

ARTÍCULO ORIGINAL**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO ALMACENADO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DEL CAFETAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA****ESTIMATION OF BIOMASS AND CARBON STORED IN AN AGROFORESTRY SYSTEM OF THE CAFETAL OF THE UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

José Wilfredo Zavala Solórzano
 Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
 Correo electrónico: jose.zavala@unas.edu.pe
 Código ORCID: 0000-0002-2990-6290

Sandra Lorena Zavala Guerrero
 Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
 Correo electrónico: slzavalag@gmail.com
 Código ORCID: 0000-0002-9871-994X

Luis Germán Mansilla Minaya
 Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
 Correo electrónico: luis.mansilla@unas.edu.pe
 Código ORCID: 0000-0003-4620-4175

Recepción: 11 de mayo de 2018

Resumen

La investigación tuvo como objetivo determinar la cantidad de biomasa y su contenido de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en el cafetal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de la Facultad de Agronomía, en la Divisoria; y estimar la captura de carbono en los componentes en cada Sistema de Uso de la Tierra, y el almacenamiento del carbono en un suelo Inceptisols. El trabajo se realizó en 2 etapas, en la primera fase de campo, se trazaron 3 transectos en el cafetal de 5 hectáreas para luego realizar las evaluaciones correspondientes; y en la otra fase de laboratorio se realizaron algunos procesos de determinación de carbono. La biomasa aérea en árboles vivos fue de 148.10 t.ha⁻¹, la biomasa del café fue de 51.39 t.ha⁻¹, la biomasa de hojarasca 12.49 t.ha⁻¹ y la biomasa arbustiva fue de 7.45 t.ha⁻¹ haciendo una biomasa total en el SAF con café de 219.43 t.ha⁻¹. Asimismo, el carbono almacenado en la biomasa en los arbustos fue de 0,95 t C.ha⁻¹; en las hojarascas de 1.90 t C.ha⁻¹, en el café 8.42 t C.ha⁻¹, en el componente arbóreo 25.17 t C.ha⁻¹ y en el suelo 148.24 t C.ha⁻¹, con un total de carbono almacenado en el SAF con café de 184.68 t C.ha⁻¹. La mayor captura de carbono total almacenado se dio en el ecosistema terrestre (suelo) con 148.24 t C.ha⁻¹ y la menor captura fue el componente arbustivo con 0,95 t C.ha⁻¹. La edad del cultivo de café es un factor que influye en el secuestro y almacenamiento de carbono, siendo necesario determinar la curva de mayor almacenamiento de dióxido de carbono.

Palabras clave: Inceptisols, dióxido de carbono, biomasa, carbono almacenado, SAF.

Aceptado: 20 de junio de 2018

Abstract

The study aimed to determining the amount of biomass and carbon stored in agroforestry coffee (*Coffea arabica*) in the coffee plantation in the Universidad Nacional Agraria de la Selva, Faculty of Agronomy in the Divisoria; and estimates the carbon sequestration in the components in each system Land Use and carbon storage in soil Inceptisols. The work was done in two stages, phase field, where they charted three transects on 5-hectare coffee plantation and then make the appropriate assessments; and other laboratory stage where some carbon determination processes were performed. Aboveground biomass in live trees was 148.10 t.ha⁻¹ biomass of 51.39 t.ha⁻¹ coffee, litter biomass and 12.49 t.ha⁻¹ shrub biomass by 7.45 t.ha⁻¹ in total biomass SAF with coffee 219.43 t.ha⁻¹. The carbon stored in biomass in the bushes was 0.95 C.ha⁻¹; in litter 1.90 C.ha⁻¹, coffee 8.42 t C.ha⁻¹, the tree component 25.17 t C.ha⁻¹ and soil 148.24 t C.ha⁻¹, with a total carbon stored in the SAF with coffee 184.68 t C.ha⁻¹. Most total carbon capture occurred in the terrestrial ecosystem (soil) with 148.24 t C.ha⁻¹ the lowest catch was the bush component 0.95 t C.ha⁻¹. The coffee crop age is a factor in carbon sequestration and storage, being necessary to determine the curve increased storage of carbon dioxide.

Key Word: Inceptisols, carbon dioxide, biomass, carbon stocks, SAF.

Los autores©. Este artículo es publicado por la Revista Investigación y Amazonía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Este es un manuscrito de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se cite adecuadamente la obra original.

