

ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN TRES SISTEMAS AGROFORESTALES DURANTE EL PRIMER AÑO DE INSTALACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO

Karen TIMOTEO¹, John REMUZGO², Luis VALDIVIA¹, Francisco SALES², Diego GARCÍA SORIA², Carlos ABANTO²

- 1 Universidad Nacional Agraria de la selva UNAS. Tingo María, Perú. Tesista de la Facultad de Recursos Naturales Renovables - Especialidad de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua. jimena1792@hotmail.com
- 2 Instituto de Investigaciones de La Amazonía Peruana, IIAF. Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES).

RESUMEN

Los sistemas agroforestales (SAF) combinan de manera simultánea o secuencial los árboles maderables y las plantas de cultivos alimenticios, ofreciendo soluciones para los problemas productivos y el uso sostenible de la tierra en las zonas rurales. El objetivo del estudio fue cuantificar la cantidad de carbono en el suelo y la biomasa aérea de tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación. En los SAF se usaron combinaciones de una especie forestal maderable (*Guazuma crinita*) con tres especies de uso comestible o forrajero: *Inga edulis*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₁), *Schizolobium amazonicum*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₂), y *Leucaena leucocephala*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₃). En cada SAF de 55 m x 85 m, se establecieron cuatro transectos de 4 m x 25 m para determinar la biomasa aérea arbórea, cuatro subparcelas de 1 m x 1 m para determinar la biomasa arbustiva y herbácea, y cuatro subparcelas de 50 cm x 50 cm para evaluar la necromasa (hojarasca), y cuatro calicatas donde tomamos muestras del suelo a 0-10 y 10-20 cm de profundidad para determinar el contenido de carbono en el suelo. Los resultados muestran una acumulación de carbono durante el primer año en la biomasa y necromasa aérea de 9.44 t.C ha⁻¹ en SAF₁, 11.40 t.C ha⁻¹ en SAF₂ y 11.37 t.C ha⁻¹ en SAF₃; y en el suelo de 23.98 t.C ha⁻¹ en SAF₁, 25.39 t.C ha⁻¹ en SAF₂ y 25.83 t.C ha⁻¹ en SAF₃. El carbono orgánico en el suelo representa casi el 60% del carbono total almacenado en estos sistemas agroforestales y es notable resaltar que incrementa durante el primer año de la plantación. Estos resultados son la línea base de nuevos estudios de captura de carbono en sistemas agroforestales.

PALABRAS CLAVE: Biomasa, bolaina, carbono, sistema agroforestal, suelo.

ESTIMATION OF CARBON STORAGE IN THREE AGROFORESTRY SYSTEMS DURING THE FIRST YEAR OF INSTALLATION IN THE DEPARTMENT OF HUANUCO

ABSTRACT

The agroforestry systems (SAF) combine, simultaneously or sequentially, timber plants and food crops; and offer solutions for production problems and sustainable land use in rural areas. The aim of this study was to quantify the carbon storage in the soil and above-ground biomass in three agroforestry systems during the first year of installation. In the SAF plots, we used combinations of a timber forest species (*Guazuma crinita*) and three species of edible or forage use: *Inga edulis*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₁), *Schizolobium amazonicum*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₂), y *Leucaena leucocephala*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₃). In each SAF of 55 m x 85 m, we established four 4 m x 25 m transects to determine the total above-ground biomass of trees, four 1 m x 1 m subplots to determine biomass of shrubs and herbs, four 50 cm x 50 cm subplots to determine necromass (litter), and four pits to sample soil at 0-10 and 0-20 cm depth to determine the carbon content in the soil. The results show an accumulation of carbon in the above-ground biomass and necromass during the first year of 9.44 t.C ha⁻¹ in SAF₁, 11.40 t.C ha⁻¹ in SAF₂, and 11.37 t.C ha⁻¹ in SAF₃; and in the soil of 23.98 t.C ha⁻¹ in SAF₁, 25.39 t.C ha⁻¹ in SAF₂ and 25.83 t.C ha⁻¹ in SAF₃. Organic carbon in the soil represent about 60% of the total storage carbon in these agroforestry systems, and it is noticeable that this amount increases during the first year of plantation. These results are the baseline for future studies of carbon stocks in agroforestry systems.

