



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TINGO MARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

“ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) COMPARADO CON UN BOSQUE SECUNDARIO DE TRES EDADES”^{1/}

Fernando S. GONZALES HUIMAN^{2/}, Jaime J. CHAVEZ MATÍAS^{2/}, Henry Alexis BRINGAS PAREDES^{3/}

^{1/} Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) - Tingo María, Perú.

^{2/} Asesor, Ing. Agr., Docente de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Tingo María, Perú.

^{3/} Tesista. Facultad de Agronomía. UNAS. Tingo María, Perú.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó entre agosto a diciembre de 2009, en cuatro zonas de la provincia de Leoncio Prado (Pumahuasi-Huamancoto, Km 51-Ricardo, Supte-San Jorge y en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva); región Huánuco, Perú, con el objetivo de estimar el contenido de carbono almacenado en los diferentes componentes del SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años y determinar la valoración económica del SAF con cacao y bosque secundario. La metodología utilizada para evaluar carbono almacenado en biomasa arbórea, arbustiva, herbácea y de hojarasca fue propuesta por ICRAF (ALEGRE *et al.* 2002). La biomasa de las plantas de cacao fue determinada por el diámetro a 30 cm del suelo (D_{30cm}) según Andrade (2005) citado por HERRERA (2010) y para el caso de carbono almacenado en el suelo se determinó mediante el método de Walkey Black en Laboratorio. Los resultados muestran un almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea en el SAF cacao + laurel con $46,98 \text{ t C ha}^{-1}$ y menor en un bosque secundario con $21,62 \text{ t C ha}^{-1}$ a 9 años de edad, mientras que a los 11 años fue mayor en el bosque con $175,10 \text{ t C ha}^{-1}$, y menor en el SAF con $138,05 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente. El almacenamiento de carbono de la biomasa aérea también fue mayor en el SAF con $50,34 \text{ t C ha}^{-1}$ y menor en un bosque secundario con $27,71 \text{ t C ha}^{-1}$ a la misma edad (9 años); mientras para las edades de 10 y 11 años fueron mayores en los bosques con $74,81$ y $102,10 \text{ t C ha}^{-1}$; y menores en el SAF con $69,46$ y $83,59 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente. La acumulación de carbono estimado total fue mayor en el SAF cacao + laurel con $114,51 \text{ t C ha}^{-1}$ y menor en un bosque secundario con $110,56 \text{ t C ha}^{-1}$ en la edad de 9 años; mientras que a los 11 años fue mayor en el bosque con $198,25 \text{ t C ha}^{-1}$, y menor en el SAF cacao + laurel con $152,34 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente; y el aporte promedio de suelo para el carbono total en los diferentes sistemas fue de $59,3\%$ y $50,2\%$ para el bosque secundario y SAF. El valor económico de los diferentes sistemas de uso de tierra fue mayor en el SAF

cacao + laurel con S/. 1077,69; y menor en el bosque secundario con S/. 330,91.

Palabras clave: cacao, laurel, carbono, sistemas, agroforestal, bosque secundario.

ABSTRACT

This research work was conducted from August to December 2009 in four areas of the province Leoncio Prado, Huánuco region, Perú. Those places were: Pumahuasi-Huamancoto, Km 51-Ricardo, Supte - San Jorge and the forest reserve called “Bosque Reservado” of the Universidad Nacional Agraria de la Selva. The objective of this investigation was to estimate and compare the carbon stored between cocoa-laurel agroforestry systems (AFS) and a secondary forest; all evaluated at ages of 9, 10 and 11 years. Another aim was to determine the economic value of cocoa-laurel AFS versus a secondary forest. The methodology used to assess carbon stocks in tree, shrub, herbaceous and litter biomass was according to ICRAF (ALEGRE *et al.* 2002). The cacao plants biomass was determined by the diameter of the trunk over 30 cm from soil (D_{30cm}) proposed by Andrade (2005) quoted by HERRERA (2010). The carbon stored in soil was determined at Laboratory by the Walkey Black method. The results showed that carbon storage in tree biomass of 9 years old in cocoa-laurel AFS were 46,98 Tons of carbon per hectare (TC/ha), but lower at the secondary forest with 21,62 TC/ha; while at age 11 was higher in the forest with 175,10 TC/ha, and lower in the AFS with 138,05 TC/ha. The carbon storage of aboveground biomass was also higher in the AFS with 50,34 TC/ha and lower in a secondary forest with 27,71 TC/ha at 9 years; while for ages 10 and 11 years-old were higher in forest with 74,81 and 102,10 TC/ha, and lower in the AFS with 69,46 and 83,59 TC/ha, respectively. The total estimated carbon accumulation was greater in the cocoa-laurel AFS with 114,51 TC/ha and lower in a secondary forest with 110,56 TC/ha at the age of nine years; inversely, at age 11 was higher in the forest with 198,25 t C ha⁻¹, and lower in the cocoa-laurel AFS with 152,34 TC/ha. The average soil contribution to the total carbon in these different systems were 59,3% and 50,2% for

