

CAPTURA DE CARBONO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL CON THEOBROMA CACAO EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI -PUCALLPA-PERÚ

CARBON CAPTURE IN A SYSTEM WITH THEOBROMA AGROFORESTAL CACAO IN THE CAMPUS OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF UCAYALI - PUCALLPA-PERU

Carlos Andrey Ramírez Vela¹

Grober Panduro Pisco²

Edwin Miranda Ruiz³

Fecha de recepción: 31 enero 2014

Fecha de aceptación: 25 septiembre 2014

Resumen

El presente estudio evaluó el potencial de captura de carbono en un sistema agroforestal (SAF) en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali cuyas coordenadas geográficas son 8 ° 22 '35 "de latitud sur y 74 ° 34'38" de longitud oeste, con una altitud de 154 m.s.n.m, en el distrito de Manantay región de Ucayali, iniciándose en el mes de abril de 2012 y culminando en julio de 2012, para ello la temperatura media durante el periodo experimental fue de 27.2 ° C, la precipitación total fue de 1.925,3 mm y una Humedad relativa de 85,2 %. Para ello se realizó un inventario de todos los individuos que conforman el SAF,

1 Bachiller en Ciencias agropecuarias, Universidad Nacional de Ucayali, email: cramirezvela@hotmail.com

2 Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Ucayali, email: ecologrober@hotmail.2012

3 M. Sc Universidad Nacional de Ucayali, email: emiranda_ruiz@hotmail.com

encontrándose *Theobroma cacao* como cultivo principal asociado con especies de árboles frutales tales como *Inga edulis* (Guaba), *Citrus sinensis* (Naranja) y *Averrhoa carambola* (Carambola). Para determinar los datos biométrico se utilizó ecuaciones alométrica del ICRAF con el fin de estimar la biomasa viva, biomasa muerta y carbono en el suelo. Los resultados muestran que la cantidad de reservas de carbono son de 76.6 toneladas C/ha en la biomasa aérea; 8.9 ton C/ha; en la biomasa muerta y el 25,6 ton C/ha en el suelo, haciendo un total acumulado de 111,1 toneladas C/ha. El flujo de fijación de carbono del SAF es de 4,3 ton C/ha/año la cual determina un ingreso anual de aproximadamente EE.UU. \$ 78.8 dólares americanos por tonelada de CO₂/ha/año.

Palabras clave: Captura de carbono, pago por servicios ambientales.

Abstract

This study evaluates the potential of carbon fixation in agroforestry (SAF) on the campus of the National University of Ucayali whose geographical coordinates are 22 ° 8 '35 "south latitude and 74 ° 34'38" west longitude, with an altitude of 154 meters, in the district of Manantay Ucayali; beginning on April 2012 and ending on July 2010; the average temperature during the experimental period was 27.2 ° C, the total precipitation was of 1925.3 mm and a relative humidity of 85.2%. An inventory of all individuals within the SAF, being the main crop *Theobroma cacao*, associated with species of fruit trees such as *Inga edulis* (guava), *Citrus sinensis* (orange) and *carambola* (carambola) was performed. To determine the biometric data ICRAF allometric equations were used in order to estimate live biomass, dead biomass and soil carbon. The results show that the amount of carbon stocks was 76.6 tonnes C / ha in aboveground biomass; 8.9 ton C / ha; in living biomass and 25.6 t C / ha in the soil, making a cumulative total of 111.1 tons C / ha. The flow of carbon fixation of FAS was 4.3 ton C / ha / year which determines an annual income of about USA USD \$ 78.8 tC / ha / year

Keywords: carbon fixation, Payment for environmental services.

1. Introducción

El Dióxido de Carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero más importante debido a su volumen producido por las actividades humanas. Una de estas actividades es la deforestación. En los últimos 150 años, esta forma de utilizar los recursos naturales ha contribuido en forma muy significativa al aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmosfera de la tierra. Actualmente, cerca de un 20% de las emisiones de CO₂ resultan de la eliminación y degradación de los ecosistemas agroforestales. La detención de la deforestación y la reversión a través de la deforestación y manejo sustentable, implica

recapturar el CO₂, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera y reducir el calentamiento global.

