

## DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Theobroma cacao* L. EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN, PERU

## DETERMINATION OF CARBON RESERVATIONS IN THE AERIAL BIOMASS OF AGROFORESTRY SYSTEMS OF *Theobroma cacao* L. IN THE DEPARTMENT OF SAN MARTÍN, PERU

Juanita Y. Concha<sup>1</sup>, Julio C. Alegre<sup>2</sup> y Vicente Pocomucha<sup>3</sup>

### Resumen

En este estudio se evaluó la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el propósito de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. El estudio se realizó en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal Cáceres). Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años. En cada sistema se establecieron aleatoriamente cinco cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> cada uno, evaluándose la biomasa vegetal total existente. Para evaluar la ecuación alométrica del cacao se muestrearon 7 plantas cuyas edades variaron de 01 hasta 22 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26.2 t C ha<sup>-1</sup> para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C ha<sup>-1</sup> del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t ha<sup>-1</sup> hasta 35.5 t ha<sup>-1</sup>, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha<sup>-1</sup> hasta 9.97 t ha<sup>-1</sup>; 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 representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha<sup>-1</sup>. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual, generando el mayor beneficio económico con créditos por CO<sub>2</sub> equivalente.

**Palabras claves:** Carbono, sistemas agroforestales, CO<sub>2</sub>, cacao, biomasa, créditos de C

### Abstract

This study assessed aerial biomass of six different agroforestry systems of cocoa (*Theobroma cacao* L.) associated with forest and fruit species with the objective of monitoring the potential of carbon sequestration in each system. The study was carried out in two different places located in the region of San Martin (San Martin and Mariscal Caceres). Ages of the different agroforestry systems were 5, 12 and 20 years. In each system quadrates of 100 m<sup>2</sup> randomly distributed were established to evaluate the total vegetative biomass. In order to determine the allometric equation of cocoa 7 plants of different ages (1 to 20 years) were sampled. The results in carbon capture in each agroforestry system varied from 26.2 t C ha<sup>-1</sup> for the 5 year Pachiza system and up to 45.07 t C ha<sup>-1</sup> for the 12 year Pachiza system Likewise, the capture of carbon in the biomass of the alive trees fluctuated from 12.09 t ha<sup>-1</sup> to 35.5 t ha<sup>-1</sup>, followed by the litter fall biomass with values of 4 t ha<sup>-1</sup> up to 9.97 t ha<sup>-1</sup>; while the biomass of standing dead trees or dead felled trees were very low and variable in carbon content The agroforestry systems of 12 and 20 years represented 66.7% of the systems with carbon reservation above the 40 t ha<sup>-1</sup>, while the 5 year-old systems presented reservations of carbon below the 30 t C ha<sup>-1</sup>. The 5 year cocoa agroforestry system located in Juanjui and Pachiza presented the higher carbon flux generating greater economic benefit with the CO<sub>2</sub> equivalent credits.

**Key words:** Carbon, Agroforestry systems, CO<sub>2</sub>, cacao, biomass, carbon credits

### Introducción

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera de la tierra es una preocupación mundial, y se considera como uno de los 6 principales gases que intervienen en el efecto

invernadero (GEI) el cual esta contribuyendo en mayor proporción al cambio climático (IPCC, 2000). En los últimos 200 años los incrementos del CO<sub>2</sub> en la atmósfera han sido de 280 a 375 ppm, y continua

umentando a una tasa promedio superior a 1.5 ppm por año (ASB, 2005).

Las plantas utilizan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub> durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono. Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población de cada estrato y por comunidad vegetal (Alegre *et al.*, 2000).

Para la medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier sistema de uso de la tierra, se requiere primero realizar inicialmente un análisis destructivo directo o estimaciones indirectas del material vegetal y realizar las inferencias respectivas y segundo las estimaciones de la biomasa total, determinándose el tamaño y diámetro de los árboles, a fin de poder encontrar funciones matemáticas basadas en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo (Alegre *et al.*, 2001).

A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los GEI por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad existente; siendo uno de ellos el proyecto llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono (CONAM, 2001), estas a su vez pueden beneficiarse ambientalmente mediante el secuestro de carbono, disminuyendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima; mejorando la calidad de agua, el paisaje y la biodiversidad. También previniendo desastres naturales, realizando funciones de refugio de especies animales y generando socialmente empleos y produciendo bienes con servicios, entre otros.

En la región San Martín, la superficie total del área boscosa es de 3 553.642 ha, que representa el 72.45 % del bosque original, encontrándose estas áreas en zonas montañosas; sin embargo, según (INRENA, 1996) la superficie deforestada para el año 1990 fue de 1 351.158 ha. Muchas de estas áreas han sido utilizadas en la producción de cultivos anuales, pastos y sistemas perennes; habiéndose reducido en la actualidad la capacidad de capturar o fijar carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra.