KEYWORDS: Biomass, bolaina, carbon, agroforestry system, soil.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la concentración del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es una preocupación mundial porque es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) que contribuye al calentamiento global. Las actividades humanas como la deforestación y la quema de combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, son las principales fuentes de emisiones de CO₂ (Watson *et al.*, 2000). Los árboles cumplen un rol importante de regulación de la concentración de CO₂ en la atmósfera, debido a que son capaces de fijar el CO₂ a través de la fotosíntesis y almacenar el carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que son considerados como reservas naturales de carbono (Arévalo *et al.*, 2003). Debido a esto, existe la tendencia de preferir cultivos con presencia de árboles denominados sistemas agroforestales.

La capacidad de los ecosistemas agroforestales para almacenar carbono en forma de biomasa es mayor a los cultivos convencionales. Estos sistemas, al combinar los cultivos o frutales con especies forestales, incrementan sus niveles de captura de carbono, mejorando además la productividad (Lapeyre *et al.*, 2004). La cantidad de carbono almacenada varía en función de la edad, diámetro y altura de los árboles, la densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal. Existen muy pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales. Los estudios más importantes fueron realizados en los departamentos de San Martín y Ucayali, en sistemas agroforestales de 4 a 40 años (Alegre *et al.*, 2002). Los sistemas de café-guaba a los cuatro años del establecimiento y los sistemas de cacao con especies forestales de 15 años acumularon 19 t.C ha⁻¹ y 47 t.C ha⁻¹, respectivamente. Estos valores están por encima de los valores que presentan los sistemas exclusivamente agrícolas de corta duración, lo cual nos demuestra la importancia del establecimiento de sistemas agroforestales para la recuperación del carbono en áreas anteriormente perturbadas por tumba y quema y usados para agricultura. Por lo tanto, los sistemas agroforestales son preferidos para recuperar ambientalmente áreas perturbadas y a la vez contar con producción cíclica a corto y mediano plazo, teniendo así un adecuado manejo de las tierras de aptitud forestal (LAPEYRE *et al.*, 2004).

El objetivo de este estudio fue cuantificar la cantidad de carbono almacenado en el suelo y en la biomasa y necromasa aérea de tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación. Los sistemas agroforestales contienen asociaciones

de especies de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*), Pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*), Guaba (*Inga edulis*), Cacao (*Theobroma cacao*), Frijol de palo (*Cajanus Cajan*) y Bolaina (*Guazuma crinita*). Este estudio servirá como línea base para la formulación de estudios relacionados a la captura de carbono en sistemas agroforestales y permitirá que los agricultores participen en proyectos de desarrollo forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se realizó en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, localizado en el caserío de Saipai, distrito de José Crespo y Castillo, departamento de Huánuco. La estación está ubicada en las coordenadas UTM: 388252 Este y 8990937 Norte y a una altitud de 660 m.s.n.m. Durante el periodo del estudio, los registros meteorológicos de la estación meteorológica de Tulumayo, ubicada a 2 km de la estación experimental, reportaron una precipitación anual de 3350 mm, temperatura y humedad relativa promedio de 24°C y 82 %, respectivamente (Estación Tulumayo – UNAS, 2013). El suelo presenta una textura franco arcillosa limosa, pH ácido (4,15), 4.27% de materia orgánica y 0.19% de nitrógeno total (Laboratorio de análisis de suelos – UNAS, 2014).

INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

El sitio seleccionado para el cultivo fue un bosque primario hasta el año 1972, que fue deforestado para el cultivo de maíz, plátano y otros cultivos anuales. En 1980 se instalaron pastos para ganado vacuno a libre pastoreo, actividad que se extendió hasta el 2012. En el 2014, se procedió a cortar el pastizal para la instalación de sistemas agroforestales. Las plántulas fueron obtenidas del material vegetativo de ocho plantas de leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.), ocho plantas de guaba (*Inga edulis* Mart.), ocho plantas de pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Herb.), 174 plantas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), con 4 meses de crecimiento. Además, usamos un kilo de semillas de frejol de palo (*Cajanus cajan* L.) y 1,239 plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de 3 meses previamente injertados con la variedad CCN-51.