Por lo tanto, la estimación adecuada de la biomasa de un sistema agroforestal, es un elemento de gran importancia debido a que esta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmosfera o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los sistemas agroforestales son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown et al., 1996).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de un sistema agroforestal. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco. Una forma de estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios (Brown, 1997). También se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad básica para determinar el peso seco y un factor de expansión para determinar el peso seco total (biomasa total del árbol).

Este trabajo se realizó con el objetivo de estimar, a través de ecuaciones alométricas, el contenido de la biomasa total y el carbono almacenado en un sistema agroforestal con Theobroma cacao en Pucallpa-Perú-2012.

2. Material y método

El presente trabajo de investigación se realizó en el semillero interclonal de cacao de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado, en el Km 6 de la Carretera Federico Basadre en la ciudad de Pucallpa, distrito de Calleria, provincia de Coronel Portillo en la Región de Ucayali. Geográficamente se ubica a 8°22'00" de latitud sur y 74°53'00" de longitud oeste y a una altitud de 154 msnm.

El clima de la región se caracteriza por ser cálido y húmedo, presenta una temperatura media anual de 25.1°C con poca variación entre las máximas (30.6°C) y mínimas (19.6°C) durante el año. La precipitación anual promedio es 1778 mm, otros indicadores del clima son las 1422.5 horas de sol anual y 1261.4 mm de evapotranspiración potencial anual (SENAMHI, 1998). En el estudio se empleó el método no experimental, el cual consistió en observar y medir parámetros biométricos, y a partir de ellos determinar la biomasa total y carbono almacenado en sistemas agroforestales de Theobroma cacao.

La población total en el sistema agroforestal evaluado fue de 1521 plantas entre cacao, carambola, cítricos y guaba, de esto, correspondieron a poblaciones individuales de: 1283 individuos de cacao, más 144 de carambola, más 75 de cítricos y más 21 árboles de guaba.

La muestra según lo recomendado por *Juran & Gryna 1988*, se ha tomado una muestra representativa de 10% de cada población, haciendo un total de 156 individuos como muestra; de los cuales correspondieron 128 plantas de cacao, 15 plantas de carambola, más 8 plantas de Cítrico y más 8 plantas de guaba.

Componentes estudiados

- Fijación de Carbono en el suelo.
- Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea.
- Almacenamiento de carbono en la biomasa muerta.
- Flujo anual de carbono.

Materiales

Libreta, tablero de campo, lápices, lapiceros, plumón indeleble, bolsas, sobres de manila y costales.

Equipos

GPS, cámara digital, balanza, estufa, laptop.

Herramientas

Cinta métrica, wincha, pala recta, machete, tijera de podar, barreno y cilindro de volumen conocido.

Procedimiento para el levantamiento de la información:

Determinación de carbono almacenado en la biomasa.

Biomasa aérea total

Para la determinación de la biomasa aérea total se utilizó el método no destructivo, que consistió en medir el diámetro del tallo; para el caso de cacao a 30 cm del suelo (d_{30}) y para el caso de especies frutales que sirven de sombra a la altura del pecho (dap). Una vez realizado esta actividad se procedió al cálculo de la biomasa aérea mediante la fórmula planteada por **Andrade et ál., (2006)**. Para cada uno de los casos respectivamente:

- Biomasa área total para el cacao: $B = 10^{-1,625 + 2,63 \times \log (d_{30})}$
- Biomasa área total de sp., frutales: $B = 10^{-1,11 + 2,64 \times \log (dap)}$

Dónde:

B = biomasa aérea total (kg árbol⁻¹)

Dap = diámetro a la altura de pecho (cm)

D₃₀ = diámetro a 30 cm del suelo.

Biomasa muerta

Para la biomasa muerta se trabajó con la metodología del **ICRAF (2009)**, el cual se utilizó un marco cuadrado de 0.25 m² (50cm x 50cm).

El proceso consistió en coleccionar todo el material localizado dentro del marco, el cual se tomó una sub muestra de 200 gr que se guardó en bolsas de papel, debidamente identificadas luego se llevó al laboratorio del suelo de la Universidad Nacional de Ucayali para ser secado en horno o en una estufa a 60°C, hasta obtenerse un peso constante.