secondary forest and AFS, respectively. Finally, the economic values were contrasting and was S/. 1077,69 at the cocoa-laurel AFS and lower in secondary forest with S/. 330,91. That showed that there is great difference in land use systems.

Key words: cacao, laurel, carbon, systems, agroforestry, secondary forest.

INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono (CO_2), es uno de los gases de efecto invernadero más importantes como consecuencia de las actividades humanas, una de las cuales es la deforestación, la que en los últimos 150 años, ha contribuido en forma muy significativa al aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera. Actualmente, cerca de un 20% de las emisiones de CO_2 resultan de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales. La detención de la deforestación y su reversión a través de la reforestación y manejo sustentable, implica secuestrar el CO_2 , manteniendo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo con el fin de disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global. Dentro de este contexto, la estimación adecuada de la biomasa de un sistema agroforestal y bosque secundario, constituye el elemento de gran importancia debido a que permite determinar las cantidades de carbono existentes en cada uno de estos sistemas, y así poder determinar la cantidad potencial de carbono que puede ser fijado en una determinada superficie. Los sistemas agroforestales constituyen una alternativa estable del uso de suelo. Los sistemas agroforestales mejoran la eficiencia y procuran un mayor bienestar a los productores y agricultores. La consolidación del desarrollo basado en la productividad agrícola y la sostenibilidad ecológica, ha captado el interés de organismos financieros y de instituciones donantes por auspiciar proyectos cuyos objetivos primordiales sean la preservación de la biodiversidad, la promoción de sistemas alternativos de producción agrícola (sistemas agroforestales) y de otros usos que lleven a la utilización integral de los recursos naturales. La importancia del presente trabajo de investigación radica en que los sistemas agroforestales con cacao ofrecen mayores ventajas comparativas, en relación a otros usos del suelo como el caso de los bosques secundarios, siendo los sistemas agroforestales los que constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en la zona de Tingo María, no sólo por los ingresos económicos que genera al núcleo familiar, sino también por su contribución en la conservación de la biodiversidad y últimamente, por su función como sumideros de carbono; en tal sentido se plantea como hipótesis de que los sistemas

agroforestales con cacao ofrecen mayores ventajas comparativas en relación a los sistemas de uso de la tierra, ingresos económicos, contribuye a la conservación de la biodiversidad y almacena carbono en mayor proporción que los bosques secundarios y se plantean los siguientes objetivos:

1. Comparar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea, entre el SAF cacao + laurel (*Cordia alliodora*) y bosque secundario en tres edades.
2. Estimación y comparar el carbono total almacenado en un SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años.
3. Determinar la valoración económica del SAF con cacao y bosque secundario.

REVISIÓN DE LITERATURA

CONCHAI *et al.* (2007), evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de 5 a 12 años asociado con especies forestales maderables y frutales, reportan la captura de carbono en cada sistema agroforestal que varía desde 26,2 t C ha⁻¹ para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45,07 t C ha⁻¹ del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Asimismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12,09 t ha⁻¹ hasta 35,5 t ha⁻¹, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha⁻¹ hasta 9,97 t ha⁻¹; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representaron el 66,7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de las 40 t C ha⁻¹, mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de las 30 t C ha⁻¹.

ORTIZ y RIASCOS (2006), indican que a los 25 años, el sistema laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C ha⁻¹; el laurel fijó entre 80-85% del carbono total en la biomasa. Albrecht y Kandji, 2003, citados por ORTIZ y RIASCOS (2006) reportan almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica (39-102 t C ha⁻¹). En cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono de entre 10,6 y 12,6 t C ha⁻¹ a los 4 y 10 años de edad, respectivamente (ÁVILA *et al.*, 2001). Los sistemas cacao-laurel fijaron entre 1,70 y 2,50 t C ha⁻¹ año⁻¹ en 25 años. Segura (2005), citado por ORTIZ y RIASCOS (2006) encontró tasas de acumulación de carbono muy similares (2,10 y 2,80 t C ha⁻¹ año⁻¹) en cacaotales con 100-150 árboles ha⁻¹ en Talamanca.