Introducción

Generalidades

Dióxido de carbono (CO₂)

Es fundamental en el equilibrio gaseoso, una parte del CO₂ se preserva en la atmósfera, otra, en forma de carbonatos, va a dar a los océanos, donde los organismos marinos lo depositan en el fondo del mar y una tercera parte, tomada por los vegetales, es retenida en sus tejidos y parcialmente introducida al suelo donde se fosiliza, una pequeña fracción se agrega también por emisiones volcánicas. El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero (GEI), responsable de las dos terceras partes de volúmenes emitidos y calentamiento proporcional (1). Los bosques regulan el 70 % del flujo de carbono entre la biosfera y la atmósfera, se explica esto por los altos contenidos de moléculas carbónicas en la xilomasa, la lignina y celulosa están conformadas en 49 % de carbono, 2.2 t que son capaces de generar 1 t de carbono. Se estima en 5.7 t el volumen de carbono emitido a la atmósfera cada año, consecuencia de la quema de combustibles fósiles y de bosques y desmontes. Son los sumideros mayores, bosque y océanos, retienen alrededor de 4 t carbono (2).

Carbono almacenado

La cantidad de carbono secuestrado se relaciona a la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad y determinada por las condiciones del suelo y clima. Las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera basando en el hecho de que durante la fotosíntesis se fija carbono, que luego utilizan para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10t de carbono por hectárea/año de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar (3).

Secuestro o Fijación de carbono

Es el proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación. Estas intervenciones pueden ser programas de manejo de suelos con reforestación, agroforestación o conservación de suelos. Generalmente los estimados de las cantidades fijadas de carbono se expresa en toneladas de carbono por hectárea por año (t/ha/año). Se puede medir en diferentes sistemas de uso de la tierra cuyos antecedentes (tiempo de uso principalmente), son conocidos por los agricultores. Estos sistemas pueden ser el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas, sistemas agroforestales, barbechos mejorados, sistemas silvopastoriles, etc.

Así en todos estos sistemas se determina el secuestro de carbono (4). El almacenamiento de carbono fue mayor en la biomasa arbórea de los árboles vivos en todos los sistemas evaluados; asimismo, los diferentes sistemas de usos de tierra presentan biomasa heterogénea en función a las especies y al tipo de los suelos; siendo este último influyente de la predominancia y desarrollo de las especies vegetales (5).

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 (6).

Importancia de los sumideros de carbono

Si las predicciones actuales sobre el calentamiento atmosférico son correctas, no solo necesitamos proteger y manejar los bosques de hoy, si no que debemos plantar activamente más árboles a fin de crear los sumideros de carbono que sean necesario para mitigar los errores del pasado. El protocolo de Kyoto alienta las actividades de reforestación, forestación ofreciendo oportunidades para obtener créditos de emisiones de carbono, el objetivo es que estos créditos puedan luego negociarse entre las distintas partes (7).

Carbono en los suelos

Los suelos en los ecosistemas terrestres contienen 2 a 4 veces más carbono en forma de sustancia inerte, la producción neta primaria se encuentra entre 120 y 170 mil millones t.ha⁻¹ de materia seca lo que equivale a 75 mil millones t/ha de carbono, de los cuales 2/3 son producidos en ecosistemas terrestres y 1/3 en ecosistemas marinos la misma cantidad de carbono es respirada anualmente y retornada al medio ambiente como CO₂ se determinó también que un 1/3, y a veces la mitad o más, de la energía y carbono que se incorpora al bosque, se encuentra en el suelo en forma de hojarasca (8).

Biomasa y carbono

La biomasa es el volumen total de materia orgánica sobre la tierra, la escala de interpretación es arbitraria: árbol, hectárea, región, país, etc. Es la densidad de biomasa el mismo concepto expresado por unidad de área (ha). El producto entre densidad de la biomasa por la superficie, dará la biomasa total

del espacio requerido (9). Dado a un factor de proporcionalidad entre la biomasa forestal y su contenido de carbono entre 0.45 y 0.5, se precisa la estimación que es fundamental. En consecuencia, los inventarios forestales son el punto de partida para estimación de carbono, Midiendo directamente la biomasa y deduciéndola por modelos alométricos; resultados de regresiones de grandes volúmenes de información en campo (9).

Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación se desarrolló en una parcela de café, en Río Azul en el Fundo “UNAS” de la Facultad de Agronomía, ubicada en el distrito Hermilio Valdizán, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, el cual se encuentra a una altitud de 1500 m.s.n.m. El cultivo de café evaluada tiene un promedio de 10 años y una extensión de 5 hectáreas, de variedad caturra, con un distanciamiento de 2mx1.5 m, asociada con guaba y otras especies forestales, con una producción promedio de 900 kg.ha⁻¹.