Para determinar la materia seca se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bullet MS(bm) = (PS \text{ submuestra} / PF \text{ submuestra}) \times PFT$$

Dónde:

MS (bm) = Materia seca de la biomasa muerta (kg)

PS sub-muestra = Peso Seco de la sub-muestra.

PF sub-muestra = Peso Fresco de la sub muestra.

PFT= Peso Fresco Total.

Biomasa Total

Se determinó la biomasa total por la siguiente fórmula:

$$\bullet BS \text{ total} = BS \text{ aérea total} + BS \text{ muerta total.}$$

Determinación de carbono en la biomasa

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa **CAB**, se determinó empleando la metodología desarrollada por el ICRAF (2009), por la siguiente fórmula:

$$\bullet CAB = BS \text{ total} \times FC$$

Dónde:

CAB = Carbono almacenado en la biomasa (Ton C/Ha)

BS total = Biomasa Seca Total (Ton/ha)

FC = Fracción de carbono.

El valor estándar del IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático), para FC (0,5).

Fijación anual de carbono

Para la estimación de la fijación anual de carbono se determinó por la división del carbono almacenado en la biomasa entre la edad de la plantación del cultivo de cacao.

$$\bullet FAC = CAB/E$$

Dónde:

FAC = Fijación anual de carbono (ton C/ha/año)

CAB = Carbono almacenado en la biomasa (ton C/año)

E = edad de la plantación (años)

Determinación del carbono fijado en el suelo

Para determinar el % de carbono en el suelo se realizaron muestreos con el barreno dentro la proyección del área foliar de cada planta a evaluar a una profundidad de 0-20 cm.

Para determinar el % de carbono, las muestras fueron secadas a una temperatura de 55 °C durante tres días, posteriormente se molieron, homogenizaron y tamizaron para finalmente ser analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali por el método de Walkley Black. El carbono almacenado en el suelo (CAS) se cuantificó a partir del contenido de carbono en el suelo (%CS), la densidad aparente (Da) y la profundidad de muestreo (P); utilizando la siguiente fórmula:

- $CAS = \%CS \times DA \times P$

Las muestras de suelo para determinar la densidad aparente (DA) se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali. Se utilizó el método del cilindro de volumen conocido, las muestras se secaron a una temperatura de 105°C por 3 días luego se pesó y se determinó la densidad aparente por la siguiente fórmula:

- $Da = (\text{Peso del suelo seco}) / (\text{volumen del cilindro})$

3. Resultados

Evaluación de la Biomasa Aérea del Sistema

En el Tabla 1 se muestran la biomasa acumulados en la parte aérea para cada uno de los diferentes componentes del sistema agroforestal (cacao, carambola, cítrico y guaba), para ello se empleó las fórmulas planteada por Andrade et ál., 2006, como se describe en la metodología para cada caso. Así mismo en el Figura 1, se puede ver de manera general la cantidad de biomasa en kg árbol⁻¹ para cada uno de los componentes del sistema agroforestal.

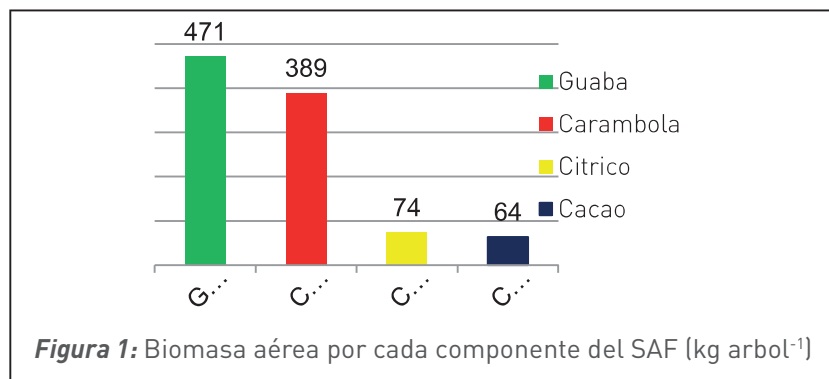
Tabla 1
Cantidad de biomasa en la parte aérea.