Cada sistema agroforestal es de 55 m x 85 m, en cada una de los cuales se establecieron las siguientes especies de plantas: guaba, frejol de palo, cacao y

bolaina en el SAF₁; pino chuncho, frejol de palo, cacao y bolaina en el SAF₂; y leucaena, frejol de palo, cacao y bolaina en el SAF₃. Las parcelas se sembraron por el método de tres bolillos a excepción de la bolaina que fue por el método de contorno. Los distanciamientos entre plantas fueron de 3 m x 3 m para el cacao, 12 m x 12 m para el frejol de palo, 24 m x 24 m para guaba, pino chuncho y leucaena, y de 5 m x 5 m para bolaina.

MEDICIÓN DE LA BIOMASA Y NECROMASA

Se evaluó la captura de carbono de cada sistema agroforestal cada cuatro meses, durante un año, usando la metodología propuesta por Arévalo *et al.* (2003), que incluye mediciones de la biomasa arbórea, biomasa herbácea y arbustiva, necromasa (hojarasca) y carbono en el suelo. En cada sistema agroforestal se realizaron cuatro transectos de 4 m x 25 m para la determinación de la biomasa arbórea, donde medimos los individuos con diámetro mayor o igual a 2.5 cm, usando un vernier digital. Dentro de cada transecto, realizamos el muestreo de la biomasa herbácea y arbustiva en subparcelas de 1 m x 1 m y el muestreo de la necromasa (hojarasca) en subparcelas de 50 cm x 50 cm, usando el método destructivo, es decir, toda la biomasa y necromasa fue cortada para obtener el peso húmedo y seco. Finalmente, se abrieron cuatro calicatas de 50 cm de profundidad para definir los horizontes entre 0 – 10 cm y 10 – 20 cm. En cada uno de estos horizontes, usando cilindros de volumen conocido, se estimó la

densidad aparente del suelo, que es el peso seco de un volumen determinado de suelo expresado en gramos por centímetro cúbico ($g\ cm^{-3}$). Por cada horizonte se tomó una muestra de 200 g de suelo cada cuatro meses para estimar el contenido de carbono orgánico total.

DETERMINACIÓN DEL CARBONO TOTAL

Para calcular el carbono en la biomasa arbórea, usamos la siguiente ecuación $Biomasa = 0.1184 \times (DAP)^{2.53}$ propuesta por Arévalo *et al.* (2003) que incluye la variable diámetro (DAP). El carbono en la biomasa herbácea y arbustiva y en la necromasa se obtuvo secando las muestras tomadas en campo en un horno a 75°C hasta conseguir peso seco constante. El contenido de humedad de las muestras (CH) y el carbono total fueron estimados usando las siguientes fórmulas: $CH = (\text{peso húmedo de la muestra} - \text{peso seco de la muestra}) / \text{peso seco de la muestra}$, y $Biomasa/Necromasa\ total = \text{peso húmedo total} / (1 + CH)$. El carbono fue calculado asumiendo que corresponde al 50% de la biomasa y necromasa. Usamos un factor de corrección de 0.1 para convertir la biomasa en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) para el componente arboreo, un factor de 0.01 para la biomasa herbácea y arbustiva, y de 0.04 para la necromasa. La cuantificación del carbono total de las muestras de suelo se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, usando el método de Walkley-Black (1934).