Metodología

La ejecución del presente trabajo se realizó en dos etapas, en la primera fase de campo, se trazaron tres transectos en el cafetal en 1 hectárea, para luego realizar las evaluaciones correspondientes; y en la segunda fase de laboratorio se realizaron algunos procesos de determinación de carbono como:

Determinación de biomasa en sistema agroforestal:

Biomasa vegetal aérea total (BVT)

Para calcular la cantidad de biomasa total se sumaron la biomasa de todos los árboles medidos y registrados (BAV) tanto en la parcela de 4mx100m o en la de 4m x 25m. la metodología que se siguió corresponde a lo establecido por CATIE (10), donde se usa la siguiente formula:

$$BVT (t.ha^{-1}) = (BAVT + BAH + Bh).....(1)$$

Dónde:

- BVT = Biomasa vegetal total t.ha⁻¹.
- BAVT= Biomasa total de árboles vivos de 4m x 25m o 4mx100m.
- BAH = Biomasa arbustiva y herbácea.
- Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca.

Biomasa arbórea viva (café y otras especies)

Evaluación de las especies encontradas

Se estimó la biomasa arbórea de las especies encontradas en el transecto trazado de 4m x 100 m, la cual fue determinada por las medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP_{2.25m}). Se calculó la biomasa de cada uno de los arboles vivos en pie, utilizando el siguiente modelo de ecuación recomendado por Arévalo *et al.* (11):

$$BA = 0,1184 dap^{2,53} (2)$$

Dónde:

- BA = Biomasa árboles vivos (kg. árbol⁻¹)
- 0,1184 = Constante
- dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)
- 2,53 = Constante

Para árboles que se ramificaron debajo del DAP. Se estimó su biomasa después de calcular el diámetro general del árbol, utilizando la fórmula raíz cuadrada de la suma de las ramas individuales.

$$d = \sqrt{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n} (3)$$

También se consideró nominarse en todos los casos los nombres locales de cada árbol, si era ramificado (R) y si no (NR), también el uso del índice de la densidad de la madera de la especie (alta 0.6, media 0.4 y baja 0.2).

Evaluación de la biomasa de las plantas de café

Se calculó realizando la evaluación de todas las plantas de café, considerando el área de evaluación determinando el diámetro del tallo a 30 cm del suelo, y la altura total de la planta. Una vez determinadas las medidas, se procedió a realizar el cálculo de la biomasa del café, para lo cual se usó el modelo de tipo logarítmico, utilizando Diam₃₀ como variable independiente. La ecuación empleada fue la recomendada por Suarez (12):

$$\ln B = -2.39 + 0.95 \ln(d) + 1.27 \ln(h) (4)$$

Dónde:

- B = Biomasa
- Ln = Logaritmo natural
- d_{30cm} = diámetro (cm)
- h = altura (m)
- Constantes = - 2,39; 0,95 y 1,27

Biomasa arbustiva y herbácea

En la biomasa arbustiva y herbácea se consideró las plantas con tallos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. La biomasa se estimó por muestreo directo en tres cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidas al azar dentro de las parcelas de 4 m x 25 m y en 4 m x 100 m cortándose la vegetación a nivel del suelos, se llenaron en bolsas plásticas codificadas, luego en el laboratorio se registró el peso fresco total por metro cuadrado, del cual se sacó una sub muestra y también se registró el peso fresco, luego se colocó en una bolsa de papel debidamente codificada y se colocó en la estufa por 24 horas a temperaturas de 75°C a más, hasta obtener peso seco constante. El peso seco de esta biomasa se convirtió a t.ha⁻¹. Para estimar la biomasa arbustiva/herbácea se utilizó la siguiente ecuación planteada por CATIE (10):

$$BAH(t. ha^{-1}) = ((PSM/PFM) x PFT))x0.01 (5)$$

Dónde:

BAH = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca
PSM = Peso seco (gr) de la muestra colectada
PFM = Peso fresco (gr) de la muestra colectada
PFT = Peso fresco total (gr) por metro cuadrado
0,01 = Factor de conversión

