayores valores fueron encontrado en los árboles que contenían diámetros promedios de 15 a 16 cm. Este sistema tiene una edad de 6 año, lo que indica una fijación de carbono en su biomasa aérea de 2.79 a 5.45 tC ha⁻¹ año.

El sistema de pino fija carbono en cantidades que oscilan de 178,51 a 260,19 tC ha⁻¹, con un promedio de 211,90 tC ha⁻¹, la mayor fuente de almacenamiento lo representa el suelo 178,79 tC ha⁻¹, siguiéndole la biomasa arriba del suelo 23,44 tC ha⁻¹, luego las raíces y hojarasca 3,5 y 4,53 tC ha⁻¹.

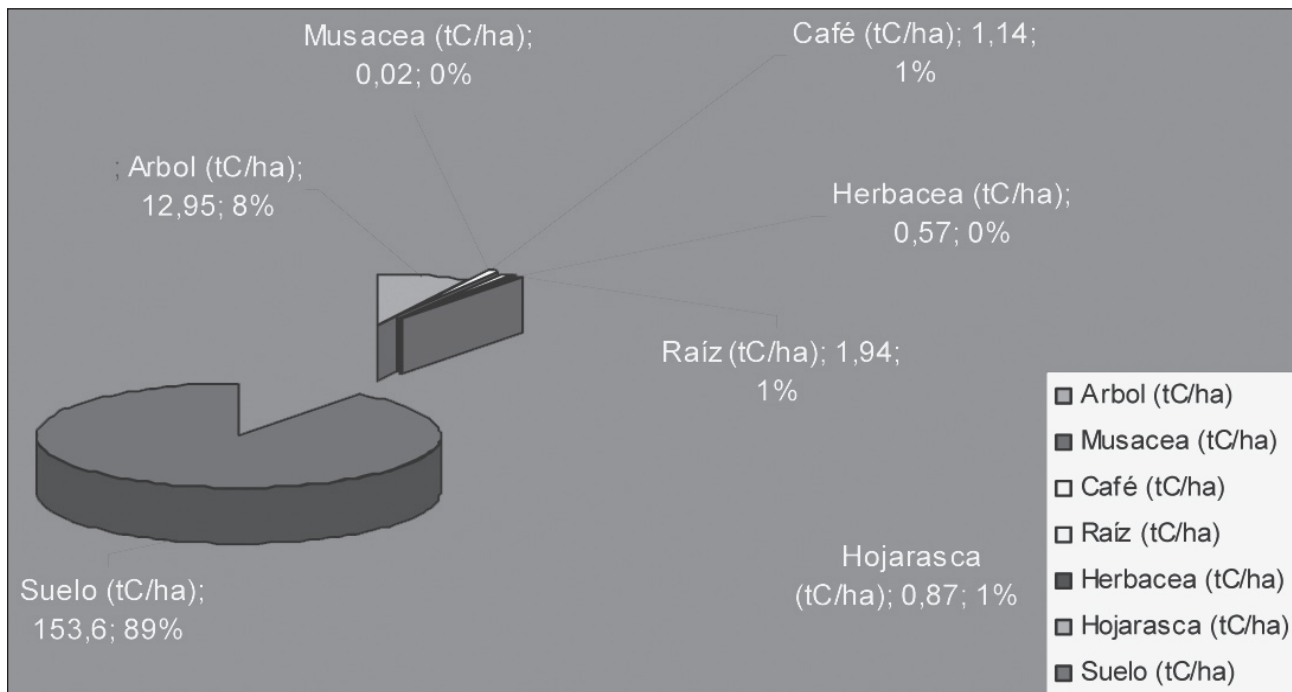


Figura 2. Carbono fijado en el sistema café ecoforestal (tC ha⁻¹)

