

## CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA AEREA DE CAFÉ (*Coffea arábica* L.) CON SOMBRA, EN LA COMARCA PALO DE SOMBRERO, JINOTEGA, NICARAGUA

**Cristóbal Medina-Benavides<sup>1</sup>, Ing. Claudio Calero-González<sup>2</sup>, Himel Hurtado<sup>3</sup> y Edwin Vivas-Soto<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>MSc. Docente Facultad de Recursos Naturales, y del Ambiente, FARENA, UNA, E-mail: [cristobm@una.edu.ni](mailto:cristobm@una.edu.ni) Tel: 22331501, 22331146 ext. 365.

<sup>2</sup>Ing. Agrónomo Forestal. Docente Facultad de Recursos Naturales, y del Ambiente, FARENA, UNA, E-mail: [Claudio\\_calero@una.edu.ni](mailto:Claudio_calero@una.edu.ni) Tel: 22331501, 22331146 ext. 326.

<sup>3</sup> Graduados de la carrera de Ingeniería Forestal



### RESUMEN

Los sistemas agroforestales son potenciales sumideros de dióxido de carbono, contribuyendo así a mitigar el calentamiento de la tierra por efecto de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El propósito de la presente investigación, es cuantificar carbono orgánico almacenado en sistema de café. Esta investigación se desarrolló en la hacienda Santa Maura, Jinotega., altitud 1000–1250 msnm, temperatura promedio de 19 a 23° C, suelos del tipo molisol. 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 del 2 %. La unidad de muestreo fue una parcela circular de 250 m<sup>2</sup>, en cada parcela de muestreo se tomó un árbol de eje central, procediendo a inventariar e identificar las especies de árboles y cafeto. Se midieron la altura total, altura fuste limpio, diámetro a la altura del pecho del que muestrea, pesos húmedo y seco de los diferente componentes. En los depósitos aéreos de cafetos y especies de sombra, se estimó la biomasa y contenido de carbono. En la tipología dos se encontró el mayor promedio de C almacenado con 19.86 tonelada métricas de carbono por hectárea (tMC ha<sup>-1</sup>), seguido del tipo tres, con 11.12 tMC ha<sup>-1</sup> y por último, el tipo uno con 5.5 tMC ha<sup>-1</sup>. La diferencia de contenido de C entre tipología, está directamente ligado a la densidad, especie de árbol de sombra, edad y manejo de la plantación.

**Palabras clave:** Almacenamiento de carbono, servicio ambiental.

### ABSTRACT

The Agro forestry systems are potential carbon dioxide sink, contributing to reduce greenhouse gas emissions. The purpose of the present study is to quantify organic carbon stored in a coffee system. This research was carried at Santa Maura farm, Jinotega. The farm has an altitude of 1000 - 1250 above the sea level; temperature average is between 19 to 23 °C. The soil is classified as mollisols. Three types of coffee systems were identified. They differ on varieties, age and plan density. A systematic sampling was performed using sample intensity of 2%. The sampling unit was a circular plot of 250 m<sup>2</sup>. In each sampling plot a plan inventory was performed in order to identified tree species and coffee plants. The variables measured were: total height, stem height, diameter at 1.5 m above the ground, and dry and fresh weight of the different components. Dry weight and carbon content were recorded from the above ground parts of coffees and shade species. The biggest average of storage C was found at the type two, with 19.86 metric ton of carbon by hectare (tMC ha<sup>-1</sup>), followed by type three which had 11.12 tMC ha<sup>-1</sup>, and finally type one with 5.5 tMC ha<sup>-1</sup>. The difference of C content among types is directly linked to the density, shadow tree species, age and management of the plantation.

A nivel mundial existe preocupación por el calentamiento de la tierra, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto fue afirmado en una primera evaluación realizada en 1990 por el Grupo de Trabajo Científico del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Las proyecciones del cambio climático para los años 2070 a 2100, prevén un aumento en la temperatura mundial entre 1.5 y 3.5 grados centígrados, según los modelos y las emisiones de gases (IPCC, 1990).