Biomasa de la hojarasca

Se cuantifico en base a la hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas) en cuadrantes de 0.5m x 0.5m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1m x 1m. Se colocó toda la hojarasca en bolsas de polietileno con su codificación correspondiente y fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelo para su evaluación, donde se registrando su peso fresco total por 0.25 m², de esta se sacó una muestra y se registró su peso fresco y luego se colocó en una estufa a temperatura constante 75°C, hasta obtener un peso seco constante. El peso seco de esta biomasa se convirtió en t.ha⁻¹ y este valor se multiplico por el factor de 0.45, obteniéndose la cantidad de C.ha⁻¹. Para lo cual se utilizó la siguiente formula:

$$Bh \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04 \dots\dots\dots(6)$$

Dónde:

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca
PSM = Peso seco (gr.) de la muestra colectada
PFM = Peso fresco (gr.) de la muestra colectada
PFT = Peso fresco (gr.) total por metro cuadrado
0,04 = Factor de conversión

Determinación del carbono total almacenado en el SAF

Para determinar la biomasa aérea total se utilizó la siguiente ecuación:

$$CBV \text{ (t. ha}^{-1}\text{)} = BVT \times 0.45 \dots\dots\dots (7)$$

Dónde:

CBV = Carbono en la biomasa vegetal
BVT = Biomasa vegetal total
0,45 = Constante determinada por convención

Determinación de carbono en el suelo

En los cuadrantes señalados para el muestreo de biomasa herbácea, se hicieron mini calicatas de 0.5 m de profundidad, donde se definió 3 capas de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm, y de 20 a 30 cm.

Cálculo de la densidad aparente del suelo (gr/cc)

$$DA \text{ (gr/cc)} = PSN/VCH \dots\dots\dots (8)$$

Dónde:

DA (gr/cc) = Densidad aparente, en gr/cc
PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro
VCH = Volumen cilindro (constante)

Cálculo del peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo

$$PVs \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = DA \times Ps \times 10\ 000 \dots\dots\dots(9)$$

Dónde:

PVs = Peso del volumen de suelo
DA = Densidad aparente
Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo
10 000 = Constante

Para determinar el carbono en el suelo, este parámetro fue determinado a través de la descripción morfológica del perfil o monolito de suelos haciendo mini calicatas, donde mostraron una conformación diferente de sus capas, por lo cual, se realizó la extracción de muestras de suelos (0.5 Kg) de cada capa para realizar el cálculo del contenido de carbono en el laboratorio de suelos de las UNAS a través del método de calcinación. Cabe mencionar que el contenido del suelo para cada sistema fue determinado por la suma de todos sus horizontes.

El método de calcinación consistió en realizar el peso inicial de un crisol, luego el peso del mismo más 1 g de suelo seco; el suelo fue previamente llevado a una mufla a temperaturas superiores a los 600°C por un lapso de 48 horas, de allí proviene la ceniza. Conocidos los pesos del crisol más suelo y crisol más ceniza, se determinó el porcentaje de materia orgánica mediante:

$$MO = 1 - (W_c - (W_{c+cenizas})) \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

MO = Materia orgánica
W_c = Peso del crisol (g)
W_{c+cenizas} = Peso del crisol (g) más cenizas

Calculo del carbono en el suelo:

$$CS \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = (MO \times 100)/1.724 \dots\dots\dots (11)$$

Dónde:

CS = Carbono en el suelo en t/ha
MO = Materia orgánica
1.724 = Coeficiente de Van Vanmelen

Cálculo del carbono total del sistema de uso de tierra (t.ha⁻¹):

$$CT \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = CBV + CS \dots\dots\dots (12)$$

Dónde:

CT = Carbono total del sistema de uso de tierra
CBV = Carbono en la biomasa vegetal total
CS = Carbono en el suelo.

Resultados y discusión

Biomasa de un sistema agroforestal

El cuadro 1, y figura 1, muestran las diferencias de los resultados obtenidos entre los diferentes componentes evaluados, siendo la biomasa de árboles vivos con mayor representatividad en todos los componentes evaluados con 148.10 t.ha⁻¹, seguido de la biomasa del café con 51.39 t.ha⁻¹, la biomasa de hojarasca con 12.49 t.ha⁻¹ y la biomasa

arbusciva con 7,45 t.ha⁻¹. La biomasa total en el SAF con café es 219.43 t.ha⁻¹ superior a los valores de aportes de biomasa encontrados en los ensayos por Suarez (12) quien reporta valores entre 33 y 35,7 t.ha⁻¹ en SAF de café con sombra diversificada y especies maderables respectivamente, con árboles mayores a 10 m de altura en la región de Matagalpa, Nicaragua. Dzib (13) en un estudio realizado en cafetales con *Eucalyptus deglupta* en Costa Rica, encontró valores de aporte de biomasa entre 17,9 y 27,9 t.ha⁻¹; asimismo, encontró para tres especies forestales en cafetales aportes entre 28 y 77 t.ha⁻¹ que corresponden al eucalipto y laurel respectivamente.

