

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

Por Lic. Cristóbal Medina B./UNA

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 (CO₂) que pueden contribuir a mitigar el efecto de las emisiones globales principalmente del CO₂. 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 Argjudolls.

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 m². Se tomaron muestra de hojarasca con un marco metálico de 0.25 m² 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 Schollemberger 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, siguiéndole, el tipo dos con 78.66 C ton/ha y por último, el tipo uno con 76.96 C ton/ha. 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 de las cuales, la mayor cantidad se encontró en el suelo mineral: 83 C ton/ha (98.48 %), siguiéndole en orden la hojarasca con 1.28 25 C ton/ha (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.

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial existe preocupación por el calentamiento de la tierra, debido a las emisiones de gases causando el efecto de 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 un 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 (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 CO_2 ha subido un 30%.

Se estima que la mayoría del aumento de concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (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,1992).

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas que más contribuye al calentamiento global. Una forma de disminuir sus efectos 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 CO₂ 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.

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.

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.

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 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*, *Erythrina poeppigiana*, *Croton shiediumun*, *Solanum sp*), 3-4 años (6 x 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.
- **Tipología 2:** Café Catimor (1.0 –1.66 m), asociado con guaba (*Inga vera*), 8-9 años (9.0 x 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.
- **Tipología 3:** Café Catuai (0.93-1.75 m) más guaba (*Inga vera*), 9-10 años (7.2 x 9.0m) y nogal (*Juglan olanchanum*), mas 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.

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 m², 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 y Suelo

3.5.1 Hojarasca

Para la hojarasca se tomarón cuatro submuestra de cada parcela, utilizando marcos de 0.25 m² 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 dirección, 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 m² 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^o C, hasta alcanzar un peso constante y por medio de la siguiente fórmula se obtuvo el porcentaje de humedad:

$$CH = \frac{Phs - Ps}{Pss} * 100$$

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 trituró en un molino se tamizó, la muestra se homogenizó. 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 fórmula:

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

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

P_m : Peso fresco de la muestra (g)

Para obtener biomasa seca se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

B : Biomasa (t); P : Peso total humedo (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:

$$CA = B_s * F_c$$

Donde: CA : Carbono almacenado; B_s : Biomasa seca; F_c : 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 Marquez (1997), en forma modificada e 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 submuestras de suelo se obtuvieron en el área de muestreo de las hojarascas, extrayendo 3 muestras de suelo por dirección para un total de 12 submuestra por parcela de 250 m².

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 (g/cm³); P : Profundidad del suelo(cm)

El contenido de carbono será reportado en kgha⁻¹ y transformado a tonha⁻¹.

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

(p1), para llevar al laboratorio y secar en un horno a 105° C hasta peso constante.

5. Después de secar, pesar nuevamente (p2).

6. Calcular la densidad aparente: $D_a = \text{Peso seco} / \text{Volumen del cilindro}$.

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 utilizado en los proyectos internacionales U \$ 10.00 por tonelada.
- 2) El valor en los proyectos negociados por Implementación Conjunta en Costa Rica U\$ 5.00 por tonelada.
- 3) El valor real actual pagado de servicios ambientales vigente, estimado en U\$ 1.53 por tonelada.

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 ton/ha de C: estructurada por Café Catimor (plantada 1.0 –1.66 m), asociado con guaba (*Inga vera*), 8-9 años (9.0 x 6.0 m). La edad de los árboles y cafeto está íntimamente ligado 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 ton/ha de C; Café Catuai (0.93 *1.75 m) más guaba (*I. vera*), 9-10 años y nogal (*J. olanchanum*), 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 de C; Café Pacamara (1.41*1.73 m), combinado con cinco especies arbóreas (*I. vera*; *E. fusca*; *E. poeppigiana*; *C. shiediumun*; *S. 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 como también el aporte de hojarasca al suelo. La especie más predominante en el sistema es 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, 2003

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

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

N: numero de repeticiones

Cuadro 2. Especies y densidades de árboles de sombra en tres tipología de Cafeto, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2003.

Tipología	Nombre Local	Especie arbórea		Edad (años)	Distanciamiento (m)		%	Ptas/Ha	Tipo Sombra
		N. común	N. Científico		Surco	Planta			
1	Canoas	Búcaro (poró)	<i>E. poeppigiana</i>	3 a 4	6.7	5.25	13.00	76	P
1	Canoas	Guaba	<i>I. vera</i>	3 a 4	6.7	5.25	35.40	208	P
1	Canoas	Helequeme	<i>E. fusca</i>	3 a 4	6.7	5.25	7.50	8	P
1	Canoas	Copalchil	<i>C. shiediumun</i>	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
Subtotal							100 %		
2	Alemania	Guaba	<i>I. vera</i>	8 a 9	9.00	6.00	100	176	P
Subtotal							100%		
3	Infierno	Guaba	<i>I. vera</i>	8 a 9	7.20	9.00	98.70	153	P
3	Infierno	Nogal	<i>J. olanchanum</i>	>50	-	-	1.30	2	P
Subtotal							100%		

Cuadro 3. Densidad y edad de cafeto en tres tipología, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2003.

