

CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN SUELO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) CON SOMBRA EN LA COMARCA PALO DE SOMBRERO, JINOTEGA, NICARAGUA.

Cristóbal Medina Benavides¹, Marlon Pérez Z.² y Johann Ruiz Q.²

¹Departamento de Gestión Ambiental, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

Tel: 2331501, 2331146, E-mail: cristobm@una.edu.ni

² Ing. Suelos y Agua de la Universidad Agraria.



RESUMEN

Las emanaciones de gases provocan 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 del 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, Thypic entic Hapludoll y Thypic cumulic Argiudolls. Se identificaron tres tipologías de cafeto 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.

ABSTRACT

The emanations of the greenhouse gases cause the additional warming of the atmosphere and the surface of the earth planet. The agroforestry systems are potential sinks of carbon dioxide (CO₂) which can contribute to mitigate the effect of the global emissions mainly of CO₂. 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 at Santa Maura farm, Jinotega, altitude 1000 – 1250 masl, the average temperature ranges from 19 to 23° C, the soils are: Vertic aquic argidolls, Typic entic hapludoll, and Typic cumulic argiudolls. Three typologies of coffee systems were identified according to their variety, age, and density. A systematic sampling at 2 % was performed, the sampling unit is the circular plot 250 m². Dried leaves samples were taken with a metallic piece of 0.25 m² to determine organic carbon, similarly, soil samples were collected to three depth 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm. The carbon found in the tissue of the dried leaves was determined by the method of Schollemberger and from the soils by Walkley – Black method. The C stored showed significance among the typologies ($p < 0.01$). When the mean separation was calculated by Tukey, the typology number three showed the highest average of C content with 98.22 C ton/ha, followed by typology number two with 78.66 C ton/ha and type one with 76.96 C ton/ha. Between the last two typologies not statistical differences were found. The C storage

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.

in the soil had an average of 84.28 C ton/ha the biggest part was found on the mineral soil: 83 C ton/ha (98.48 %), followed by the dried leaves with 1.28 C ton/ha (1.52 %). The difference of C content in the soil among typologies, is directly associated to the change of land use, coffee plant density, specie of shade tree and age.

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 en la atmósfera ha subido un 30%.

Una forma de disminuir el efectos del CO_2 , es almacenarlo en la biomasa mediante la fotosíntesis y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica representada en 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_2 y liberar Oxígeno. El cultivo del café en Nicaragua puede genera beneficio ambiental 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 área 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 el carbono almacenado en el suelo del sistema agroforestales de café. 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 y de esta manera contribuir 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. Ubicada a los 13° 05' de latitud Norte y 86° 00' de longitud Oeste. Según la clasificación Koppen 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).

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). 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). El suelo es un Thypic 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 9.0 m) y nogal (*Juglanolanchanum*), mas de 50 años. El café más guaba tiene similar edad. El suelo es un Thypic cumulic Argiudolls, textura franco arcillosa, pendiente de 45 a 70 % y un área de 8.8 ha.

Diseño del muestreo. Se estimó el numero de parcelas en base al 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.. En cada parcela se anidó cuatro subparcela cuadradas de 0.25m² cada una. El diseño de muestreo utilizado es un estratificado, dentro del estrato se ubicaron parcela de manera sistemática cada 50 m. Dentro de cada parcelas se tomarón los elementos de muestreo de hojarasca y suelo (Marquez, L. 1997).

Hojarasca: Para la hojarasca se tomarón cuatro submuestras de cada parcela, utilizando marcos de 0.25 m².

Para los sistemas de café, consistió en ubicar cuatro puntos en diferentes direcciones geográficas (Norte, Sur, Este y Oeste); a partir de un árbol de referencia y a dos distancias diferentes y las otras al azar de las cuales se tomaron muestras correspondiente a cada dirección, se homogenizaron para obtener una muestra compuesta por parcela. Esta fueron enviadas al laboratorio para determinar la fracción de carbono. Para el cálculo de la biomasa en esta fuente se obtuvo el peso total húmedo (PhBt) proveniente de un 1 m² (Marquez 2000 y Schelegel B. *et al.*, 2001) 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:

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

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. El porcentaje de materia seca se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia seca} = (Cm - Pc) / Pm * 100$$

Donde: Cm: Cápsula más la muestra seca; Pc: Peso de la cápsula (g); Pm: 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 húmedo (t); MS: Materia seca (%)

Carbono Almacenado en Hojarasca: 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 proyectan a hectárea y se expresan en ton/ha de C.

Suelo: Se tomaron muestras 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 hojarasca, extrayendo 3 submuestras 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 (López *et al.*, 1999, Marquez 2000 y Schelegel B. *et al.*, 2001) 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 se reportó en kg ha⁻¹ y transformado a ton ha⁻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).

Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza con el fin de encontrar si existen diferencias significativas de la fracción de carbono en la 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 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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 diferencias significativas (P < 0.05). Según las separaciones de medias por Tukey, las tipologías 2 y 1 difieren estadísticamente en el contenido

de C, mientras la tipología 3 no presenta diferencia significativa con las tipologías 1 y 2.

El mayor contenido de carbono en la hojarasca se encuentra en la tipología 2 con 1.7 ton/ha de C: conformada 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 (cuadros 1 y 2). 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. (cuadros 1 y 2). 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.

En general el aporte de biomasa en la hojarasca por las tres tipología es bastante mínima, esta oscilan de 5.08 – 6.81 ton/ha, lo que representa un contenido de carbono de 0.96 – 1.66 ton/ha de C (figura 1). 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.

Contenido de carbono en diferentes profundidades del suelo y tipología de cafeto. 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 ($P <$

Cuadro 1. Especies y densidades de árboles de sombra en tres tipologías de Cafeto, Hacienda Santa Maura, Jinotega.

Topología	Nombre Loca	Especie arbórea		Distanciamiento			%	Plantas/ha	Tipo de 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
	Canoas	Guaba	<i>I. vera</i>	3 a 4	6.7	5.25	35.40	208	P
	Canoas	Helequeme	<i>E. fusca</i>	3 a 4	6.7	5.25	7.50	8	P
	Canoas	Copalchil	<i>C. shiediumun</i>	3 a 4	6.7	5.25	24.50	144	T
	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
	Infierno	Nogal	<i>J. olanchanum</i>	>50	-	-	1.30	2	P
Subtotal	100%								

P: Permanente; T: Temporal

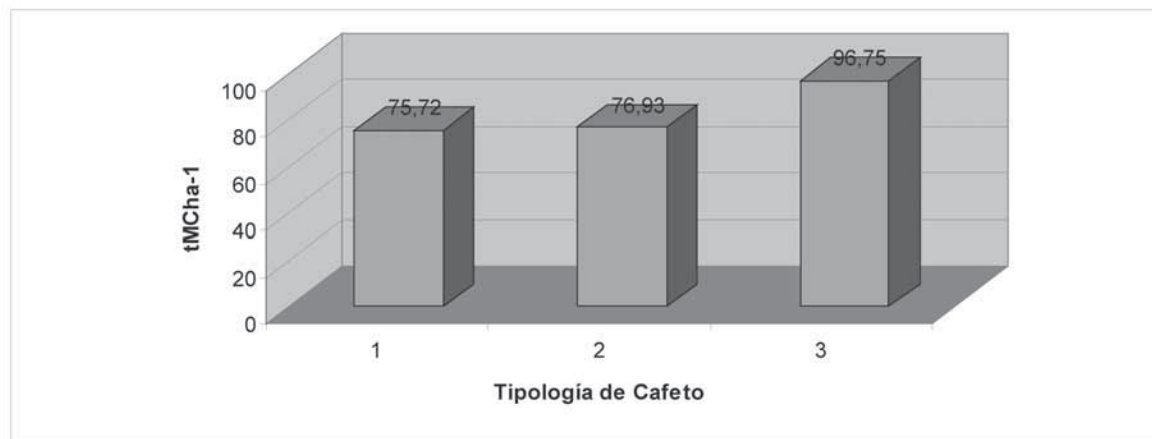


Figura 1. Contenido de carbono en hojarasca en tres tipologías de cafeto. Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua

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 profundidades del suelo.

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 (figura 2). La concentración de C en el suelo puede estar relacionado con la tasa de aporte de hojarasca, des-

composición, tipo de suelo, drenaje, lluvia, temperatura y manejo del suelo.

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. (figura 3).

El alto contenido de carbono en el suelo en la Tipología 3, puede estar influenciado por un acumulado en