Datos promedios de las evaluaciones de las variables estudiadas				
N°	Especies evaluadas	Diámetro de circunferencia [cm]	Biomasa aérea (Kg árbol ⁻¹)	BAT (Ton/ha)
1	Theobroma cacao (cacao)	20.2	64.28	82.47
2	Averrhoa carambola (carambola)	25.2	389.01	55.2
3	Citrus sp (cítricos)	13.5	74.13	5.6
4	Inga edulis (guaba)	27.1	470.98	9.9
	Biomasa aérea Total (BAT)			153.17

* BAT = biomasa aérea Total

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 1 los resultados se obtuvieron a partir de la medida del diámetro (30 cm del suelo para cacao y a la altura del pecho para las especies frutales) luego estos datos se insertaron en la fórmula alométrica planteada por (Andrade et al., 2006), para obtener la cantidad de biomasa en kg/árbol y luego este resultado se multiplico por el número de individuos de cada especie que conforman el sistema agroforestal respectivamente para obtener la cantidad de biomasa en ton/ha.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 1, el componente que mayor biomasa tiene en Kg árbol⁻¹ es la guaba con 471 kg árbol⁻¹, seguido de la carambola, cítrico y cacao con 389 Kg árbol⁻¹, 74 Kg árbol⁻¹, 64 Kg árbol⁻¹ respectivamente, así mismo a partir de estos resultados podemos recomendar una combinación ideal del cacao para garantizar la eficiencia en el aporte de servicio ambiental.

Evaluación de la biomasa muerta (hojarasca)

Tabla 2

Cantidad de biomasa acumulada en la hojarasca.

Variables estudiadas				
Peso fresco total/0.25m ² (gr)	Peso fresco sub muestra (gr)	Peso seco de la sub muestra (gr)	BM Kg/0.25m ²	BMT (Ton/Ha)
363.7	100	123.8	0.45	17.9

*BMT= biomasa muerta total *BM= biomasa muerta

Fuente: Elaboración propia.

El sistema agroforestal de la UNU, acumula 17.9 ton ha⁻¹, como se puede observar en la Tabla 2, cabe mencionar que el agro ecosistema de la Universidad Nacional de Ucayali tiene 20 años desde su instalación en campo definitivo.

Evaluación del carbono almacenado en la biomasa total

En la Tabla 3, se muestra la reserva de carbono almacenado en la biomasa (CAB) y el flujo anual de carbono (FAC) a partir de la cantidad de biomasa acumulada en la parte aérea y en la materia muerta (hojarasca).

Tabla 3

Carbono almacenado en la biomasa y el flujo anual de carbono

Datos promedios de las evaluaciones de las variables estudiadas					
EDAD (años)	BAT (ton/ha)	BMT (ton/ha)	BT= BAT + BMT (ton/ha)	CAB= BT*FC (ton C/ha)	FAC= CAB/E (ton C/ha/año)
20	153.17	17.9	143.8	85.5	4.3

*BAT=biomasa aérea total *BMT=biomasa muerta total *CAB=carbono almacenado en la biomasa *FAC=flujo anual de carbono.

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en el cuadro anterior, la biomasa aérea total del sistema agroforestal es de 153.17 ton/ha, la biomasa muerta total es de 17.9 ton/ha, sumando en Total a (BT) 143 ton/ha.

A partir de la cantidad de biomasa acumulada en el sistema se determinó la reserva de carbono almacenado en la biomasa multiplicando la biomasa total acumulada por el factor carbono (0.5) cuyo resultado obtenido es de 71.9 ton/ha de carbono.

El flujo anual se han calculado dividiendo la biomasa acumulada entre la edad del sistema, de esta forma se expresa la dinámica de la acumulación de carbono. Cabe destacar que la comunidad internacional considera los flujos reales de carbono almacenado cada año (expresados en CO₂/ha/año), para el otorgamiento de créditos por este servicio ambiental.

El flujo de carbono del sistema agroforestal evaluado en el presente trabajo de investigación tiene un promedio de fluctuación de 4.3 ton C/ha/año y estuvieron en función de la biomasa acumulada en el tiempo de crecimiento y que es muy variable y dinámico por el manejo y todas las pérdidas que pueden haberse dado por la cosecha de frutos, enfermedades, etc.