El dióxido de carbono es el segundo gas (después del vapor de agua) de efecto invernadero, y es el que tiene mayor incidencia en el cambio climático provocado por el hombre (IPCC, 1990).

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 representada en más del 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. El cultivo del café en Nicaragua puede generar beneficios ambientales como: conservación de la biodiversidad, mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, mantenimiento del microclima y almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y en el suelo. En la mayoría del área cafetalera de Nicaragua, se maneja bajo sombra arbórea, permitiéndole mayor potencial en la fijación y almacenamiento de carbono. El propósito del estudio fue cuantificar la captura de carbono en sistema de café con sombra en los sumideros de árboles y cafetos. La fijación de carbono en café presenta una nueva alternativa a los productores, generándole un valor agregado mediante el servicio ambiental de almacenamiento de carbono, contribuyendo de esta manera a la reducción de los gases de efecto invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en la hacienda Santa Maura, ubicada en la comarca Palo de Sombrero, departamento de Jinotega a 13° 05' de latitud Norte y 86° de longitud Oeste. Según la clasificación Koppen, el clima del municipio es de Sabana Tropical de Altura. La temperatura media oscila entre los 19° C y 21° C. La precipitación pluvial varía entre los 1600 y 1800 mm (Fenzl, 1988). Las lluvias permanecen de 7-8 meses al año, con una interrupción de 8 -15 días en el periodo canicular (15 de julio al 15 agosto).

**Características del sistema de cafeto.** Se seleccionaron tres tipología 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*, *Erythrina fusca* Lour, *Erythrina poeppigiana* (Walp) O.F. Cook, *Croton shiediumun* H.B.K., *Solanum sp*), 3-4 años (6 x 7 m). El suelo es un Vertic Aquic Argiudolls (USDA), textura arcillosa, drenaje imperfecto a moderado, pendiente de 4 a 16 % y un área de 17.57 ha.

**Tipología 2:** Café Catimor variedad Icafé 90 (plantada 1.0 –1.66 m), asociado con guaba (*Inga vera*), 8-9 años (9.0 x 6.0 m).. El suelo es un Thypic entic Hapludolls (USDA), textura arcillosa, drenaje de moderado a imperfecto, pendiente de 6 a 32 % y un área de 5.07 ha.

**Tipología 3:** Café Catuai (0.93-1.75 m) mas guaba (*Inga vera*), 9-10 años (7.2 x 9.0 m) y nogal (*Junglan olanchanum*, standly L. Wns), mas de 50 años. El café más guaba tiene similar edad. El suelo es un Thypic cumulic Argiudolls (USDA), textura franco arcillosa, pendiente de 45 a 70 % y un área de 8.8 ha.

**Diseño del muestreo.** La unidad de muestreo fue, la parcela de tipo temporal. La población de estudio, se estratificó por su edad y tipología. Dentro de cada estrato, se realizó el muestreo sistemático al azar. Cada tipología de cafeto, 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 fue de 250 m<sup>2</sup>, de forma circular con un radio de 8.92 m. Dentro del estrato se ubicaron parcela de manera sistemática cada 50 m. Dentro de cada parcela se tomaron los elementos de muestreo de árbol y cafeto, (Márquez, 1997).

**Árbol:** De cada una de las parcelas de muestro se tomó un árbol de referencia como eje principal, se inventarió el número de árboles, especies y se tomaron datos como: Diámetro (cm.), Altura del fuste limpio y Altura total, luego se calculó el volumen, biomasa y fracción de carbono. Para el calculo de volumen y biomasa de árboles se utilizaron las siguientes ecuaciones.

a. Volumen de fuste

$$V_n : \pi \times R^2 \times L \times FF$$

Donde: V<sub>n</sub>. Volumen del fuste limpio sin cosechar (m<sup>3</sup>); π: 3.1416 (constante); R<sup>2</sup>: Radio al cuadrado (m<sup>2</sup>); L: Longitud del fuste (M); FF: Factor de Forma. Para la

cubicación de fuste limpio o comerciales. Se utilizó el coeficiente de forma de Girard, de 0.7-0.8, para fuste de 4.87 m (16 pies) de longitud (Stall, 1993).