ARCE *et al.*, (2006), indican que el SAF con cacao acumuló más carbono que los demás sistemas, superando en 52 y 55% a los SAF con banano (36,50, 24,00 y 23,05 t C ha⁻¹, respectivamente). FONSECA *et al.* (2006), realizaron estudios de la acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* y *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica, donde los bosques secundarios almacenaron un total de 154,09 t C ha⁻¹ a los 18 años de edad. La biomasa total de los bosques secundarios pasó de 28,09 t ha⁻¹ a los 5 años a 67,90 t ha⁻¹ a los 18 años, lo cual representa una tasa de fijación promedio de 3,00 t C ha⁻¹ año⁻¹. Hughes *et al.* 1999, citado por FONSECA *et al.* (2006), encontraron una biomasa promedio de 272,01 t ha⁻¹ a los 16 años de edad. Corrales (1998), citado por FONSECA *et al.* (2006), encontró 162,01 t ha⁻¹ de biomasa en bosques secundarios de 15 años y 324.1 t ha⁻¹ en bosques primarios en climas húmedos y muy húmedos de Costa Rica. El suelo almacenó el 86% del carbono total del sistema, pasando de 73,00 t C ha⁻¹ en la línea base (pastura) a 125,30 t C ha⁻¹ a los 18 años. CIFUENTES *et al.* (2004), encontraron existencias de carbono orgánico del suelo de 93,50 t C ha⁻¹, con valores similares entre bosques primarios y secundarios. Feldpausch *et al.* 2004 citado por FONSECA *et al.* (2006), encontraron una tasa de acumulación de carbono en el suelo de 42 a 84 t C ha⁻¹ hasta 45 cm de profundidad en bosques secundarios de 12 a 14 años. Valero (2004) citado por FONSECA *et al.* (2006), indica que la acumulación de carbono en la biomasa es más rápida que en el suelo, pero en éste la estabilidad es mayor. Los fustes de los bosques secundarios contuvieron el 7% del carbono total y el 41% del carbono almacenado en la biomasa (9,60 t ha⁻¹). La vegetación herbácea, la necromasa fina y gruesa, las ramas, hojas y raíces fueron los componentes que almacenaron la menor cantidad de carbono, variando de 0,85 t C ha⁻¹ en raíces finas a 3,20 t C ha⁻¹ en ramas y raíces gruesas (< 2,8% del carbono total por cada uno). La biomasa aérea y la necromasa almacenaron el 14% del carbono total del sistema (18,40 t C ha⁻¹). BROWN y LUGO (1992), reportan entre 2,60 y 3,80 t C ha⁻¹ de necromasa en bosques primarios y mientras que Delaney *et al.*, (1997) citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron que la hojarasca representa apenas 5-6% del C total en bosques naturales en Brasil y en Venezuela reportan entre 2,2 y 7,8%. La biomasa en los árboles, arbustos y necromasa aumentó con la edad de la sucesión, no así la biomasa de la vegetación herbácea que rápidamente se estabilizó y aun decreció con la edad del bosque o plantación forestal. La necromasa gruesa se incrementó de 0,60 t ha⁻¹ a los 5 años a 2,60 t ha⁻¹ a los 18 años; mientras

que la necromasa fina se redujo de 3.1 a 6.6 t ha⁻¹ y la vegetación herbácea disminuyó de 2,90 a 2,20 t ha⁻¹ en el mismo período (FONSECA *et al.* 2006).

HERRERA (2010), tuvo el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao clon CCN-51 en diferentes edades con guaba o bolaina, de 28,81 a 90,49 t C/ha⁻¹ en la biomasa aérea, mientras que la acumulación de carbono total (Biomasa aérea + suelo) varió de 35,04 a 97,76 t C/ha⁻¹

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó entre agosto y diciembre de 2009, en Pumahuasi-Huamancoto (391055 E, 8973678 N), Km 51-Ricardo (392441 E, 8986088 N), Supte-San Jorge (394554 E, 8972501 N) y en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (390846 E, 8970664 N); ubicados en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. Los dos sistemas: cultivo de cacao injerto (CCN-51) bajo un sistema agroforestal con laurel (*Cordia alliodora*) y un bosque secundario; fueron de las mismas edades de 9,10 y 11 años.