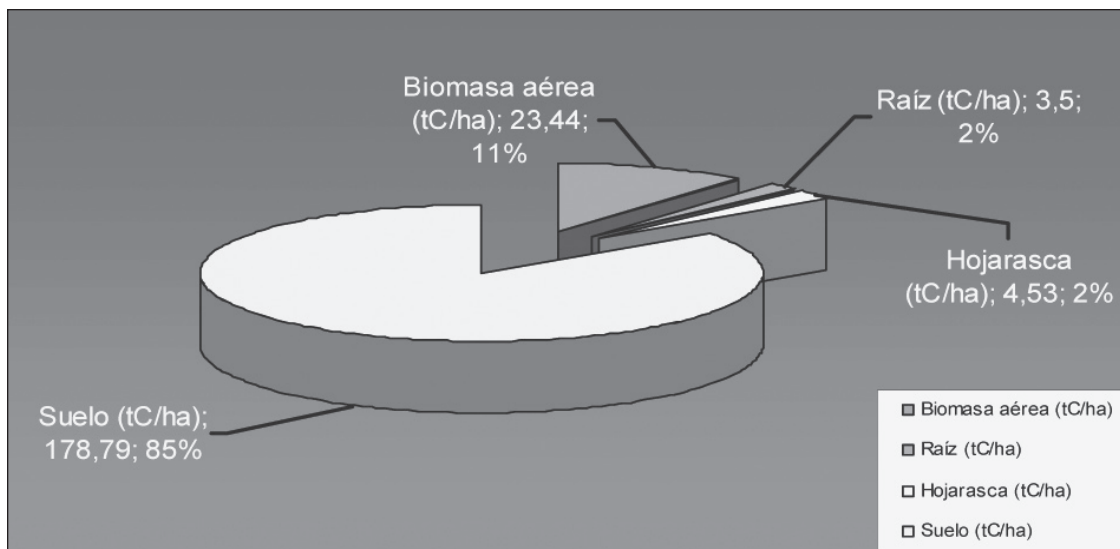


Figura 3. Carbono fijado en el sistema de pino industrial (tC ha⁻¹)

c) **Carbono fijado en el sistema plantaciones energéticas.** Las especies combinada de Acacias y Eucalipto fija mayor carbono. El sistema latifoliada con fines energética fija de 119 a 205,98 tC ha⁻¹, con un promedio de 153,16 tC ha⁻¹, encontrándose los mayores aporte en el suelo (82,83 %), siguiéndole en orden la biomasa arriba del suelo (14,05 %), biomasa abajo del suelo (2,10 %) y por último la hojarasca y hierba (1.0%). Figura 3.

d) **Carbono fijado en bosque seco con manejo de regeneración natural.** El total de carbono fijado en el sistema oscila de 93,70 a 120,97 tC ha⁻¹, para un promedio de 105,65 tC ha⁻¹, para un rango amplio de diámetro de 0 – 60 cm. El mayor almacenamiento de carbono se encuentra en el suelo (75 %), siguiéndole en orden la biomasa aérea (21%), raíz (3%), hojarasca (0,9 %) y hierbas (0,9 %). Figura 4.

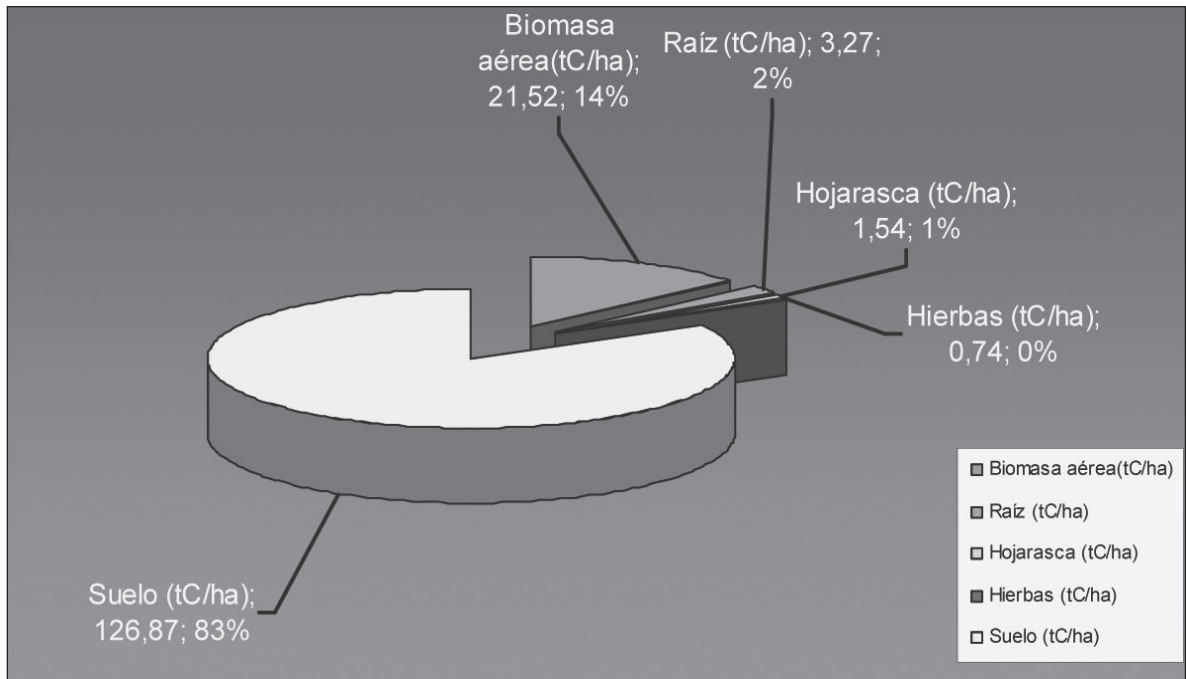


Figura 4. Carbono fijado en bosque seco con manejo de regeneración natural.