Tipo	Variedad	edad	Distancia (m)		Área/ Plantas	Densidad (Ptas/ha)	Postura	Total Plantas
			Surco	Planta				
1	Pacamara	3 a 4	1.41	1.73	2.44	4 166	Doble	8 332
2	Catimor	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	12 290

En general el aporte de la hojarasca en las tres tipología es bastante mínima, esta oscilan de 5.08 – 6.81 ton/ha. de C, lo que representa un contenido de carbono de 0.96 – 1.66 ton/ha. 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. 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 t.on/ha en cafetales jóvenes hasta 23.06 t.on/ha 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 anexo 1b).

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).

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, 2003.

Profundidad (cm)	Contenido de carbono por tipología de cafeto (tMC/ha)								
	Tipología 1			Tipología 2			Tipología 3		
	Medias C (P<0.01)	Acum.	%	Medias C (NS)	Acum.	%	Medias C (P<0.01)	Acum.	%
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. de C, mientras que la Tipología (2) de 8-9 años presenta un valor de 76.93 ton/ha. de C. La Tipología (1) de 3-4 años, con menor contenido de C presenta el valor de 75.72 ton/ha 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 Muara, Jinotega, 2003.

Tipología	N	Media (tMC/ha)
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 bosque son grandes sumideros de carbono. Kanninen citando a Bolin y Sukamar, (2000), entrega cifras de 123 ton/ha. 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) 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 arcilloso y de baja capacidad de infiltración de agua que promueva el transporte interno del humus en la parte inferior del suelo, así como 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, entre otro.

La edad de la especie repercute en un mayor desarrollo de las raíces y mejora la estructuración del suelo, como también 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 de C pasto retana a pleno sol 84 ton/ha de C y Brachiaria-eucalipto (3 años) 87 ton/ha. 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. para el sistema Café-eucalipto (4 años), 161 ton/ha. para Café-eucalipto (6 años), 184 ton/ha. para Café-poró (más de 10 años) y 153.9 ton/ha 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. 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/ha. 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 depósitos de almacenamiento y tipologías de café.

El almacenamiento de carbono en las diferentes tipologías. La tipología tres reportó en promedio la mayor cantidad de carbono almacenado con 98.22 ton/ha. de C siguiéndole en orden el tipo dos con 78.66 ton/ha de C y por último el tipo uno con 76.96 ton/ha 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 ton/ha), siguiéndole en orden el depósito de hojarasca que oscila de 1.24 - 2.11 % (0.96 – 1.66) ton/ha. de C.

La media del total de C almacenado en el suelo por el agrosistema cafetalero es de 90 ton/ha. 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 8. Contenido de carbono en los diferentes deposito de Almacenamiento, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2003.

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

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 practica, sin embargo, la valoración se complica por el hecho de que todavía no existe un mercado abierto, liquido y estable para el secuestro de carbono (Ramírez y Gómez, 1999).

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 U\$ 31/ton/ha. 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\$ t⁻¹); 2) el valor en los proyectos negociados por Implementación Conjunta en Costa Rica (5 U\$ t⁻¹); 3) valor real actual pagados a los productores nacionales, según el pago de servicio ambiental vigente estimado en U\$1.53 t⁻¹.

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 9: presenta 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 al tipología 2 y 1.

Cuadro 9. Promedios de carbono almacenado y su valor económico por tipologías de estudio, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2003.

Tipología	ton/ha 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
Promedio	84.28	128.95	421.40	842.80

De acuerdo a las edades y tipología de cafeto, se obtiene un promedio de almacenamiento de 84.28 ton/ha. 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 deC.

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 de C, seguido de las tipologías tres y uno con 1.22 y 0.92 ton/ha 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 de C, seguida de las tipología 2 y 1 con 77 y 76 ton/ha de C, respectivamente.
- La mayor cantidad de C almacenado en los tres deposito del suelo corresponde a la tipología 3 con 98.22 ton/ha de C siguiéndole la 2 y 1 con 78.86 y 76.96 ton/ha 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 de C, si se estima un costo moderado de U\$ 5.00 dólares por ton/ha deC, obtenemos U\$ 421.40/ha. 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 mangium* 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 conocimientos. 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/ODA/MINAE. 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; Heuveltop, J; Enriquez , W; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) o poró (*Erythrina 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 sicultura 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 pácelas 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 respuesta 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).