Las parcelas fueron de 1 hectárea cada una, ubicándose 3 transectos por parcela; las dimensiones de cada transecto fueron de 6 x 100 m para el sistema bosque secundario y 4 x 25 m para el SAF cacao-laurel.

Se determinó la biomasa arbórea (BA) en árboles con diámetros mayores de 2,5 cm, midiendo el diámetro a la altura de pecho (Dap = 1.30m) del bosque secundario y el laurel (ALEGRE *et al.*, 2002), mientras que para el cacao se midió a 30 cm del suelo (Andrade 2005 citado por HERRERA, 2010). Para estimar la biomasa se empleó la fórmula establecida por ICRAF (AREVALO, 2002): BA (kg árbol⁻¹) = 0,1184DAP^{2,530}, donde: DAP = diámetro a la altura de pecho (1,30m); 0,1184 y 2,53 = constantes.

La biomasa arbustiva (BAb) y herbácea (Hbh), está compuesta por la biomasa sobre el suelo de arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas; se recolectaron las muestras con dos cuadrantes de 1 m², distribuidos al azar dentro de los transectos y fueron pesados las muestras; y luego se sacó dos submuestras en bolsas de papel periódico y se colocó en una estufa a 75°C durante 24 horas obteniéndose el peso seco. Se determinó la biomasa arbustiva y herbácea utilizando la fórmula: BAH (t ha⁻¹) = [(PSM / PFM) x PFT] x 0,01; donde BAH = Biomasa arbustiva / herbácea, PSM = peso seco de la muestra colectada (g),

PFM = peso fresco de la muestra colectada (g),
 PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (g),
 0,01 = factor de conversión para 1 m².

Se determinó el peso fresco de la capa de mantillo u hojarasca, utilizando cuadrantes de 0,25 m² colocados dentro del cuadrante de 1 m², y luego fue determinado el peso seco a temperatura de 75°C. Se estimó la biomasa usando la siguiente fórmula: $Bh (t ha^{-1}) = [(PSM / PFM) \times PFT] \times 0,04$; donde: Bh = biomasa de la hojarasca (t ha⁻¹), PSM = peso seco de la muestra colectada (g), PFM = peso fresco de la muestra colectada (g), PFT = peso total por metro cuadrado (g), 0,04 = factor de conversión cuando el cuadrante es 0,5 m x 0,5 m.

Para determinar carbono del suelo se abrieron calicatas de 1 m de profundidad y en cada horizonte se colocaron cilindros Uhland de volumen conocido (ARÉVALO *et al.*, 2002). Se tomaron muestras de 500 g en promedio de cada uno de los horizontes para determinar el contenido de carbono del suelo por el método de Walkley Black. El carbono del suelo se determinó con la fórmula: $CS (t ha^{-1}) = (PVs \times \%C) / 100$; donde: CS = carbono en el suelo (t ha⁻¹), PVs = Peso del volumen de suelo, % C = porcentaje de carbono analizado en laboratorio y 100 = Factor de conversión

El carbono se estimó a partir de la biomasa vegetal mediante la siguiente fórmula: $CBV (t ha^{-1}) = BVT \times 0,45$; donde: CBV =

carbono en la biomasa vegetal, BVT = biomasa vegetal total, 0,45 = constante.

Los indicadores para estimar la valoración económica, fueron: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Beneficio - Costo (B/C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono almacenado en la biomasa aérea del sistema agroforestal cacao + laurel y un bosque secundario

En el Cuadro 1, se observa que al comparar el almacenamiento promedio de carbono en la biomasa arbórea, arbustiva, herbácea y hojarasca, en las edades de 9, 10 y 11 años el mayor aporte de carbono retenido se encuentra en la biomasa arbórea para el SAF cacao + laurel de 11 años de edad (79,98 t C ha⁻¹) y para el sistema bosque secundario que fue también el de 11 años de edad (94,75 t C ha⁻¹); esto se debe a que los sistemas (SAF cacao + laurel y bosque secundario) conforme van incrementando su edad a través del tiempo, son más vigorosos y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa; es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono, tal como lo mencionan ALEGRE *et al.*, (2002), LAPEYRE *et al.*, (2004) y HERRERA (2010).

Cuadro 1. Estimación de carbono almacenado en los componentes aéreos (arbórea, arbustiva, herbácea y hojarasca) en sistemas evaluados (t ha⁻¹) en tres edades.