Analizando los valores promedios de biomasa en café (51,39 t.ha⁻¹) estos son superiores, debido al número de plantas por hectárea en el estudio realizado en el Fundo "UNAS" el cual reporto un total de 3333 plantas.ha⁻¹ con un distanciamiento de 2m x 1,5m a comparación con el resultados

obtenidos por Salgado (14) quien separa el café a pleno sol del café con sombra que muestran valores entre 4.0 y 4.5 t ha⁻¹ encontraste con el pleno sol que reporta valores 3.3 y 3.7 t ha⁻¹. En Rio Azul en el Fundo "UNAS" de la Facultad de Agronomía, el promedio de biomasa aérea para la especie guaba (*Inga edulis*) fue de 384.53 kg/árbol utilizando árboles entre 19 y 40 cm de DAP mayor a lo encontrado por Salgado (14) que halló un promedio de 50.2 kg.árbol⁻¹ en árboles de 6 cm a 36 cm de DAP.

La cuantificación de la biomasa es una tarea relativamente compleja, sobre todo cuando se evalúa los estratos superiores de un ecosistema (8), es por ello que se empleó el método indirecto, aplicando las ecuaciones correspondientes, para bosque tropicales húmedos ya que, dicha ecuación se puede aplicar de manera general a bosques secundarios y maduros presentes en los climas húmedos.

Cuadro 1. Biomasa total de los componentes del sistema agroforestal - café

BIOMASA	Componentes del SAF con café				Total
	Arbustivo	Hojarasca	Café	Arbóreo	
Biomasa (t.ha ⁻¹)	7.45	12.49	51.39	148.10	219.43
Biomasa (%)	2.78	5.31	24.58	68.01	100

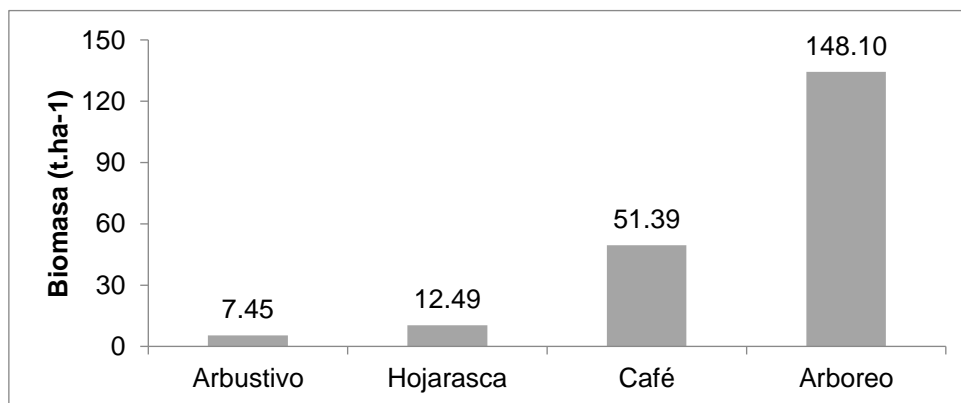


Figura 1. Biomasa total de los componentes del sistema agroforestal - Café

Carbono almacenado en el SAF con café.

A nivel de la biomasa aérea se muestra en cuadro 2, y figura 2, los arbustos se determinó con un contenido de 0.95 t C.ha⁻¹; mientras que en la hojarasca fue de 1.90 t C.ha⁻¹. Para el café se determinó un contenido de 8.42 t C.ha⁻¹, en el componente arbóreo 25.17 t C.ha⁻¹, siendo superior a todos los demás componentes el contenido de carbono en el suelo con 148.24 t C.ha⁻¹ representados por el 0.57, 1.10, 5.26, 14.29 y 78.29%, respectivamente. El total de carbono almacenado en el SAF de café es 184.68 t C.ha⁻¹.