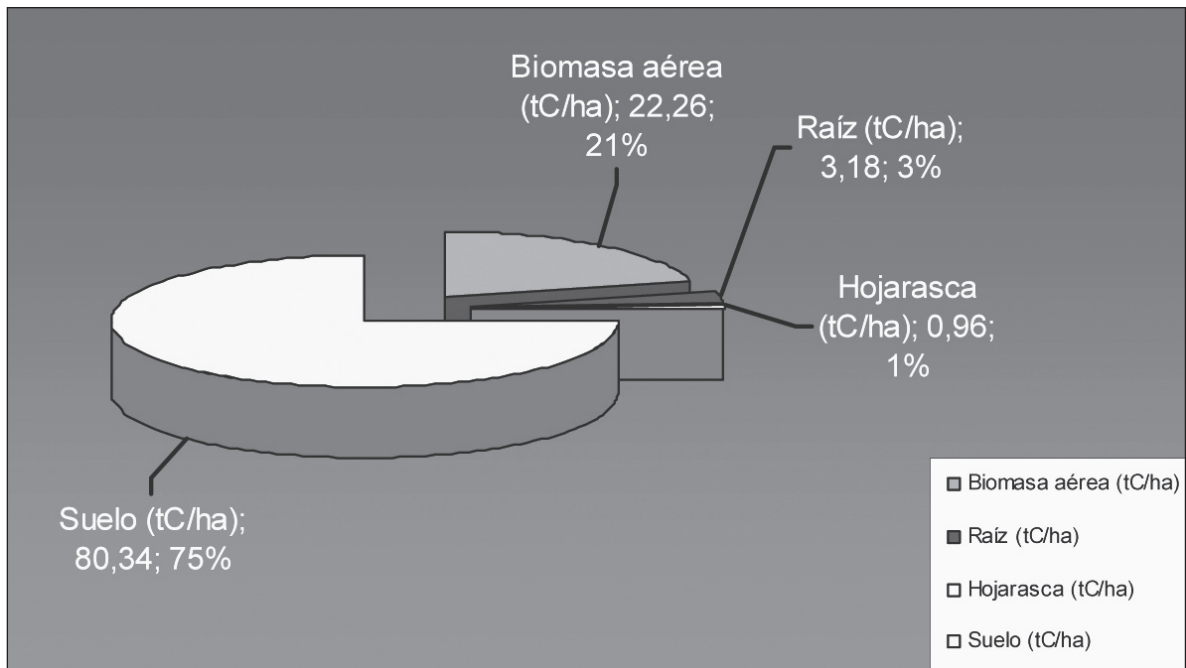


Figura 5. Carbono fijado en el sistema de latifoliada energética (tC ha⁻¹)

CONCLUSIONES

El sistema de pino obtuvo el mayor valor de fijación y almacenamiento de carbono en su cuatro fuente 210.26 tC/ha, siguiéndole en orden el sistema de plantación energética 161.3 tC/ha, luego, café ecoforestal 144.09 tC/ha y por último bosque seco con manejo regeneración natural 106.74 tC/ha.

En los cuatros sistemas estudiados, la fuente del suelo obtiene los mayores valores de carbono representando en el sistema el 75.26 -87.37 %.

El carbono en la biomasa aérea es la segunda fuente de fijación de carbono, representando en el sistema 9.74 – 20.8 %.

El carbono en la biomasa de la raíz representa 1.66 -2.98 %.

La hojarasca y hierba son las fuente que menos contenido de carbono obtiene, representando en el sistema 0.46 – 2.15 %.

RECOMENDACIONES

Los valores obtenidos en el monitoreo de carbono en sistemas productivos pueden ser empleados como valores

de referencia de los sistemas en cuanto a la fijación y almacenamiento de carbono en las tres zonas ecológicas: Jinotega, Nueva Segovia y Carazo, sin embargo, es necesario evaluar en otras zonas ecológicas los mismos sistemas para disponer de datos estratificados por zonas ecológicas y de esta manera aproximarse mejor a los valores reales por sistema productivo y territorio.

Realizar estudios para el desarrollo de ecuaciones alométricas de estimación de biomasa por especie, con el propósito de obtener datos reales acorde a las condiciones ambientales del país.

Realizar estudios propios del país del componente de la biomasa de las raíces para precisar la cantidad de carbono que puede fijar.

Aprovechar los inventarios forestales que realizan las otras instituciones para realizar estimaciones de biomasa, asimismo, efectuar cálculos de contenido de carbono con bajos costos.

Al momento del aprovechamiento forestal, aprovechar la construcción de ecuaciones alométrica que estime la biomasa por especie o grupos de especie en una determinada condición ecológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTRO**, 2002. Stand dynamic and regeneration of tropical dry forests in Nicaragua. UNA Pág. 8,9
- MACDICKEN**, 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development. 87p
- MÁRQUEZ, L.** 2000. Elementos Técnicos para Inventario de Carbono en el uso del suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31p.
- MEDINA CRISTÓBAL** 2004. Cuantificación de la Captura y Almacenamiento de Carbono en Sistema de Café con Sombra, Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua.
- SUÁREZ, D.** 2002. Cuantificación Económica del Servicio Ambiental Almacenamiento de Carbono en Sistema Agroforestales de Café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE.
- SCHLEGEL, B. ; GAYOSO, J.; GUERRA, J.** 2001. Manual de Procedimiento para Inventario de Carbono en Ecosistema Forestal. Proyecto FONDEF D9811076. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Pág. 1-9.