Evaluación del carbono fijado en el suelo

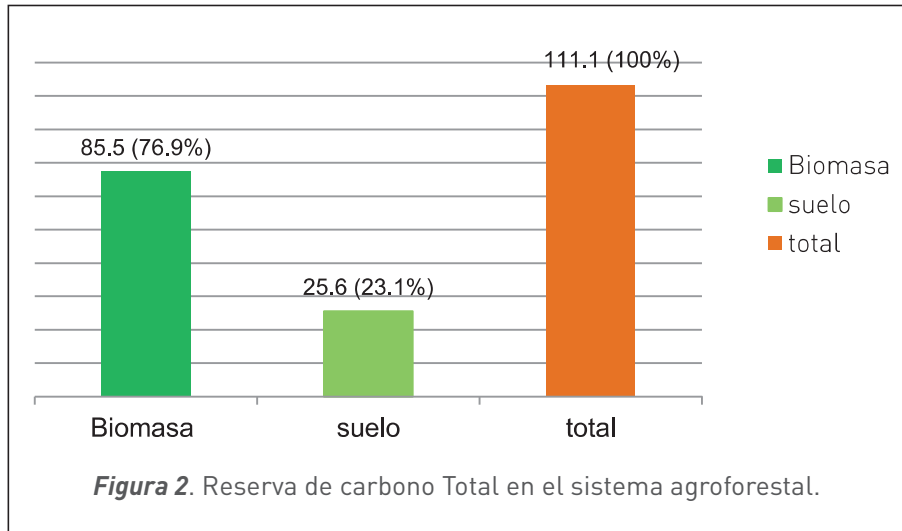
En la Tabla 4, se muestra la cantidad de reserva de carbono almacenado en el suelo, así mismo en la figura 2 se presenta de manera general en porcentaje la cantidad de reserva de carbono en cada uno de las variables estudiadas (la parte aérea, la hojarasca y el suelo).

Tabla 4
Reserva de carbono almacenado en el suelo.

Variables estudiadas			
Prof. Muestreo (cm)	Da (gr/cm ³)	%C	CAS (ton C/ha)
20	1.6	0.8	25.6

*%C = porcentaje de carbono *CAS = carbono almacenado en el suelo

Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración propia.

En el Figura 2 se puede ver la cantidad de reserva de carbono en la biomasa y en el suelo en ton/ ha, también qué porcentaje le corresponde a cada uno, de aquí podemos deducir que la mayor cantidad de reserva de carbono lo tiene la parte de la biomasa con 85.5 ton C/ha debido a que aquí se encuentran las hojas que actúan como grandes fábricas que están siempre captando y elaborando nutrientes a través de la fotosíntesis y además el carbono forma parte de la estructura de la planta tanto de las hojas, tallos, ramas, frutos, la biomasa muerta y el suelo con 25.6 ton C/ha, sumando un total de 111.1 ton C/ha.

Valoración económica

En esta sección se presentan los datos referenciales respecto a las posibles ganancias que recibirían los facilitadores de los sistemas evaluados según el precio actual de las emisiones reducidas de dióxido de carbono CO₂, en el mercado internacional US\$ 4.30 dólares por hectárea al año, redondeado por exceso US\$ 5.00, según el portal de Ecosystem Market Place. (www.ecosystemmarketplace.com, 2007).

Tabla 5
Estimación de los créditos de carbono

Sistema agroforestal (20 años)			
Carbono Almacenado en la biomasa	Flujo carbono	Flujo* 3.667	Ton CO ₂ * US\$5
ton C /ha	ton C /ha	ton CO ₂ equivalente (ton/ha/año)	Monto a recibir cada año/Ton/Ha
85.5	4.3	15.8	78.8

Fuente: *Elaboración propia.*

Como podemos observar el sistema de cacao de 20 años con sombra de Carambola-Cítrico-Guaba, tiene un ingreso anual aproximado de US\$ 78.8 dólares americanos, por ton CO₂/ha/año.

Este resultado se obtiene a partir de la cantidad de reserva acumulada en la biomasa total (biomasa aérea más biomasa muerta), se divide entre la edad del sistema y obtenemos el flujo anual de carbono, este flujo lo multiplicamos por el flujo fijado por el mercado de carbono (*www.ecosystemmarketplace.com, 2007*) y por ultimo este resultado se multiplica por el precio de cada tonelada de CO₂ (US\$ 4.99).