Edad	SAF cacao + laurel					Bosque secundario				
	CA	CAH	CH	CBV (t ha ⁻¹)	Flujo de C (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	CA	CAH	CH	CBV (t ha ⁻¹)	Flujo de C (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
9	46,98	0,53	2,83	50,34	5,59	21,62	0,85	5,24	27,71	3,08
10	62,59	1,73	5,14	69,46	6,95	69,35	0,17	5,29	74,81	7,48
11	79,98	0,96	2,64	83,59	7,60	94,75	0,41	6,93	102,10	9,28

CA: Carbono arbóreo, CAH: Carbono arbustivo-herbáceo, CH: Carbono en la hojarasca, CBV: Carbono en la biomasa vegetal

Al mismo tiempo, se observa que los aportes de carbono, en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), aportan pequeñas cantidades; estos resultados coinciden con lo obtenido por DUPOUEY *et al.* (1999), quien indica que, los restos vegetales superficiales representan sólo el 6%.

De igual modo, se observa referente al componente arbustivo y herbáceo que en los dos sistemas existe un ligero aumento siendo mayor en el SAF cacao + laurel en las edades de 10 y

11 años (1,73 y 0,96 t ha⁻¹) respecto al bosque secundario (0,17 y 0,41 t ha⁻¹); en cuanto al SAF cacao + laurel y bosque secundario y en las tres edades el carbono almacenado en el componente hojarasca fue superior al componente herbáceo en ambos sistemas; esto se debe a que los bosques secundarios comprendidos en estas edades, no presentan especies herbáceas en grandes cantidades por la existencia de sombra y auto sombra, el cual no permite el desarrollo de los arbustos y hierbas, existiendo cantidad de hojarasca y mulch. En tanto, la incorporación de

cobertura permanente puede incrementar significativamente las reservas de carbono en el bosque secundario, tal como lo mencionan ALEGRE *et al.* (2002).

Por otro lado, el carbono almacenado la hojarasca en todos los sectores evaluados tiende a incrementarse en los bosques secundarios de mayor edad (Cuadro 1); esto se debe a que en estos sistemas existe un aporte constante y en mayor cantidad de estos restos vegetales muertos; además el carbono almacenado en la biomasa de la hojarasca del bosque secundario (6.94 t ha^{-1}), es mayor que el SAF (2.64 t ha^{-1}). Sin embargo, el carbono en la hojarasca normalmente es un componente pequeño en términos de biomasa, esto hace que, normalmente, su inclusión sea discrecional (CHIDIAK *et al.* 2006).

En el mismo Cuadro, se observa el menor almacenamiento de carbono de la biomasa aérea total en la edad de 9 años en el SAF "cacao" + "laurel" con $50,34 \text{ t C ha}^{-1}$, que presenta mayor cantidad de carbono almacenado comparado con el bosque secundario ($27,71 \text{ t ha}^{-1}$) de la misma edad; mientras que a 11 años de edad el sistema (bosque secundario) obtuvo mayor acumulación de carbono comparado con el SAF cacao+ laurel con $102,10$ y $83,59 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente de misma edad. Además, se observa que el carbono almacenado, tiende a incrementarse con la edad de los sistemas agroforestal y bosque secundario, tal como lo describen ALEGRE *et al.* (2002) y LAPEYRE *et al.* (2004). Es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono, puesto que los árboles, al crecer, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera (FONAM, 2005).

También se observa que el flujo de carbono almacenado es mayor en el bosque secundario ($7,48$ y $9,28 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) respecto al SAF cacao + laurel ($6,95$ y $7,60 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) a los 10 y 11 años de edad respectivamente, debido posiblemente a que cuando las especies se diversifican más, en el sistema bosque secundario los flujos son mayores que cuando hay menor diversidad, así como en el SAF cacao + laurel que aportó menor cantidad de flujo de carbono almacenado; mientras que a los 9 años de edad, el SAF cacao-laurel obtuvo $5,59 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, comparado con el bosque secundario de la misma edad que solo tiene $3,08 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; probablemente los flujos de fijación de carbono varían según las edades fisiológicas, pero además dependen de las combinaciones de especies, de las dinámicas de cada ecosistema particular, que también puede influir por su localización y latitud, esto se deduce de las diferentes cantidades de flujos encontrados entre