El carbono total almacenado en los diferentes componentes del SAF de café en estudio, es similar a los resultados de Suarez (12) quien determinó 198.5 t C.ha⁻¹ en un SAF de café asociado con Poro, de libre crecimiento, donde las raíces de los árboles

y de las plantas de café contribuyen con el 2.2 % al carbono total. Este sistema representa el SAF con mayor potencial de almacenamiento hasta ahora reportado. Mientras que, Ávila (2) determinó un rango de almacenamiento de 120 a 195 t C.ha⁻¹ en cuatro SAF de café, tres asociados con *Eucalyptus deglupta* de 4, 6 y 8 años de edad y uno con poro (*Erythrina poeppigiana*), en el Valle Central de Costa Rica. Por otro lado, los resultados obtenidos en el estudio, superan los resultados encontrados para SAF de Guatemala, Alvarado *et al.* (1) indica que el carbono total almacenado en los SAF de café a nivel nacional, es de 64 – 111 t C.ha⁻¹ mientras que Winrock International (14) determinaron un rango de 73 - 100 t C.ha⁻¹ en la región San Juan la Laguna, Guatemala, siendo estos los de menor potencial de almacenamiento con un promedio de 85 t C.ha⁻¹. El alto contenido de carbono en el suelo,

puede estar influenciado por un acumulado en el cambio de uso del suelo de bosque a plantaciones de café. Los suelos de los bosques son grandes sumideros de carbono Robert (16), entrega cifras de 123 t C.ha⁻¹, superiores a los encontrados en el estudio (111,24 t C.ha⁻¹) almacenado en suelo de bosque tropical. El contenido de carbono, también va estar influenciado por la densidad de plantas de cafeto (3333 plantas/ha), 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. La edad de las 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. Los bosques y los pastizales son grandes potenciales en el almacenamiento de C en el suelo. Ávila (2) reporta carbono almacenado (0-25 cm) en pasto brachiaria a pleno sol por la cantidad de 66 ton/ha de C pasto a pleno sol 84 t ha⁻¹ de carbono y Brachiaria-eucalipto (3 años) 87 t.ha⁻¹ de carbono; asimismo, indica que estudios realizado sobre la cuantificación

estimada del dióxido de carbono fijado por el agro sistema café, encontró valores similares a lo nuestro donde reporta cantidades de carbono orgánico en el suelo que oscilan de 97.18 a 167.60 t C.ha⁻¹ en diferente niveles altitudinales y se observa el incremento de almacenamiento de carbono en el suelo conforme aumenta la altitud.

Piñan (17) en trabajos similares en café en el sector de Rio azul, encuentran resultados similares, con valores de CO₂ mayor en el suelo, debido al sistema de uso de tierra, asimismo, menores valores se encontraron en el sistema arbustivo hojarasca y café, debido al sistema de explotación del cultivo de café, en las cuales se hacen podas de renovación. Viena (5) menciona que, el almacenamiento de carbono es mayor en la biomasa arbórea de los arboles vivos en todos los sistemas evaluados; asimismo, los diferentes sistemas de usos de tierra presentan biomasa heterogénea en función a las especies y al tipo de los suelos; siendo este último influyente de la predominancia y desarrollo de las especies vegetales.

Cuadro 2. Carbono total de los componentes en un sistema agroforestal

	COMPONENTES					Total
	Arbustivo	Hojarasca	Café	Arbóreo	Suelo	
Carbono (t.ha⁻¹)	0.95	1.90	8.42	25.17	148.24	184.68
Carbono (%)	0.57	1.10	5.26	14.29	78.29	100