4. Discusión

Evaluación de la biomasa aérea

Ortiz y Riascos (2006), estimó la biomasa aérea para el cacao en función de la edad, mediante una ecuación de tipo polinomial de segundo grado: $B = - 2.01539 + 0.191278 * E - 0.000370852 * E^2$. En nuestra investigación se relacionó la biomasa en función del diámetro del tallo, $B = 10^{-1.625 + 2.63 \times \log(d30)}$ (cacao) y $B = 10^{-1.11 + 2.64 \times \log(dap)}$ (especies frutales), debido a que se ha observado en la práctica que muchas veces estimar biomasa, sólo en función a la edad no siempre reflejan la biomasa real del árbol, ya que las condiciones de estrés de la planta, así como enfermedades, plagas y podas drásticas afectan su normal crecimiento, la fisonomía y con ello, la biomasa de los árboles. En cuanto a semejanzas ambas tesis tuvieron en cuenta el diámetro a los 30 cm. del suelo.

En relación a la biomasa de diferentes sistemas de uso de la tierra, se cuenta con la tesis de *Lapeyre (2004)*; quien realizó su evaluación en San Martín, evaluando un sistema de cacao en la localidad de Cachiyacu, cerca al río Cumbaza, en la ciudad de Tarapoto, la edad promedio del sistema fue de 15 años, con especies de sombra de edades entre 15 y 20 años, como lo son la

guaba (*Inga edulis*), pumaquiro (*Simira* sp), bolaina blanca (*Guazuma crinita*), bolaina negra (*Guazuma ulmifolia*), shimbillo blanco (*Inga* sp), el cacao presentó un distanciamiento del 4x4 metros. Dicho sistema acumuló una reserva de 94 ton biomasa/ha, valor inferior a lo encontrado en el presente trabajo de investigación la cual acumuló una biomasa aérea de 153.17 ton/ha, uno de los factores que ocasiona esta diferencia es la densidad de siembra ya que los sistemas evaluados en Tarapoto tienen una densidad de siembra de 4x4 y sistema evaluado en el presente trajo presenta una densidad de siembra de 3x3.

La zona del estudio tiene un área de 20 ha, las cuales fueron dedicadas al cultivo del banano (*Musa* AAA subgrupo "Cavendish" "Valery") por un periodo de aproximadamente 20 años. Luego se establecieron pasturas que fueron pastoreadas por 10 años; para finalmente ser abandonadas en 1991. A partir de esta fecha se inició el proceso de regeneración natural. En la actualidad el bosque secundario en estudio cuenta con 37 especies arbóreas, pertenecientes a 32 géneros, y 21 familias. Las familias más abundantes son Fabaceae, Malvaceae y Cecropiaceae (*Russo y Leblanc, 2006*).

Evaluación de biomasa muerta (hojarasca)

En relación a la biomasa muerta (hojarasca) de diferentes sistemas de uso de la tierra, *Larrea, (2007)*, quien realizó una investigación en Mariscal Cáceres Región de San Martín, evaluando el sistema de cacao de 3 años, con guaba (*Inga edulis*) y palta (*Persea americana*) como sombra de 5 años de edad. El diámetro promedio de los cacaos en este sistema fue 4 a 8 cm., con distanciamiento de 3x3 m. Además los árboles de sombra tuvieron un distanciamiento de 9x9 m. y el sistema presentó un alto contenido de hojarasca (24.71 ton/ha) considerada alto para la edad del sistema y por encima del contenido de biomasa encontrado en el presente trabajo de investigación (17.9 ton/ha). Estos resultados probablemente se deben a que las guabas y paltas asociadas al cacao, tienen mayor volumen de emisiones de hojas comparadas a nuestro sistema asociado con frutales: carambola, cítricos y pocas guabas; lo cual manifiesta una diferenciación respecto a los resultados del experimento de *Larrea (2007)* en San Martín.