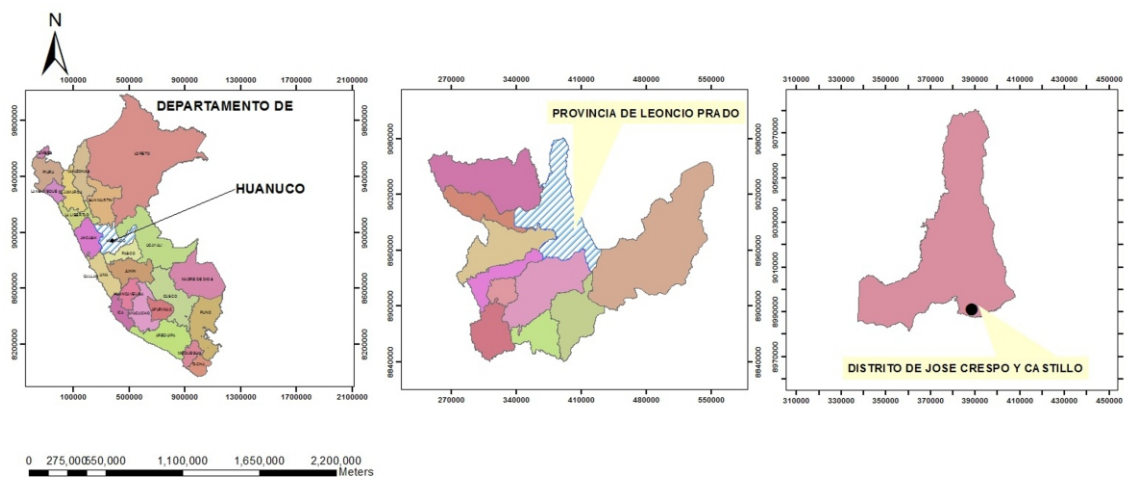


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio donde se instalaron los tres sistemas agroforestales en el caserío de Saipai, Perú (panel A), departamento de Huánuco (panel B) y provincia Leoncio Prado (panel C).

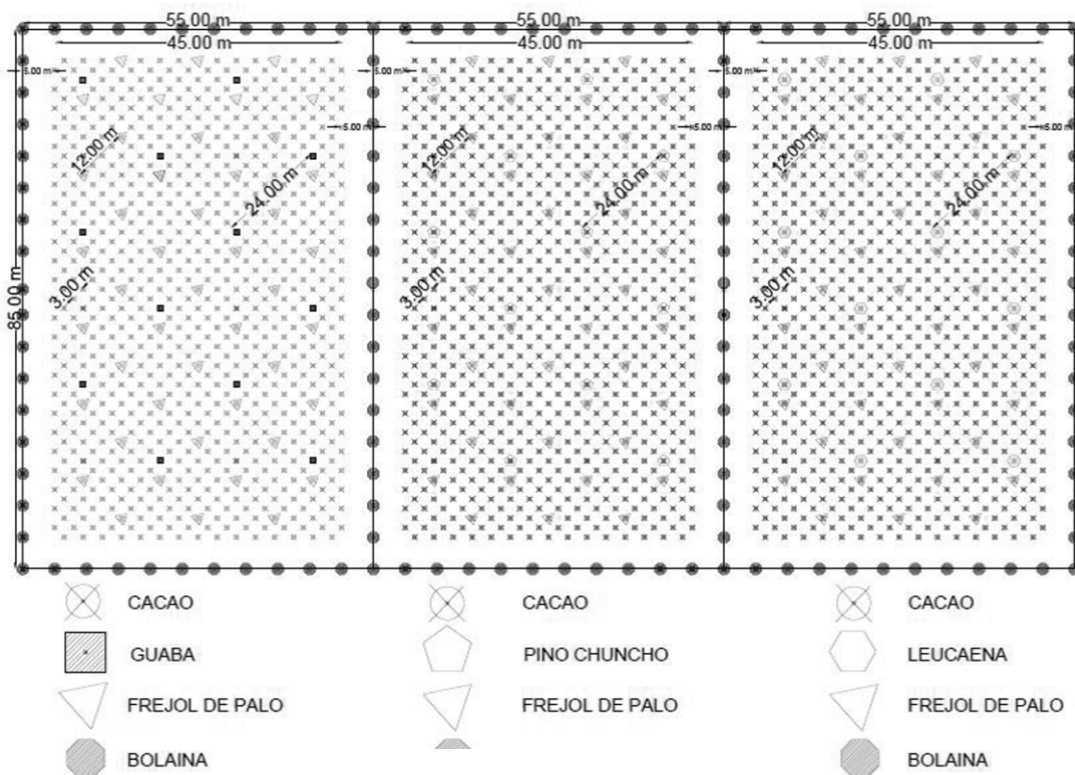


Figura 2. Croquis de distribución de las especies en los tres sistemas agroforestales (SAF).