**c. Biomasa de fuste limpio:** se obtuvo a partir de la información de volumen y gravedad específica de cada especie, utilizando la siguiente ecuación 2.

$$B_n = V_n \times GE_n$$

Donde:  $B_n$ : Biomasa de fuste limpio (t);  $V_n$ : Volumen del fuste limpio ( $m^3$ );  $GE_n$ : Gravedad Específica del fuste limpio ( $t\ m^{-3}$ )

**GE:** La gravedad específica para las diferentes especies de árboles de sombra se obtuvo de la literatura (Brown, 1997). Para las especies en estudio se utilizaron las siguientes gravedades específica ( $tm^{-3}$ ): *Inga sp.* 0.49; *E. poeppigiana*: 0.23; *E. fusca*: 0.23; *C. shiediumun* 0.48; *S. sp* 0.43; y *J. olanchanum* 0.38

#### d. Biomasa total del árbol

$$Bt: V_f \times GE \times FE$$

Donde: Bt: Biomasa total del árbol ( $tMha^{-1}$ );  $V_f$ : Volumen del fuste limpio ( $m^3$ ); GE: Gravedad Específica del fuste limpio ( $t\ m^{-3}$ ); FE: Factor de Expansión para follaje. Es una relación entre la biomasa total y la biomasa del fuste. Esta información, se obtuvo con la cosecha de árboles en las parcelas de estudios.

$$CA: Bt \times FC$$

Donde: CA: Carbono Almacenado (t); Bt: Biomasa seca total (t); FC: Fracción de Carbono (%)

**Cafeto.** En el caso de las plantas de café, se tomaron las muestras siguiendo la metodología propuesta por Márquez (1997), en forma modificada. Consiste en ubicar cuatro puntos en dirección Norte, Sur, Este y Oeste; a partir de un árbol de referencia, extrayendo una planta de café de cada dirección y a dos diferentes distancias; una distancia ubicada cerca del árbol, aproximadamente 50 cm. y otra a la mitad de la distancia entre árboles. La toma de las cuatro plantas a una u otra distancia y dirección se realizó en forma aleatoria. Luego de aleatorizada y tomadas las plantas, a cada una se le tomó el peso total fresco en el momento de la extracción total y por componentes (liberando las raíces de piedrecitas y terrones, así como agregados que obstaculicen la muestra). Separados los componentes (tallos, ramas y hojas), se depositaron al menos medio kilogramo de cada uno de ellos en una cubeta, se homogenizaron, para luego hacer una muestra compuesta de medio kilogramo. En cuanto a la determi-

nación de biomasa en los cafetos, se realizó por medio de contenido de humedad con el peso húmedo y el peso seco. El porcentaje de humedad se estimó en las muestras en condiciones verdes, 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. Por medio de la siguiente fórmula, se obtuvo el porcentaje de humedad:

$$\% \text{ Humedad} = (P_v - P_s / P_v) \times 100$$

Donde:  $P_v$ : Peso verde;  $P_s$ : Peso seco

Para determinar el peso seco de los tallos y ramas se obtuvieron virutas finas, a través de una sierra de madera. Se pesaron primero las cápsulas de aluminio o porcelana y luego se colocó en cada una de ellas 1 gramo de muestra homogenizada. Posteriormente se introdujeron en un horno al vacío a 70° C, durante un período de 24 horas, extrayendo con ello el agua ligada que se encuentra dentro de la pared celular. Las muestras fueron pesadas nuevamente a temperatura ambiente, determinándose el porcentaje de materia seca.

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

Donde:  $C_m$ : Cápsula más la muestra seca (g);  $P_c$ : Peso de la cápsula vacía (g);  $P_m$ : Peso de la muestra (g).

Los valores obtenidos, como resultados de la biomasa se multiplicaron con la fracción de carbono obtenida para los cafetos. Los gramos resultantes de carbono se dividen por 1000, para obtener kilogramos y éste entre la cantidad total de metros cuadrados muestreados (este dependerá de la cantidad de muestras tomadas y del área de muestra). Las anteriores operaciones brindaron datos en  $kg/m^2$  por lo que se transformó a toneladas por metro cuadrado.