Perú, (Pucallpa – San Martín) y Costa Rica, $2,30$, $3,30$ y $5,20 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. LAPEYRE *et al.* (2004), quienes evaluaron la capacidad de captura de carbono de la biomasa aérea en 5 sistemas de uso de la tierra de la región San Martín, y el flujo de carbono reportado en el sistema de bosque secundario de 20 años es menor en comparación con el del bosque secundario de 50 años ($3,10$ y $4,60 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); y el flujo encontrado para en la edad de 15 años en el sistema agroforestal de cacao fue de $3,15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, sin embargo; estos valores aparentemente no coinciden con el promedio de los flujos encontrados en la presente tesis, esto se debe a que el trabajo de investigación se realizó en las edades de 9, 10 y 11 años; y por lo tanto conforme van creciendo tienen mayor biomasa acumulada y llegan hasta un punto máximo (clímax) de fijación de carbono, situación que puede ser confirmada por FINEGAN, (1997) y KYRKLUND, (1990), quienes mencionan que la cantidad de biomasa acumulada por el crecimiento de los árboles en los bosques y en los SAF disminuye gradualmente conforme aumenta la edad del sistema, y por lo tanto, su potencial de secuestro de carbono también disminuye.

Almacenamiento de carbono total en un Sistema agroforestal cacao + laurel y un bosque secundario

En el Cuadro 2, se observa la estimación de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, donde no hubo diferencias significativas entre el SAF cacao + laurel vs bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años; mientras que el almacenamiento de carbono en el suelo muestra diferencias significativas entre los distintos sistemas de la misma edad. Estas diferencias posiblemente se deben a que estén relacionado con la distancia del punto de muestreo al árbol más cercano; lo que está vinculado con la acumulación de materia orgánica proveniente de la hojarasca y de las raíces de los árboles (LOPEZ *et al.* 2002). KSTATE (2006) manifiesta que los suelos que se forman bajo bosques secundarios tienden a acumular altos niveles de carbono orgánico en el suelo próximos a la superficie. El carbono del suelo, se debe principalmente a la acumulación de residuo de hojas y madera en descomposición proveniente de las ramas y de árboles que se acumulan en la superficie del suelo. Del 40 al 50% se incorpora al suelo proveniente de hojas, ramas y raíces (Regos, 1989; citado por BARBARAN, 1998). Pero, la hojarasca, ramas y restos vegetales juegan un papel preponderante, puesto que, se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia

orgánica estable, capaz de almacenar el carbono (IPCC, 2004).

Cuadro 2. Carbono almacenado en la biomasa aérea, suelo y total en un SAF cacao + laurel comparado con un bosque secundario en tres edades, mediante la prueba de T ($\alpha=0,05$).

Edad (años)	Sistema de uso de tierra	Carbono en la biomasa aérea	Carbono en el suelo	Carbono total (t ha ⁻¹)
9	SAF cacao + laurel	50,34 a NS	64,17 b S	114,51 a NS
	Bosque secundario	27,71 a	82,85 a	110,56 a
10	SAF cacao + laurel	69,46 a NS	67,96 b S	137,42 a NS
	Bosque secundario	74,81 a	88,99 a	163,80 a
11	SAF cacao + laurel	83,59 a NS	68,75 b S	152,34 a NS
	Bosque secundario	102,10 a	96,15 a	198,25 a

Comparación de prueba de t de SAF (cacao + laurel) vs Bosque secundario de la misma edad.

En relación a lo mencionado, CIFUENTES *et al.* (2004) explica que los depósitos de carbono en el suelo aumentan durante el crecimiento del bosque secundario, quien también depende significativamente del tipo y la intensidad del uso anterior de la tierra. IPCC (2004), indica que cuando el bosque se aprovecha una porción de la biomasa (raíces, ramas, tallos y follaje) es dejada en el suelo, entrando en un proceso de descomposición.

Al mismo tiempo se observa respecto al almacenamiento de carbono total (biomasa aérea + suelo), que no hubo diferencias significativas entre el SAF cacao + laurel vs bosque secundario, entre los sistemas de la misma edad (9,10 y 11 años) respectivamente. Razón por la cual, los sumideros superficiales de carbono en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios (BROWN y LUGO, 1992). SÁNCHEZ *et al.* (1999) y LAPEYRE *et al.* (2004) resaltan la importancia del establecimiento de estos sistemas para la recuperación del potencial de captura de carbono en áreas anteriormente perturbadas.

Valorización económica de los sistemas agroforestal cacao + laurel y bosque secundario

Cuadro 3. Indicadores de rentabilidad económica.

Indicadores	SAF cacao + laurel	Bosque secundario
VAN (S/.)	1077,69	330,91
TIR (%)	17,81	19,77
R B/C	1,16	1,79
IPN/S (S/.)	1770,28	569,36

(IPNS) Ingreso promedio neto por sistema.