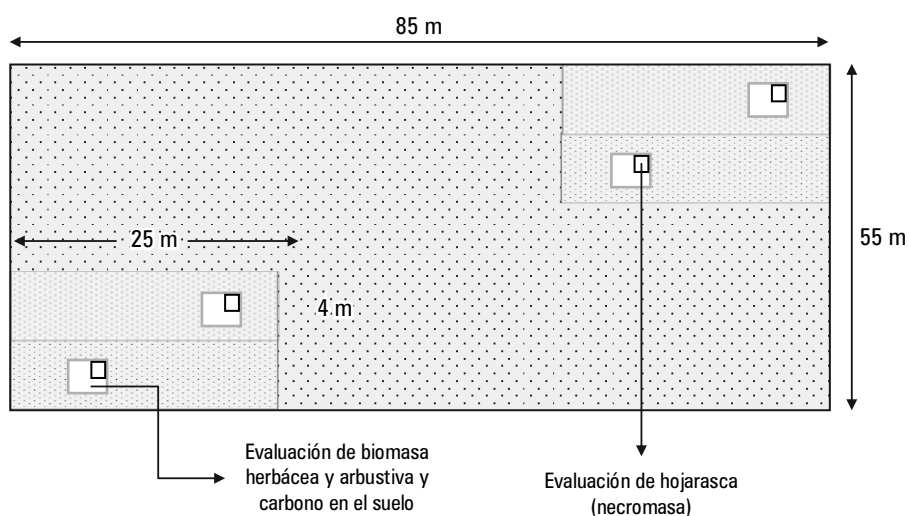


Figura 3. Diseño de las parcelas de muestreo dentro de los sistemas agroforestales para la evaluación de la biomasa arbórea (4 m x 25 m), biomasa arbustiva y herbácea (1 m x 1 m), hojarasca (0.5 m x 0.5 m) y el carbono en el suelo (0-10 cm y 10-20 cm de profundidad).

RESULTADOS

El carbono total acumulado en la biomasa y necromasa aérea durante el primer año en los sistemas agroforestales fue de 9.44 t.C ha⁻¹, 11.40 t.C ha⁻¹ y 11.37 t.C ha⁻¹ para SAF1, SAF2 y SAF3, respectivamente (Tabla 1). El componente herbáceo y arbustivo fue el más dominante, representando el 49.7%, 46.2% y 50% de la biomasa y necromasa aérea total en los sistemas SAF1, SAF2 y SAF3, respectivamente.

El carbono orgánico en el suelo durante el primer muestreo fue de 8.90 t.C ha⁻¹, 11.37 t.C ha⁻¹ y 9.78 t.C ha⁻¹ en los sistemas agroforestales SAF1, SAF2 y SAF3, respectivamente; y al año de evaluación incrementó en todos los casos a 33.42 t.C ha⁻¹, 36.79 t.C ha⁻¹ y 37.20 t.C ha⁻¹ (Tabla 1). La cantidad de carbono encontrado en los primeros 10 cm del suelo fue generalmente menor que la encontrada de 10 a 20 cm de profundidad (Tabla 2) en todos los sistemas agroforestales.

Tabla 1. Carbono total almacenado en tres sistemas agroforestales instalados en el departamento de Huánuco y evaluados cada cuatro meses durante el primer año de la instalación.

Sistema agroforestal	Asociación de especies	Evaluación	Componentes (t.C ha ⁻¹)				Total (t.C ha ⁻¹)
			Biomasa arbórea	Biomasa herbáceo/arbustiva	Necromasa	Carbono orgánico en el suelo	
SAF ₁	<i>Theobroma cacao</i> , con <i>Inga</i>	1°	0.00	0.00	0.00	8.90	8.90
	<i>edulis</i> , <i>Cajanus cajan</i> y	2°	1.68	4.27	1.48	16.97	24.40
	<i>Guazuma crinita</i>	3°	2.90	4.69	1.85	23.98	33.42
SAF ₂	<i>Theobroma cacao</i> .	1°	0.00	0.00	0.00	11.37	11.37
	<i>Schizolobium amazonicum</i> .	2°	2.20	5.21	1.33	14.42	23.16
	<i>Cajanus cajan</i> y <i>Guazuma crinita</i>	3°	4.42	5.27	1.71	25.39	36.79
SAF ₃	<i>Theobroma cacao</i> .	1°	0.00	0.00	0.00	9.78	9.78
	<i>Leucaena leucocephala</i> .	2°	2.21	5.64	1.54	16.67	26.06
	<i>Cajanus cajan</i> y <i>Guazuma crinita</i>	3°	3.40	5.69	2.28	25.83	37.20