Por otro lado, la mineralización y descomposición de la materia orgánica en los suelos del valle de San Martín es más lento e inferior respecto a los suelos de ecosistema tropical húmedo como es de Pucallpa, debido a que la mineralización o descomposición de la materia orgánica es directamente proporcional al pH del suelo e inversamente proporcional a la altitud; por lo que es probable que nuestros resultados muestran menor volumen de biomasa muerta.

Evaluación del carbono almacenado en la biomasa total

Ortiz y Riascos (2006), realizaron una investigación en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica con el fin de simular la capacidad de almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao - laurel (*Cordia alliodora*), en dos condiciones de relieve (valle y loma), bajo tres densidades de siembra para laurel (6x6, 9x9 y 12x12 m) y una densidad de siembra para cacao (3x3), en un período de 25 años. Esta simulación incluyó el carbono almacenado promedio de los compartimientos suelo, biomasa y vegetación herbácea del sistema. La cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con cacao y laurel (SAF-CL) fue de 126.4 ton C/ha en valle y de 114.5 ton C/ha en loma bajo la densidad 6x6 m. El carbono promedio almacenado en las densidades 9x9 m y 12x12 m, fue de 109.7 y 97.9 ton C/ha, respectivamente, en un período de 25 años. Como podemos ver que los valores de reserva de carbono son relativamente mayores que el encontrado en el presente trabajo, se puede decir que esta diferencia se debe a que el trabajo de investigación realizado por *Ortiz y Riascos (2006)*, considera el carbono almacenado en la biomasa arbórea, sabemos que el cacao solo presenta dicha biomasa en los primeros años, en los años posteriores no presenta debido a que el sistema con cacao presenta un colchón de hojarasca que actúa como controlador de malezas, por esta razón en el presente trabajo de investigación no se consideró la biomasa arbórea.

Dada la relevancia de la tasa de fijación se comparó la tasa de fijación promedio en los SAF-CL de la Reserva Indígena de Talamanca, que fue de 5.1 ton C/ha/año en 25 años, comparado con el flujo promedio del sistema evaluado en la presente tesis, para sistemas de cacao con diferentes sombras en Pucallpa-Perú, el flujo encontrado fue de 4.3 ton C/ha/año, observándose una diferencia de menos -0.8 ton C/ha/año. Se podría decir que esta diferencia de flujos está determinado por la diferencia de biomasa que presentan estos dos sistemas.

Según el estudio de *Alegre et al., (2001)*, el sistema de 20 años de cacao localizado en Pucallpa fijó 200 ton C / ha., con un flujo encontrado de 2.3 ton C/ha/año, valor inferior al promedio de los flujos encontrados en la presente tesis, 4.3 ton C/ha/año. En este caso el valor de flujo es menor a pesar de que dicho trabajo considero la biomasa herbácea, de esto se puede concluir que el sistema evaluado por *Alegre et al., (2001)* presento una acumulación de biomasa total menor (46 ton C/ha) a la que presento el sistema evaluado en el presente trabajo de investigación (85.5 ton C/ha) ya que el flujo de carbono de la biomasa acumulada total es en función al tiempo.

El flujo de carbono en el sistema de bosque secundario de 20 años (3.1 ton C/ha año) fue menor en comparación con el sistema agroforestal de 20 años evaluado en el presente trabajo de investigación (4.3 ton C/ha/año), y esto se debe a las características de este sistema, el cual fue perturbado.

Larrea (2007), realizó un trabajo de investigación en la cual determinó las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de theobroma cacao & determinación de la ecuación alométrica para el cacao en la provincia de Mariscal Cáceres, región de San Martín la cual encontró que el sistema de cacao con capirona, bolaina y caoba de 8 años de edad presentó flujos de 8.03 ton C/ha/año, valor muy superior a lo encontrado en el presente trabajo de investigación (4.3 ton C/ha/año), esto puede deberse a las edades de los sistemas; el sistema de cacao con capirona, bolaina y caoba tiene una edad de 8 años, mientras que el sistema de cacao con carambola, cítrico y guaba tiene 20 años y como es conocido las capturas de carbono se deben al incremento de la biomasa anual del sistema, este incremento tiene un índice mayor que en los años posteriores, hasta llegar al equilibrio.