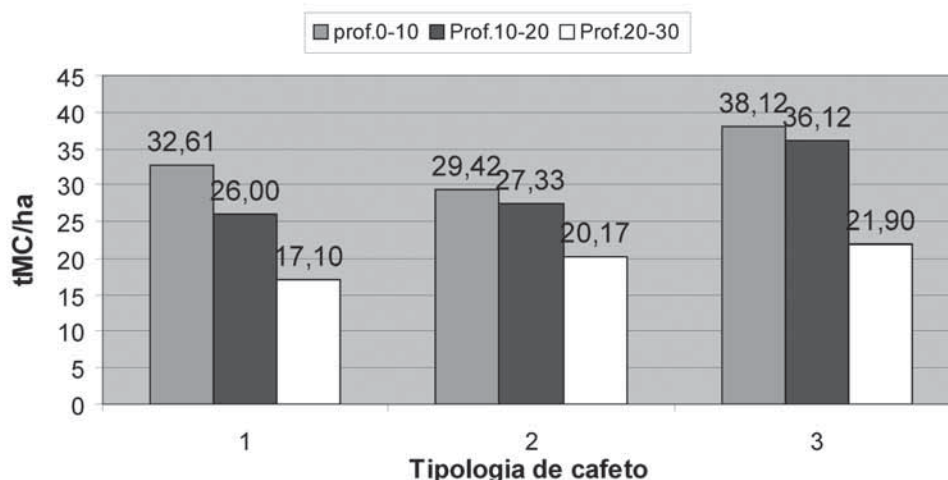


Figura 2. Almacenamiento de carbono promedio a diferente profundidad y tipología. Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua.

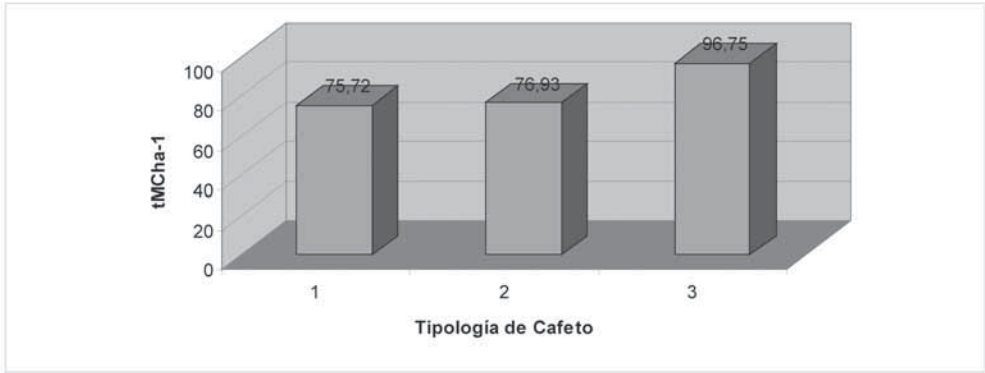


Figura 3. Valores totales de carbono almacenado en suelo mineral a una profundidad de 0-30 cm por tipología de cafeto. Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua.

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. 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 arcillosos 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 2 esta influenciado por efecto de la edad (8-9 años), mientras que el tipo 1, 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 especies 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.

Contenido total de carbono en los diferentes depósito 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. 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⁻¹ de C. El rango de almacenamiento va desde 76.96 tonelada en la tipología uno hasta 98.22 en la tipología tres. Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de carbono en los diferentes deposito de Almacenamiento, Hacienda Santa Maura, Jinotega

Componente	Topología de cafeto						Total	Media	Rango
	1		2		3				
	TC	%	TC	%	TC	%			
Hojarasca	0.96	1.25	1.66	2.11	1.22	1.24	3.84	1.28	1.22 – 1.66
Suelo	76.00	98.75	77.00	97.89	97.00	98.76	250.00	83.00	76 -97
Totales	76.96	100.00	78.66	100.00	98.22	100.00	253.84	84.28	

CONCLUSIONES

En el depósito hojarasca para el almacenamiento de C en las tres tipología estudiadas, el tipo 2 fue la que obtuvo la mayor cantidad de carbono con 1.67 ton/ha de C, seguido de las tipologías 3 y 1 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 (hojarasca y 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 y cambio del uso del suelo.

RECOMENDACIONES

Diversificar las especies de sombra de árboles de mayor crecimiento en altura y grosor, asimismo, considerar los diferentes estratos de altura, respetando el porcentaje de iluminación del cafeto. De esta manera contribuir a promover la mayor captura de carbono en el sistema productivo de café.

Mantener densidades de plantación que permitan proteger el suelo de la erosión, evitando la pérdida de la fertilidad del suelo y como fuente de depósito de carbono.

Realizar estudios comparativos con otros sistemas productivos que capturen y almacenen carbono.

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.

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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FENZL, N.** 1988. Nicaragua: geografía, clima, geología, hidrogeología. Belém, FPA/INETER/INAN. Managua, Nicaragua.
- LÓPEZ, A.** 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 Pp. 51 – 53
- MACDIKEN, K. G.** 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry institute for agricultural development. 87 p.
- 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.
- MÁRQUEZ, L.** 2000. Elementos Técnicos para Inventario de Carbono en el uso del suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31 p.
- POST WH. EMANUEL WR. ZINKE PS AND STANGENBERGER AG.** 1982. Soil carbon pool and world lifezones nature. 298:156-159
- 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. Pp. 1-9.