DISCUSIÓN

CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA Y NECROMASA AÉREA

La biomasa y necromasa aérea incrementaron en el tiempo en todas los sistemas agroforestales evaluados, con valores entre 9 y 11 t.C ha⁻¹, debido al desarrollo tanto de las especies de cultivo como las especies forestales. Un estudio de cacaotales en la región San Martín muestra que la captura de carbono en la biomasa arbórea y hojarasca osciló entre 12.09 t.C ha⁻¹ para el sistema de Pachiza de 5 años, donde el cacao estuvo asociado con árboles de mango, pucaquiro, capirona, coco y otros cultivos y 35.5 t.C ha⁻¹ para su asociación con la palmera Huicungo, y los árboles cedro, shaina y guaba de 12 años (Concha *et al.*, 2007). Un estudio de los cacaotales en Tolima, Colombia muestra sistemas agroforestales con almacenamiento de 28.8 y 33.6 t.C ha⁻¹ en biomasa arriba del suelo y 4.1 y 4.5 t.C ha⁻¹ en la necromasa a los 18 y 35 años, respectivamente, con una tasa de

fijación promedio de 1.1 t.C ha⁻¹ año⁻¹ (Andrade *et al.*, 2013).

Del mismo modo Ortiz *et al.* (2008) reportan que los cacaotales asociados con árboles de laurel almacenan entre 43 y 62 t.C ha⁻¹ en 25 años, con tasas de acumulación de entre 1.7 y 2.5 t.C ha⁻¹ año⁻¹. Estos resultados nos indican que la captura de carbono, no necesariamente está relacionada a la edad de la plantación sino a la diversidad de las especies propias de cada sistema. Por lo tanto, es recomendable asociar a los cacaotales con especies forestales para ayudar a la mayor captura de carbono.

La captura de carbono en otros cultivos forestales puede ser variada. Por ejemplo, en la región Ucayali, el contenido de carbono en la parte aérea (árbol, sotobosque y hojarasca) en los sistemas perennes con árboles y coberturas de *Brachiaria* fue más alto que los cultivos de cacaotales y fluctuó desde 41 t.C ha⁻¹ para la palma aceitera hasta 74 t.C ha⁻¹ para la plantación de caucho (Alegre *et al.*, 2002).

Tabla 2. Carbono orgánico en el suelo de tres sistemas agroforestales instalados en el departamento de Huánuco y evaluados cada cuatro meses durante el primer año de la instalación.

Sistema agroforestal y transecto	Evaluación	Profundidad (cm)	Carbono en el suelo (t.C ha ⁻¹)	Total	Promedio
SAF ₁ .T1	1	0 - 10	2.29	10.21	8.90
		10 - 20	7.91		
SAF ₁ .T2	1	0 - 10	3.17	15.75	
		10 - 20	12.58		
SAF ₁ .T3	1	0 - 10	2.81	4.34	
		10 - 20	1.53		
SAF ₁ .T4	1	0-10	2.50	5.29	
		10-20	2.79		
SAF ₁ .T1	2	0-10	3.11	13.84	16.97
		10-20	10.73		
SAF ₁ .T2	2	0-10	3.27	18.13	
		10-20	14.86		
SAF ₁ .T3	2	0-10	3.39	21.23	
		10-20	17.84		
SAF ₁ .T4	2	0-10	2.42	14.66	
		10-20	12.24		
SAF ₁ .T1	3	0-10	3.82	22.29	23.98
		10-20	18.47		
SAF ₁ .T2	3	0-10	4.32	24.25	
		10-20	19.93		
SAF ₁ .T3	3	0-10	4.76	23.72	
		10-20	18.96		
SAF ₁ .T4	3	0-10	4.81	25.67	
		10-20	20.86		
SAF ₂ .T1	1	0-10	4.08	11.10	11.37
		10-20	7.34		
SAF ₂ .T2	1	0-10	3.68	15.91	
		10-20	12.23		
SAF ₂ .T3	1	0-10	2.67	10.16	
		10-20	7.49		
SAF ₂ .T4	1	0-10	2.76	7.99	
		10-20	5.23		
SAF ₂ .T1	2	0-10	2.89	23.16	14.42
		10-20	20.27		
SAF ₂ .T2	2	0-10	3.49	18.49	
		10-20	15.00		