Actualmente el Perú cuenta con muy pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono en

la biomasa aérea, especialmente en sistemas agroforestales donde al combinar los cultivos o frutales con especies forestales incrementan sus niveles de captura de carbono, mejorando además su productividad (Lapeyre *et al.*, 2004); sin embargo, se han realizado otros estudios que evalúan las reservas de carbono en otros diferentes sistemas de uso de la tierra en las regiones de Amazonas y Ucayali (Alegre *et al.*, 2000).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar en forma cuantitativa el carbono secuestrado en la biomasa aérea para diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) asociados con especies frutales, maderables e industriales en la región de San Martín. Este sistema de cacao con especies forestales de sombra es uno de las principales actividades agrícolas de esta región.

## Materiales y Métodos

### Ubicación de los sistemas

Los sistemas agroforestales (SAFs) evaluados en dos sitios (sitio 1 y sitio 2), estuvieron localizados en la región San Martín, provincias de San Martín y Mariscal Cáceres. En la Tabla 1, se presenta algunas características principales de las zonas de estudio.

**Tabla 1.** Caracterización de las zonas de estudio.

Región	San Martín			
Provincia	San Martín *	Mariscal Cáceres **		
Distrito	Banda del Shilcayo	Juanjui	Huicungo	Pachiza
Sector	Choclino	Villaprado	La Victoria	Alto el Sol Santa Teresa
Edad SAFs (años)	20	5 y 20	12	5 y 12
Altitud msnm.	448	250	357	298
T. Promedio °C	26	25.5	22.5	27
H.R. %	78.5	94	95	94
Precipitación mm.	1000-1200	1500	1500	1400-1800
pH	5.42 - 6.26	-	Neutro	Neutro
UTM	E 352616	312171	303547	304735
	L 9283694	9210762	9189566	9194566

\* Sitio 1, \*\* sitio 2

### Descripción de los sistemas evaluados en San Martín

#### Sistema Agroforestal de 20 años: Banda de Shilcayo

El sistema agroforestal de 20 años, estuvo conformado por especies de cacao (*Theobroma cacao*

L.) (625 árboles/ha), guaba (*Inga sp*) (20 árboles/ha), mandarina (*Citrus nobilis* Loureiro) (120 árboles/ha), sierra pashaco (*Piptadenia Favia*) (40 árboles/ha), pucaquiro (*Sickingia williamsii*) (20 árboles/ha), palto (*Persea americana*) 20 árboles/ha, cetico (*Cecropia sp*) (20 árboles/ha) y naranja (*Citrus aurantium L.*) (20 árboles/ha). La zona presenta pendientes de 30 % y no es inundable; se encuentra ubicado en el sector denominado el Choclino, distrito Banda de Shilcayo, provincia de San Martín cercano a la quebrada que lleva el mismo nombre y a la ciudad de Tarapoto. Este sistema cuenta con especies forestales con edades entre los 20 y 25 años, con un área basal total de 5.71 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> con las diferentes especies forestales. El área de la plantación del sistema es de 1 ha; el cacao evaluado fructificó al tercer año y presenta la época de mayor cosecha durante los meses de Abril hasta Agosto; y los meses de menor cosecha, se presenta en los meses de Setiembre a Diciembre. La producción promedio fue de 100 kilos por hectárea. Esta baja producción se debió a que el terreno a estado abandonado y sin mantenimiento de las condiciones mínimas requeridas por el cultivo.

#### **Descripción de los sistemas evaluados en Mariscal Cáceres**

##### **Sistema Agroforestal de 20 años: Juanjui**

Sistema Agroforestal de 20 años, conformado por las especies de cacao (*Theobroma cacao L.*) (1 280 árboles/ha), guaba (*Inga edulis*) (20 árboles/ha), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) (100 árboles/ha) y mango (*Mangifera indica L.*) (20 árboles/ha). Este sistema se encuentra localizado en el sector denominado Villaprado, distrito de Juanjui, provincia de Mariscal Cáceres. El manejo y mantenimiento de este sistema, se realiza con tecnología intermedia, utilizando fertilizantes como abono orgánico y el control de maleza se realiza mediante deshierbo manual con machetes y palas. El terreno no es inundable y posee una pendiente casi plana.

##### **Sistema Agroforestal de 5 años: Juanjui**

Sistema Agroforestal de 5 años, conformado por cacao (*Theobroma cacao L.*) (2 500 árboles/ha), guaba (*Inga sp*) (340 árboles/ha), cuya edad oscila entre 5 a 8 años, que proporciona sombra y reciclaje de nutrientes al cacao. Este sistema se encuentra localizado en el sector denominado Villaprado, distrito de Juanjui, provincia de Mariscal Cáceres. El manejo y mantenimiento de este sistema, se realiza con tecnología intermedia, utilizando abono orgánico como fuente de nutrientes y el control de maleza se realiza mediante deshierbo manual con palas y machetes. El terreno no es inundable y posee una pendiente casi plana (0%). Este sistema fue tomado como control de referencia para el análisis y

comparaciones con los sistemas agroforestales en estudio.