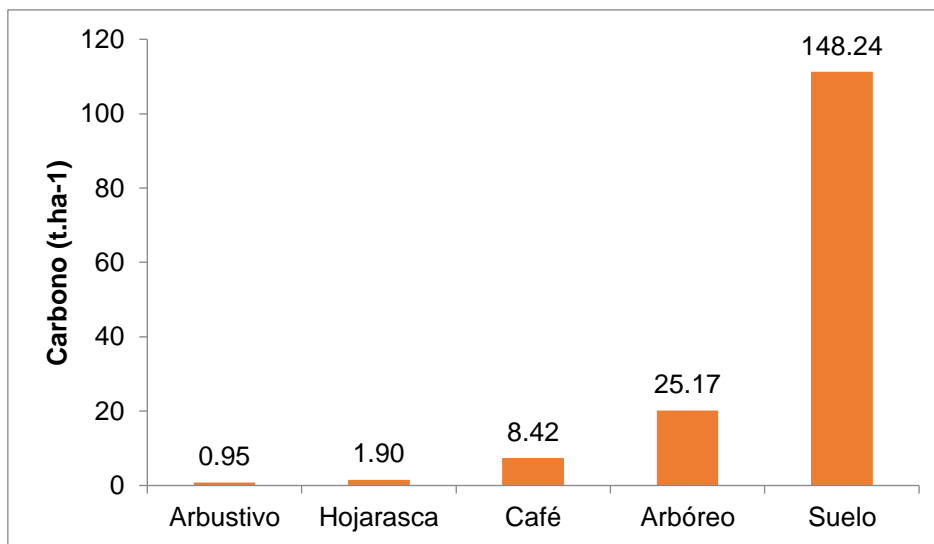


Figura 2. Carbono total en el sistema agroforestal con Café

En el cuadro 3, se obtuvo la biomasa en kg/árbol, promedio de los 3 transeptos en base al diámetro y altura de la planta de café, donde la mayor biomasa se obtuvo en el transecto II con 0.85 kg/árbol, siendo el promedio 0.81, mientras que en el cuadro 4, se obtuvo la biomasa en kg/árbol de las diferentes especies arbóreas y forestales donde la guaba tuvo entre 231.72 kg/árbol hasta 822.61 kg/árbol en base al DAP (cm) que fue de 33 cm, mientras que la

sangre de grado solo llego hasta 203.52 kg/árbol. debido a que la guaba desarrolla mayor cantidad de ramas, hojas, tallos, con mayor actividad fotosintética, por otro lado, en el cuadro 5, podemos ver la biomasa arbustiva herbácea en el SAF de café donde la menor biomasa se obtuvo en el transecto III con 0.94 t/ha. y la mayor biomasa en el transecto I con 2.81 t/ha. Debido a la presencia de malezas, hierbas, hojas, hojarascas, y rastrojos.

Cuadro 3. Diámetro, altura y biomasa de café en la Divisoria (Promedio de los 3 transectos).

Nº	Diámetro (cm)	Altura (m)	Biomasa (Kg/árbol)
1	4.80	1.75	0.81
2	5.10	1.92	0.85
3	4.90	1.68	0.78
Promedio	4.93	1.75	0.81

Cuadro 4. Diámetro y biomasa de los diferentes árboles y forestales.

Nº	Especies	DAP (cm)	Biomasa (Kg/árbol)
1	Guaba	20	231.72
2	Guaba	22	294.90
3	Sangre de Grado	19	203.52
4	Guaba	30	646.35
5	Guaba	31	702.26
6	Guaba	33	822.61
Total			2901.35

Cuadro 5. Biomasa arbustiva y herbácea en el SAF de café.

Trans.	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)
I	1	950	100	25.25	2.40
I	2	900	100	31.20	2.81
I	3	940	100	24.26	2.28
II	1	600	100	29.02	1.74
II	2	700	100	22.70	1.59
II	3	800	100	18.36	1.47
III	1	650	100	24.96	1.62
III	2	550	100	21.91	1.21
III	3	500	100	18.89	0.94

Trans. = Transecto

PFT = peso fresco total de la biomasa arbustiva y herbácea.

PFM = peso fresco de la biomasa arbustiva y herbácea.

PSM = peso seco de la biomasa arbustiva y herbácea.

En el cuadro 6 nos muestra la biomasa de la hojarasca en el SAF café en t/ha donde la mayor biomasa presento en el transecto II con 4.79 t/ha y la menor biomasa en el mismo transecto II con 2.29

t/ha. Debido a las hojas y hojarasca que se encuentran en la superficie del suelo ya que en esta parcela presenta mayores residuos y restos.

Cuadro 6. Biomasa de hojarasca (t.ha⁻¹) en el SAF de café.

Trans.	Muestra	PFT (g)	PSM (g)	PFM (g)	Biomasa(t/ha)
I	1	200	100	30.03	2.40
I	2	260	100	29.50	3.07
I	3	300	100	31.52	3.78
II	1	250	100	31.61	3.16
II	2	350	100	34.18	4.79
II	3	200	100	28.64	2.29
III	1	300	100	33.98	4.08
III	2	250	100	35.20	3.52
III	3	300	100	33.98	4.08

Trans. = Transecto

PFT = peso fresco total de hojarasca por 0.25 m²

PFM = peso fresco de la muestra de hojarasca.

PSM = peso seco de la muestra de hojarasca.

Mientras que en el cuadro 7, se puede observar el porcentaje de materia orgánica en el suelo siendo mayor el contenido de materia orgánica en la primera capa de 0 a 10 cm, con valores de 2.589 % y a medida que se profundiza o a mayor profundidad, es decir entre 20 a 30 cm, los valores

descienden a 0.658 % debido a que sobre la superficie está la mayor cantidad de biomasa, con presencia de hojarasca que al descomponerse incrementan el nivel de materia orgánica, carbono y nitrógeno principalmente en la primera capa de 0 a 10 cm.