Sistema agroforestal y transecto	Evaluación	Profundidad (cm)	Carbono en el suelo (t.C ha-1)	Total	Promedio
SAF ₂ .T3	2	0 - 10	4.61	7.33	
		10 - 20	2.72		
SAF ₂ .T4	2	0 - 10	4.58	8.70	
		10 - 20	4.12		
SAF ₂ .T1	3	0 - 10	4.98	28.20	25.39
		10 - 20	23.22		
SAF ₂ .T2	3	0-10	4.89	24.77	
		10-20	19.89		
SAF ₂ .T3	3	0-10	4.30	22.76	
		10-20	18.47		
SAF ₂ .T4	3	0-10	5.03	25.84	
		10-20	20.81		
SAF ₃ .T1	1	0-10	4.65	8.78	9.77
		10-20	4.13		
SAF ₃ .T2	1	0-10	3.81	10.11	
		10-20	6.3		
SAF ₃ .T3	1	0-10	3.72	9.43	
		10-20	5.7		
SAF ₃ .T4	1	0-10	3.35	10.78	
		10-20	7.43		
SAF ₃ .T1	2	0-10	4.63	24.72	16.67
		10-20	20.09		
SAF ₃ .T2	2	0-10	3.58	14.6	
		10-20	11.02		
SAF ₃ .T3	2	0-10	2.59	13.42	
		10-20	10.84		
SAF ₃ .T4	2	0-10	4.61	13.93	
		10-20	9.32		
SAF ₃ .T1	3	0-10	5.03	26.32	25.83
		10-20	21.29		
SAF ₃ .T2	3	0-10	4.83	25.16	
		10-20	20.34		
SAF ₃ .T3	3	0-10	4.94	26.45	
		10-20	21.51		
SAF ₃ .T4	3	0-10	4.82	25.40	
		10-20	20.58		

Los cultivos anuales tienen una menor capacidad de capturar carbono, con rangos reportados de 3-17 t.C ha⁻¹ (Alegre *et al.*, 2002). Los cultivos que incluyen árboles perennes logran secuestrar carbono equivalente al 20-46% del carbono secuestrado en un bosque primario y los sistemas de cultivos anuales solo 10%. Por lo que, los cultivos perennes son más económicos y atractivos para los agricultores que los cultivos anuales (Alegre *et al.*, 2002).

En general, la tasa de absorción de carbono en los sistemas agroforestales puede ser alta ya que la captura de carbono se efectúa tanto por los árboles como por los cultivos: de 2 a 9 t.C ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo de la edad de la plantación (15 a 40 años; Sanchez *et al.*, 1997). Estos valores están por encima de los datos que presentan los sistemas netamente agrícolas de corta duración; lo cual demuestra la importancia del establecimiento de sistemas agroforestales para la recuperación del potencial de captura de carbono en áreas degradadas para la agricultura migratoria.

CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO

La evaluación de las reservas de carbono en el suelo en sistemas agroforestales es importante debido a que estas reservas pueden representar el 60% del carbono total en los primeros años de establecimiento de la plantación. Asimismo, demostramos que, con el tiempo, existe un incremento constante en la cantidad de carbono en el suelo en todas las parcelas. Las estimaciones de carbono en el suelo que inicialmente fueron de 9 a 11 t.C ha⁻¹ incrementaron a rangos de 24 a 26 t.C ha⁻¹ en los 20 cm de profundidad del suelo. Un estudio de la cantidad de carbono en sistemas agroforestales que incluyen al cacao, muestra valores de 19 t.C ha⁻¹ y 47 t.C ha⁻¹ en el primer metro de profundidad del suelo (Lapeyre *et al.*, 2004). A esta misma profundidad (1 m), las pasturas almacenan en el suelo 70 t.C ha⁻¹ (Trumbmore *et al.*, 1995) y los bosques tropicales varían con valores entre 60 y 115 t.C ha⁻¹ (Kanninen, 2003).

Cabe resaltar la capacidad de los ecosistemas forestales y agroforestales de almacenar grandes cantidades de carbono en el suelo. Por ello, se puede ratificar la importancia de incluir especies forestales en los sistemas de cultivo para la mejora del suelo (Krishnamurthy y Uribe, 2002).

CONCLUSIONES

Este estudio muestra la importancia de cuantificar el carbono en sistemas agroforestales y, en particular, de incluir las estimaciones del carbono

en el suelo, que representa casi el 60% del carbono total almacenado en el primer año de establecimiento. La biomasa de los árboles a largo plazo será el componente más predominante en el almacenamiento del carbono en el suelo, sin embargo, durante la primera fase de desarrollo del sistema agroforestal mostramos que el componente herbáceo y arbustivo es el más dominante. Estos resultados son la línea base de nuevos estudios de captura de carbono en sistemas agroforestales y contribuirán a los proyectos de desarrollo forestal basados en carbono en la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alegre, J.; Arévalo, L., Ricse, R. 2002. Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>; 15 Nov. 2006).
- Andrade, H.; Figueroa, J.; Silva, D. 2013. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroalimentaria*. Vol. 1: 6-10.
- Arévalo, L.; Alegre J.; Palm, Ch. 2003. Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Ministerio de Agricultura. Pucallpa. Perú. 24pp.
- Concha, J.; Alegre, J.; Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1,2): 75-82.
- Kanninen, M. 2003. Secuestro de carbon en bosques, su papel en el ciclo global. (<http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s09.htm>). Acceso: 08/04/2016.
- Krishnamurthy, L.; Uribe, M. 2002. Tecnologías agroforestales para el desarrollo rural sostenible. PNUMA – SEMARNAT. México. 460pp.
- Lapeyre, T.; Alegre, J.; Arévalo, L. 2004. Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. *Revista Ecología Aplicada*, 3 (1-2): 35-44.
- Llerena, C.; Yalle, S.; Silvestre, E. 2014. Los bosques y el cambio climático en el Perú: situación y perspectivas. (http://www.lamolina.edu.pe/facultad/forestales/web2007/publicacionesyrevistas/pdf/BosquesCC_Peru_12.05.15.pdf). Acceso: 08/04/2016.

- Ortiz, A.; Riascos, L.; Somarriba, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas* N° 46: 26-29.
- Rios Alvarado, J.; Bastos da Veiga, J.; Cordeiro de Santana, A. (2008). Quantificação do carbono em sistemas de uso-da-terra no Distrito de José Crespo E Castillo, Peru. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 16(3): 139-152.
- Sanchez, P.; Buresh, R.; Leakey, R. 1997. Trees, soils and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 352: 949-961.
- Trumbmore, S.; Davidson, E.; Nepstap, D.; Martinelli, L. 1995. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global biogeochemical cycles*. (www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm). Acceso: 17/05/2015.
- Walkley, A.; Black, A.I. 1934. An examination of the Degtjoreff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.
- Watson, R. T.; Noble, I. R.; Bolin, B.; Ravindranath, N. H.; Verardo, D. J.; Dokken, D. J. 2000. Land use, land-use change and forestry. Cambridge University Press, Cambridge. 375pp.
- Woomer, L.; Palm, C.; Qureshi, J.; Kotto-Same, J. 1998. Carbon sequestration and organic resource management in african smallholder agriculture. (www.fao.org/docrep.htm). Acceso: 18/05/2015.
- Recibido: 10 de Febrero del 2016
Aceptado para publicación: 12 de Abril del 2016