**Fracción de carbono.** Para determinar la fracción de carbono de los cafetos se aplicó la siguiente ecuación:

$$FC: (GC/PM)/MS (\%)$$

Donde: FC: Fracción de carbono (%); GC: Gramos de carbono (g); PM: Peso de la muestra (g); MS: Porcentaje de materia seca (%)

#### Metodología de análisis de carbono en tejido vegetal.

El contenido del carbono en tejido vegetal, se analizó en el laboratorio de Química de Suelo de la Universidad Nacional Agraria (UNA). El método utilizado fue el de Schollemberger. Este consiste en la oxidación del elemento por medio del dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), en presencia de ácido sulfúrico concentrado. Para facilitar la digestión debe calentarse, hasta obtener una tempera-

tura que no pase los 170° C, en tiempo aproximado de 90 segundos. El procedimiento del método se presenta a continuación:

#### A) Procedimiento

1. Pesar 0.02 g del material vegetal (una vez que este ya esta molido)
2. Pesar 0.1961 g de  $K_2Cr_2O_7$  (Dicromato de Potasio)
3. Agregarlo en tubos de ensayo.
4. Adicionar 10 ml de  $H_2SO_4$  concentrado.
5. Poner la muestra en una hornilla a una temperatura de 170° c.
6. Traspasar la muestra a un erlenmeyer de 500 ml.
7. Adicionar 250 ml de agua destilada.
8. Agregar 30 gotas del indicador Difenilamina.
9. Titular la muestra con  $FeSO_4$  (Sulfato Ferroso).

#### B) Calculo

$$\% CO = \frac{\text{Vol. del Blanco} \times FeSO_4 - (\text{Vol. Muestra gastada de } FeSO_4)}{0.02 \text{ gramos}} \times 0.3$$

CO: Carbono orgánico

Vol.: Volumen

**Valoración del servicio ambiental.** Para la valoración del servicio ambiental por almacenamiento de C, se consideraron algunas de las experiencias obtenidas en Costa Rica. Se tomaron como referencia tres tipos de valoraciones (Ávila *et al.*, 2001): el valor utilizado en los proyectos internacionales (10 U\$ t<sup>-1</sup>), el valor en los proyectos negociados por Implementación Conjunta en Costa Rica (5 U\$ t<sup>-1</sup>) y el valor real actual pagado por servicios ambientales vigente, estimado en 1.53 U\$ t<sup>-1</sup>.

**Análisis de datos.** Se utilizaron ecuaciones para el cálculo de la biomasa aérea seca de café y árboles de sombra temporal y permanente, asimismo, la estimación del promedio de carbono en tonelada métrica por hectárea (tMC ha<sup>-1</sup>) y por tipología de café.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Arboles de sombra.** En la tipología 1 se encontró mayor número (552) y diversificación de especies arbórea por unidad de área. La edad del sistema es de 3-4 años, está compuesto por cinco especies de árboles, las cuales están representadas por *I. vera* (35.4%), *C. shieduimun* (24.5%), *E. poeppigiana* (13%), *S. especie* (19.7%), y *E. fusca* (7.5%). Diámetros promedios encontrados oscilan entre 8-16.8 cm. La tipología dos, está compuesta solamente por la especie *I. vera*, con una densidad de 176 árboles por hectárea. Edad de 8-9 años. Los diámetros

observados son de 13 – 42 cm. La tipología tres contiene dos especies, de las cuales, *I. vera* es la mas predominante (98.7%), con un rango de edad de 9-10 años, luego la *J. olanchanum* (1.3%), mayor de 50 años de edad. Se encontraron un total de 155 árboles por hectáreas, con diámetros que oscilan entre 10 y 35 cm para *I. vera* y para *J. olanchanum* de 9.5 a 238 cm.