Cuadro 7. Materia orgánica del suelo a diferente profundidad (calcinación)

Profundidad	W crisol	Wcrisol+cenizas	M.O (%)
0 - 10cm	20.2112	22.987	2.589
10 - 20cm	20.1648	21.019	1.892
20 - 30cm	20.1998	19.056	0.658

Conclusiones

1. La biomasa aérea total que se obtuvo en el SAF con café es; biomasa de árboles vivos 148.10 t.ha⁻¹, biomasa del café 51.39 t.ha⁻¹, biomasa de hojarasca 12.49 t.ha⁻¹ y la biomasa arbustiva con 7.45 t.ha⁻¹ haciendo una biomasa total en el SAF con café de 219.43 t.ha⁻¹.
2. El carbono almacenado en la biomasa del SAF con café fue; en los arbustivos 0,95t C.ha⁻¹; hojarasca 1.90t C.ha⁻¹. Para el café 8.42t C.ha⁻¹, en el componente arbóreo 25.17t C ha⁻¹, en el suelo con 148.24t C.ha⁻¹ representados por el 0.58, 1.10, 6.26, 13.29 y 79.29% respectivamente con un total de carbono almacenado en el SAF de café de 184.68t C.ha⁻¹.
3. La mayor captura de carbono total almacenado se dio en el ecosistema terrestre (suelo) con 148.24t C.ha⁻¹ y la menor captura fue el componente arbusto con 0,95 t C.ha⁻¹.
4. El porcentaje de materia orgánica en el suelo es mayor en la primera capa de 0 a 10 cm con valores de 2.589% y a mayor profundidad disminuye con valores de 0.658% en la capa de 20 a 30 cm., por la mayor biomasa, que al descomponerse incrementan el nivel de materia orgánica, carbono y nitrógeno.
5. La edad del cultivo de café es un factor que influye en el secuestro y almacenamiento de carbono, siendo la edad de 8 a 16 años en la cual el sistema agroforestal de café almacena mayor cantidad de CO₂.

Referencias bibliográficas

1. Alvarado J, López D, Medina B. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE. 1999; 7-14.
2. Ávila G. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. [Tesis M.Sc.] Turrialba, Costa Rica. 2000.
3. Alvarado J, Andrade H, Segura M. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano. Colombia Forestal. Tolima, Colombia. 1993; 20-31.
4. López A. Aporte de los sistemas Silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. [Tesis M.Sc.] CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1998.
5. Viena H. Estimación de la biomasa y almacenamiento de carbono bajo cuatro sistemas de uso de la tierra en la provincia de Leoncio Prado. [Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo]. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 2010.
6. Hernández L. Densidad de biomasa aérea en bosques extensos del neotrópico húmedo. México. 2001; 74 p.
7. Catriona P. Actualidad forestal tropical. Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Japón. 1998; 6(4): 32.
8. Barbarán J. Cuantificación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en Campo Verde. [Tesis Ing. Agrónomo]. Pucallpa, Perú. Universidad Nacional de Ucayali. 2000.
9. Callo-Concha D, Krishnamurthy L, Alegre J. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. Chapingo, México. [Tesis M.Sc. Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible]. Universidad Autónoma Chapingo. 2000.
10. CATIE. Allometric models for biomass estimation in secondary forest, San Carlos municipal district, Nicaragua. Proyecto cambio uso de la tierra y flujos de carbono para Centroamérica. CATIE-Universidad de Helsinki, Finlandia. 2005; 150 p.
11. Arévalo L, Alegre J, Palm C. Metodología para estimar la biomasa arbórea viva en sistemas Agroforestales de la Selva peruana. 2003.
12. Suarez D. Cuantificación Económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistema agroforestales de café en la Comarca Yasicc sur, Matagalea, Nicaragua. [Tesis Mg. Sc.] CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2002.
13. Dzib B. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 2003; 120 p.
14. Salgado J. Servicios de los ecosistemas forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Informe Técnico N° 331. Turrialba, Costa Rica. 2010; 37 p.
15. Winrock International. Secuestro de carbono y el proyecto de café sostenible en Guatemala. Ed. Márquez. Fundación Solar. 1998; 40 p
16. Robert M. Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organismo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 2002; 83 p.
17. Piñan A. Determinación del Carbono y Biomasa en el sistema agroforestal de Rio Azul la Divisoria. [Tesina Facultad de agronomía] Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 2011.