Asimismo, la relación beneficio costo de 1,16 que corresponde al SAF cacao + laurel, se puede interpretar que por cada sol que se invierte se obtiene una ganancia de 0,16. Por otro lado, la

En el Cuadro 3, se presenta los indicadores de rentabilidad del presente trabajo. El costo de oportunidad utilizado para los cálculos es de 14% por año, donde se determinó el Valor Actual Neto (VAN) para los dos sistemas; donde el SAF cacao + laurel con S/. 1077.69 alcanzando un valor muy superior al sistema bosque secundario que fue de S/. 330.91. Sin embargo, ambos sistemas indican la viabilidad del proyecto.

Al mismo tiempo se observa que la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculado para el SAF cacao + laurel fue de 17.81%, menor a la TIR del sistema bosque secundario que fue de 19.77%. También este indicador de rentabilidad (TIR) nos demuestra que ambos sistemas son viables, por cuanto en ambos casos la TIR es mayor que el costo de oportunidad que se utilizó y fue de 14% de TIR.

También se observa, que otro indicador de rentabilidad calculado fue la relación beneficio costo, R (B/C). Para el sistema SAF cacao + laurel fue de 1.16 menor que del sistema bosque secundario que fue de 1.79. Sin embargo, también en ambos casos es viable el proyecto por ser mayor que 1, debido a que el ingreso es mayor al costo.

relación beneficio costo de 1,79 que corresponde al sistema bosque secundario, se puede interpretar que por cada sol que se invierte se obtiene una ganancia de 0,79.

Finalmente se determinó, el ingreso promedio neto por sistema, considerando en el promedio, 10 años para el SAF cacao + laurel y 7 años para el sistema bosque secundario. Para el primer sistema indicado el ingreso promedio neto fue de S/. 1770,28 por año mucho mayor que el sistema bosque secundario que fue de S/. 569,36 por año. Por tanto, considerando el periodo indicado el SAF cacao + laurel es más rentable que el sistema bosque secundario, a pesar que el TIR y R (B/C) son menores que este sistema (bosque secundario), por lo que el rendimiento económico de los sistemas agroforestales dependen del tipo de asociación que se practica con el componente forestal cuya función principal es de dar servicios ambientales, protección y producción, con beneficios económicos variables a mediano y largo plazo. Por otro lado existen pequeñas propiedades en la Amazonia con vocación productiva al 100% en la actividad forestal, donde los productores pueden tener mayor participación en la producción de madera al establecer un determinado sistema agroforestal (CATIE, 1986).

Por otro lado, respecto a la acumulación de carbono en este sistema agroforestal podría contribuir a la economía familiar si se crean las condiciones y certificados de reducción de emisión de gases de efecto invernadero; puesto que la madera producida almacena el carbono por muchos años y, a la vez, se reduce la presión sobre el carbono almacenado en la madera del SAF y además genera ingresos económicos para el productor por la venta de madera; por lo tanto, es necesario enriquecer las parcelas con árboles maderables valiosos, para aumentar la captura de carbono y generar ingresos complementarios por la venta de este servicio ambiental a la sociedad (LÓPEZ *et al.* 2002).

CONCLUSIONES

1. El almacenamiento de carbono estimado en la biomasa arbórea en la edad de 9 años fue mayor en el SAF cacao + laurel con 46,98 t C ha⁻¹ y menor en un bosque secundario con 21,62 t C ha⁻¹; mientras que a la edad de 11 años fue mayor en el bosque con 175,10 t C ha⁻¹, y menor en el SAF con 138,05 t C ha⁻¹.
2. El almacenamiento de carbono de la biomasa aérea y flujo de carbono fue mayor en el SAF con 50,34 t ha⁻¹ y menor en un bosque secundario con 27,71 t ha⁻¹ en la edad de 9 años; mientras para las edades de 10 y 11 años fueron mayores en los bosques con 74,81 y 102,10 t ha⁻¹; y menores en el SAF con 69,46 y 83,59 t ha⁻¹.
3. El almacenamiento de carbono estimado total fue mayor en el SAF cacao + laurel (T₁) con 114,51 t ha⁻¹ y menor en un bosque secundario (T₄) con 110,56 t ha⁻¹ en la edad

de 9 años; mientras que a la edad de 11 años fue mayor en el bosque (T₆) con 198,25 t ha⁻¹, y menor en el SAF cacao + laurel (T₃) con 152,34 t ha⁻¹ respectivamente; y el aporte promedio de suelo para el carbono total en los diferentes sistemas fue de 59,3% y 50,2% para el bosque secundario y SAF.