**Carbono en la biomasa de árboles de sombra por tipología de café.** El contenido de C en la biomasa aérea de los árboles de sombra varía entre las tipologías. Los mayores valores se encontraron en la tipología 2, con 15.23 tMC ha<sup>-1</sup>, siguiéndole la tipología 3 (6.663 tMC ha<sup>-1</sup>) y por ultimo la tipología 1 (4.7 tMC ha<sup>-1</sup>).

El alto contenido de carbono en la biomasa aérea en la tipología 2, es debido a la edad y la cantidad de árboles por hectáreas, mientras que la tipología 1 muestra menor cantidad de carbono en su biomasa aérea, aun teniendo la mayor densidad, diversidad de especies, menor edad (3-4 año) y los menores diámetro de fuste a la altura del pecho. La tipología tres, fue la segunda con mayor valor de almacenamiento de carbono. Esta contiene dos especies arbóreas y se diferencian por una densidad menor, aunque tenga los mayores diámetros y edad.

Esto evidencia que existe una relación directa entre la edad, la densidad y la especie. Lo que pone de manifiesto que conforme aumenta la edad hay un aumento del grosor y altura del árbol, aunque los árboles de sombra se mantienen podado a una altura limite de cinco metros excepto las especies nativas como el nogal (*J. olanchanum*).

**Factor de expansión de biomasa.** Se calculó el Factor de Expansión de Biomasa (FEB), que es una relación entre la biomasa total y la biomasa del fuste. Este factor se utiliza para estimar la biomasa total a partir de la biomasa del fuste, obteniéndose un valor de 3.8 para las especies de árboles en el sitio de estudio.

La cantidad de carbono almacenado en los árboles de sombra de los sistemas, están dentro del rango que encontró en Matagalpa por Suárez (2000), valores de 13.7 tC ha<sup>-1</sup> para café joven con sombra diversificada, así mismo reporta valores superiores de 17.5 tC ha<sup>-1</sup> para café productivo con *Inga* spp; y 27.3 tC ha<sup>-1</sup> café productivo en abandono. Kursten y Burshel (1993) citado por Suárez (2002), reportan para árboles de sombra en sistema agroforestales valores que oscilan entre 3 y 25 tC ha<sup>-1</sup>. Alvarado *et al.* (1999), determinaron que el aporte de las árboles de sombra dentro de los cafetales de Guatemala, a nivel nacional fue de 15.82 tC ha<sup>-1</sup>, lo cual se asemeja a los resultados obtenidos, en el reporte no se

Menciona el tipo de sombra ni las densidades promedios de los árboles.

Los árboles de sombra, presentan la segunda fuente de almacenamiento de carbono después del suelo, en los sistemas agroforestales de café. Esta fuente, aporta entre 5.5 y 14.50 % al carbono total del sistema. Las tipología con árboles de 8–9 años y densidad de 176 árboles por hectáreas, aportaron mayor cantidad de carbono. En el sistema, los árboles que menos carbono aportaron fueron los de 3-4 años, una densidad de 552 árboles por hectáreas, compuesta por cinco especies de sombra. Esta fuente contribuyó con 4.7 %, bastante cercano a la obtenida en el sistema de 9 –10 años de edad y con densidad de 155 árboles por hectáreas, (5.75 % de contribución al carbono total). Esto indica que la densidad de árboles y la edad está ligada a la cantidad de carbono almacenado en término de área.

**Contenido de carbono en plantas de cafeto.** Existe variaciones en el contenido de carbono en las diferentes tipologías de cafeto. La tipología dos, perteneciente a la variedad de café Catimor, registró el mayor contenido de carbono con 4.62 tMC ha<sup>-1</sup>, siguiéndole, la variedad Catuai con 4.46 tMC ha<sup>-1</sup> (tipología 3) y por último la variedad Pacamara con 0.8 tMCha<sup>-1</sup> (tipología uno). Esta última obtuvo los valores más bajo, debido a su establecimiento reciente, menos de cuatro años, por lo que no han desarrollado suficiente biomasa como el resto de sistemas.