Evaluación del carbono fijado en el suelo

La cantidad de reserva de carbono encontrada en el suelo en el presente trabajo de investigación (25.6 ton C/ha) lo cual es inferior a lo encontrado en el trabajo de investigación realizado en Aguaytía, Región Ucayali por *Lino (2009)*, en un sistema en sucesiones secundarias de bolaina blanca de 3, 4, 5, 6 y 7 años de edad y en el suelo en su gran mayoría son Entisols. Son suelos profundos que pueden variar de textura media a fina (arcillosos a arcillo limosos en la superficie), de reacción moderadamente ácida a ligeramente alcalina (pH 5.1- 7.5), estos suelos son de fertilidad media (*IIAP, 2003*). Quien encontró un resultado equivalente a 32 ton C/ ha, valor superior a lo encontrado en el presente trabajo de investigación.

5. Conclusiones

- El sistema agroforestal (cacao, cítricos, carambola y guaba) del jardín interclonal evaluado, presentó una acumulación de biomasa aérea equivalente a 153.17 ton/ha, distribuidas de la siguiente manera: en cacao, 82.47 ton/ha, en carambola, 55.2 ton/ha, en cítrico 5.6 ton/ha y en guaba 9.9 ton/ha.
- El sistema agroforestal (cacao, cítricos, carambola y guaba) del jardín interclonal evaluado, presentó una biomasa muerta (hojarasca) de 17.9 ton/ha.

- La biomasa total (biomasa aérea más biomasa muerta) presentada en el sistema agroforestal es 171 ton/ha y la reserva de Carbono almacenado en la biomasa es de 85.5 ton C/ha.
- El cantidad de carbono fijado en el suelo es 25,6 ton C/ha, y sumando el Carbono almacenado en la biomasa, tenemos un total de 111.1 ton C/ha.
- El flujo de carbono del sistema fue 4.3 ton C/ha/año.
- El sistema agroforestal (cacao, cítricos, carambola y guaba), podría obtener créditos de carbono por un ingreso anual aproximado de US\$ 78,8 dólares americanos, por ton C/ha/año.

6. Referencias

- Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernandez J., Velazquez-Martinez, A., Etchevers Barra J. (2002). *Estimación de Biomasa aérea con relaciones alométricas en seis especies arboreas en Oxaca, México*
- Alegre J. C., Arevalo L., Ricse A., Callo-Concha, D., PALM C. (2001). *Carbon sequestration For different land use systems in the humid tropics of Peru*. Annual Meeting of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Charlotte North Carolina October 21-25.
- Altieri, M. (1999). *Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan-Comunidad, p. 229-243.
- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos. M. (s/f). En Preparation. *Biomass Equations to Estimate Aboveground Biomass of Woody Components in Indigenous Agroforestry Systems with Cacao*.
- Andreo, C. Y., Vallejos, R. (1984). *Fotosíntesis*. Washington D.C: Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la OEA. 1984. 26 p
- Arévalo, Cheryl Palm Y Alegre, J. C. (2003). *Manual de Determinación de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en el Perú*. ICRAF, CODESU, INIA e INRENA.

- Arévalo Gardini, E; Zúñiga, L; Arévalo , C., Adriazola Del Águila. (2004). *Guía Técnica de Manejo Integrado del Cultivo y Transferencia de Tecnología en la Amazonia Peruana*. Instituto de Cultivos Tropicales.
- Beaumont, E. (1999). El Protocolo de Kyoto y el Mecanismo para el Desarrollo en Limpio: *Nuevas Posibilidades para el Sector Forestal en America Latina y El Caribe*. Buenos Aires: Departamento de Montes de la FAO, 90 p.
- Brown, S. (1999). *Land Use and Forestry Carbon - Offset Projects*. Paper prepared for the USAID Environment Officers Trading Workshop, Winrock International. 6 -8 p.
- Castro, R.; Cordero, S. y Acevedo, C., (2002). *Casos Latinoamericanos de Cambio Climático y Desarrollo*. San José: Copieco de San Pedro 320 p. 63.
- Chacón et, al (2007). *Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica*.
- Ciesla, W. (1996). *Cambio Climático, Bosques y Ordenación Forestal: una visión de conjunto*. Roma: FAO, 1996. 150 p.: http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/