4. El valor económico (VAN) de los diferentes sistemas de uso de tierra fue mayor en el SAF cacao + laurel con S/. 1077,69; y menor en el bosque secundario con S/. 330,91.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALEGRE, J.; ARÉVALO, L. y RICSE, R. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. [En línea]: (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>; 15 Nov. 2009).
2. ARCE, N.; ORTIZ, E.; VILLALOBOS, M. y CORDERO, S. 2006. Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. (<http://www.worldcocoafoundation.org/scientificresearch/researchlibrary/documents/Arce2008.pdf>).17/01/2010.
3. AREVALO, L.; ALEGRE, J.; RIOS, E.; CALLO-CONCHA, D. y PALM, CH. 2002. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Brasil. Pp 1-8.
4. BARBARAN, G. 1998. Determinación de biomasa y carbón en los principales usos de la tierra en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. 54p.
5. BROWN, S. y LUGO, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. Interciencia 17. FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 05/05/ 2009).
6. CATIE. 1986. Sistemas agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 140p.
7. CHIDIÁK, M.; MOREYRA, A. y GRECO C. 2006. Captura de carbono y desarrollo forestal sustentable en la Patagonia Argentina: Sinergias y

- Desafíos. CENIT-CEPAL-UDESA. LC/BUE/R.255. Buenos Aires, Argentina. 136p.
8. CIFUENTES, M.; JOBSE, J.; WATSON, V. y KAUFMAN, B. 2004. Determinación de carbono total en suelos de diferentes tipo de uso de tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. Centro Científico Tropical. Costa Rica. Pp.7-10.
 9. CONCHAI, Y., ALEGRE, C. y POCOMUCHA, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en San Martín, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú. 1:1-8 disponibles en pdf. (<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v6n1-2/a09v6n1-2.pdf>).16/06/2009.
 10. DUPOUEY, J., SIGUAND, G., BATEAU, V., THIMONIER, A., DHOLE, J.F. y NEPVEU, G. 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. C.R. Acad. Agric. Francia. 310p.
 11. FINEGAN, B. 1997. Memorias del taller internacional sobre estado actual y potencial de manejo y desarrollo del bosque secundario tropical en América Latina. Pucallpa, Perú. GTZ, CTA. Pp. 106-109.
 12. FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE (FONAM). 2005. Boletín de CO₂ en comercio. FONAM/CONAM/Embajada de los Países Bajos/. [En línea]: (<http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guia%20MDL.pdf>).18/ 06/ 2009.
 13. FONSECA, G.W.; ALICE, F.E.; MONTERO, J.; TORUÑO, H. y LEBLANC, H. 2006. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3123E/A3123E.PDF>,17/01/2010
 14. HERRERA, A. J. 2010. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 95p.
 15. IPCC. 2004. Climate change. spatial report on emissions scenarios. intergovernmental panel on climate change (IPCC). Disponible en [En línea] (<http://grida.no/climate/ipcc>. encontrado el: 22/04/2009).
 16. KYRKLUND, B. 1990. Cómo puede contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. Unasyuva 41(143):2-15
 17. KSTATE. 2006. El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del Carbono. Kansas State University y Agricultural Experiment Station and Cooperative Extensión Service. Carbon series. Departamento of Agronomy. [En línea]: OZNET, (<http://www.oznet.ksu.edu>, 18/06/2009).
 18. LAPEYRE, T.; ALEGRE, J. y AREVALO, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Ecología Aplicada. Volumen 3. Número 1- 2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 44p.
 19. LÓPEZ, A.; SCHLÖNVOIGT, A.; IBRAHIM, M.; KLEINN, C. y KANNINEN, M. 2002. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Revista Agroforestería en las Américas. Costa Rica. 95p.
 20. ORTIZ, G. y RIASCOS, C. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* y laurel *Cordia alliodora* (ruiz & pavón) oken en la reserva indígena de Talamanca, Universidad de Nariño, Costa Rica. Disponibles en (<http://www.worldcocoafoundation.org/infocenter/documentresearchcenter/documents/ortizguerrero2006.pdf>). 26/04/2009.
 21. SÁNCHEZ, P.; BURESH, R. y LEAKEY, B. 1999. Trees soils and food security. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 29/02/ 2009).

Escribanos: fsgd_dito@yahoo.es

Visite los siguientes blogs:

www.fgonzalesh.blogspot.com

www.fgonzaleshuiman.blogspot.com