El contenido de carbono en cafeto Catimor, supera a las plantaciones de Catuai, aún teniendo esta la mayor densidad de plantas, razones que podrían atribuirse al manejo del cultivo, como es la aplicación de la poda de las plantas de café, que evita que tenga un desarrollo

normal, conlleva menor biomasa y por ende menor carbono acumulado. A esto hay que agregar unido el efecto de auto sombramiento del cultivo, lo cual, es la causa principal de la disminución fotosintética del cafeto y por lo tanto, de su crecimiento. En todos los sistemas agroforestales, el café es la fuente que almacena menos carbono en el sistema (Suárez, 2002).

Los rangos de valores de carbono en cafeto obtenido, supera a lo encontrado por Suárez (2002) en Matagalpa, Nicaragua, el cual reporta rangos de 0.2 a 2.8 t ha<sup>-1</sup>.

Estos resultados, están dentro de los valores inferiores y superiores a los encontrado por algunos autores citados por Suárez (2002), tales como Aplizar *et al.* (1985), el cual, determinó 3.93 tC ha<sup>-1</sup> en sistema de café asociado con Laurel (*Cordia alliodora*) y 7.6 tC ha<sup>-1</sup> en café asociado con Poró (*Eritrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. Ávila (2000) encontró 4.1 – 5 tC ha<sup>-1</sup> en café asociado con *E. deglupa* a diferentes edades en Costa Rica. Por otro lado, Fournier (1996) determinó 8.4 tC ha<sup>-1</sup> en un sistema de café asociado con Poró en el Valle Central de Costa Rica y Márquez (1997) encontró 3.77 t ha<sup>-1</sup> trabajando en Guatemala.

**Comparaciones del almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de árboles y cafeto en las diferentes tipologías.** El almacenamiento de carbono en árboles de sombra representa valores de 4.7 - 15.24 tMC ha<sup>-1</sup> y se obtuvieron 0.8 – 4.46 ha<sup>-1</sup>. Los mayores valores en los árboles de sombra debido a su edad, tipo de especie y densidad. El promedio de carbono almacenado en los árboles de sombra en las tres tipologías, fue de 8.86 tMC ha<sup>-1</sup> y 3.29 tMC ha<sup>-1</sup> para cafeto. El promedio ponderado del almacenamiento de carbono en el sistema de café con sombra fue de 12.15 tMC ha<sup>-1</sup> (Tabla 1).

**Tabla 1.** Contenido de carbono en las diferentes tipologías de cafeto. Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2003

| Componente | Tipología 1          |       | Tipología 1          |       | Tipología 1          |       | Media | %           |
|------------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|-------|-------------|
|            | tMC ha <sup>-1</sup> | %     | tMC ha <sup>-1</sup> | %     | tMC ha <sup>-1</sup> | %     |       |             |
| Árbol      | 4.7                  | 85.5  | 15.2                 | 76.7  | 6.7                  | 59.9  | 8.9   | 59.9 – 15.2 |
| Café       | 0.8                  | 14.6  | 4.6                  | 23.3  | 4.5                  | 40.1  | 3.3   | 14.6 – 40.1 |
| Totales    | 5.5                  | 100.0 | 19.9                 | 100.0 | 11.1                 | 100.0 | 12.2  | 100.0       |

**Valoración económica del servicio ambiental por almacenamiento de carbono.** La valoración económica se complica, por el hecho de que todavía no existe un mercado abierto, líquido y estable para el secuestro de carbono (Ramírez y Gómez, 1999).

Si se toma en cuenta, que a nivel Internacional se han fijados precios con amplio rango por tonelada de carbono, estas pueden oscilar desde US\$ 1.53, hasta US\$ 31/tMC. De manera que el valor agregado por servicio ambiental de estos recursos, son un atractivo económico y ecológico a los productores de café.

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

**Tabla 2.** Promedios de carbono almacenado y su valor económico por tipologías de estudio. Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2003

| Tipología | TMC ha <sup>-1</sup> | Almacenado | Precio U.S. \$/tM |       |
|-----------|----------------------|------------|-------------------|-------|
|           |                      |            | 1.53              | 5.00  |
|           |                      |            |                   | 10.00 |
| 1         | 5.5                  | 8.4        | 27.5              | 55.0  |
| 2         | 19.9                 | 30.4       | 99.3              | 198.6 |
| 3         | 11.1                 | 17.1       | 55.6              | 11.2  |
| Promedio  | 12.2                 |            |                   |       |

De acuerdo a las edades y tipología de cafeto, se obtiene un promedio de almacenamiento de 12.15 tMC ha<sup>-1</sup>. El total de área de las tres tipología, es de 30 ha., lo que representa un total de 364.5 tMC con un valor de US\$ 1 822.5, si se estima a un precio reservado de US\$ 5.00 la tMC. Este nuevo beneficio ambiental del sistema agroforestal de café, tiene importancia económica, sólo si el valor del servicio ambiental de almacenamiento de carbono prestado, se transfiera en su mayoría al productor.

CONCLUSIONES

Los árboles de sombra son la mayor fuente de carbono en la biomasa aérea en sistema de cafeto.

Las plantas de cafeto almacenan carbono, lo que está relacionado con la mayor edad de establecimiento y densidad de plantas de doble postura.

El promedio de carbono almacenado en la biomasa aérea representa 8.86 tMC ha<sup>-1</sup>, para árboles de sombra y para cafeto de 3.29 tMC ha<sup>-1</sup>. El total de promedio ponderado en los sistemas de cafeto representa 12.15 tMC ha<sup>-1</sup>.

La biomasa y contenido de carbono está influenciado por la edad, la densidad y especie de árboles de sombra y cafeto.

El promedio total de carbono en la biomasa aérea del sistema de café, corresponde 12.15 tMC ha<sup>-1</sup>. Si se estima un costo moderado de US\$ 5.00 dólares por tMC ha<sup>-1</sup>, obtiene un beneficio de US\$ 60.75 /ha. Para un total 30 ha resulta la cantidad de US\$ 1 822.5, en concepto de carbono almacenado.

RECOMENDACIONES

Establecer plantaciones con diferentes especies arbóreas y pisos de sombras en combinación de especies nativa para la obtención de una mayor biomasa y carbono respectivamente.

Mantener y manejar los árboles nativos de sombra que permita manejar la luz necesaria para el cafeto.

Realizar valoraciones, que incluyan todos los servicios ambientales que producen los sistemas agroforestales, con el fin de establecer incentivos atractivos para que motive el manejo sosteniblemente del sistema.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistema de café bajo sombra a pleno sol, sistemas pastoriles y pastura a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica 99 p.
- Apizar, L; Fassbender, HW; Heuveldop, J. 1985. Sistemas agroforestales de café (Coffee arabica) con laurel (Cordia alliodora) y con poró (Eritrina poeppiana) en Turrialba, Costa Rica. En Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35(3): 233-242
- Alvarado, J; López De León, E; Medina, M. 1999. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agro ecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE. (IICA) N87:7-14.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 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. CATIE, Costa Rica.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer FAO, Motes 134. Roma. 55 p.
- Fenzl, N. 1988. Nicaragua: geografía, clima, geología, hidrogeología. Belém, UFPA/INETER/INAN. Managua, Nicaragua.
- Furnier, L. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetalero. Boletín PROMECAFE. IICA. (71): 7-13 P.
- IPCC, 1995. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambio Climático, Segundo informe de evaluación, PNUMA – UNEP.
- Kursten, E; Burschel, P. 1993. CO<sub>2</sub>-Mitigation by agroforestry Water, Air and Soul. Pollution, 70: 533-544
- Márquez, L. 1997. Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistema agroforestales. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 45 pp.
- Post, WH; Emanuel, WR; Zinke, PS; Stangenberger, AG. 1982. Soil carbon pool and world life zones nature 298:156-159
- Ramírez, OA; Gómez, M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. Revista Forestal Centroamericana. 2(27) : 17- 22.
- Stall, PH. 1993. Curso de Dasometría. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. FAO/SF/68/505. Siguatepeque, Honduras, 54p.
- 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, Turrialba, Costa Rica. 117 p.