##### **Sistema Agroforestal 12 años: Huicungo**

Sistema Agroforestal conformado por especies de cacao (*Theobroma Cacao L.*) (2 500 árboles/ha), cedro (*Cedrela odorata*) (340 árboles/ha), shaina (*Colubrina glandulosa*) (20 árboles/ha) y guaba (*Inga sp*) (100 árboles/ha), el sistema se localiza en el sector denominado La Victoria, distrito de Huicungo, provincia de Mariscal Cáceres. La edad del cacao es de 12 años, La época de cosecha se realiza durante los meses de Abril a Setiembre; mientras el mantenimiento se realiza con abono orgánico y mediante deshierbo manual con machete y pala. El terreno no es inundable y posee una pendiente de 3 %. El cedro, la shaina y la guaba son especies forestales y/o frutales que suministran la sombra y nutrientes al cultivo de cacao.

##### **Sistema Agroforestal de 12 años: Pachiza**

Sistema Agroforestal de 12 años: Cacao (*Theobroma cacao L.*) (2 500 árboles/ha), guaba (*Inga edulis*) (80 árboles/ha), café (*Coffea arabica L.*) (220 árboles/ha), pucaquiro (*Sickingia williamsii*) (1 005 árboles/ha) y papaya (*Carica papaya*) (40 árboles/ha). Este sistema Agroforestal se localiza en el sector denominado Santa Teresa del distrito de Pachiza, provincia de Mariscal Cáceres, la edad del cacao es de 12 años. La época de mayor cosecha se realizan durante los meses de Abril hasta Agosto; mientras, la menor cosecha se realiza de Setiembre a Diciembre, al igual que las podas respectivas.

El mantenimiento del sistema se realiza con tecnología intermedia, utilizando para la fertilización el abono orgánico y el control de malezas se realiza mediante el deshierbo manual con uso de machetes y palanas. El terreno es inundable en épocas de avenida del río Huayabamba y presenta pendiente menores al 1 %, razón por la cual se observa en algunos sectores el depósito de limo y arcilla en las parte bajas y planas, mientras en los sectores que presentan una ligera pendiente del 1 a 2 % se observa lavado y erosión de la capa arable del suelo.

El sistema presenta cobertura vegetal de tipo higroscópico denominada *Commelina sp*, localizada como la única, comparada a los otros sistemas estudiados; que permite mantener buena humedad en el suelo y por lo tanto permite conservar la humedad del cultivo en épocas secas.

##### **Sistema Agroforestal de 5 años: Pachiza**

Sistema Agroforestal de 5 años de plantación tipo Huerto Casero; se localiza en el sector Alto el Sol, Distrito Pachiza, provincia de Mariscal Cáceres; cuya edad del cacao (*Theobroma cacao L.*) (840 árboles/ha) fue de 5 años y esta combinada con especies de mango (*Mangifera Indica L.*) (100 árboles/ha), pucaquiro (*Sickingia Williamsii*) (120 árboles/ha); papaya (*Carica papaya*) (20 árboles/ha), frijol de palo (*Cajanus Cajan*) (140 árboles/ha); yuca (*Manihot*

*sculenta*) (200 plantas/ha), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) (20 árboles/ha) y coco (*Cocos nucifera*) (40 árboles/ha).

El mantenimiento del sistema agroforestal, se realiza utilizando abono orgánico y el control de malezas, se realiza mediante el deshierbo manual con el uso del machete. La poda del cacao se realiza durante los meses de Octubre a Noviembre. El terreno no es inundable y posee una pendiente de 0 %.

### Metodología

El proceso de investigación del presente trabajo se realizó en tres fases: Una de campo, que consistió en realizar el inventario dentro de las plantaciones y el recojo de muestras; la segunda fase, período de laboratorio que consistió en el secado de muestras; y la tercera fase, período de gabinete, que se fundamentó en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos para determinar la cantidad de carbono en cada uno de los sistemas agroforestales estudiados.

Para la cuantificación del carbono contenido en dos sistemas agroforestales, cuyas edades oscilaron entre 5 años, 12 años y 20 años, considerándose al cacao (*Theobroma cacao* L.) como cultivo principal, se establecieron aleatoriamente cinco cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> en cada sistema, en diferentes direcciones y de donde, se tomaron los diámetros y alturas de todos los árboles en pie (vivos o muertos) y árboles caídos muertos. Para cada una de estas especies se les aplicó la ecuación alométrica respectiva para determinar la biomasa de la vegetación arbustiva. La vegetación herbácea y hojarasca se determinaron en cuadrante de 1 m<sup>2</sup>. No se tomaron las palmeras y plátanos por el aporte insignificante de biomasa (Arévalo *et al.*, 2003). La ecuación alométrica de cacao se generó en base al muestreo destructivo de 7 árboles de diferentes diámetros y alturas en los sistemas colindantes cuyas edades fluctuaron de 1 a 22 años.

### Evaluación

La metodología de evaluación realizada fue basado en el Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú, propuesta por Arévalo *et al.* (2003); esta técnica se fundamenta en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y tomándose muestras en forma disturbativa del sotobosque, cultivos, pastos y hojarasca.

### Análisis estadístico:

Se realizó el análisis estadístico con el modelo de gráficos de caja (Tool box) mediante el software estadístico de R. Este análisis muestra la distribución de todos los datos y los compara gráficamente en función de la variabilidad de las muestras.

## Resultados y Discusiones

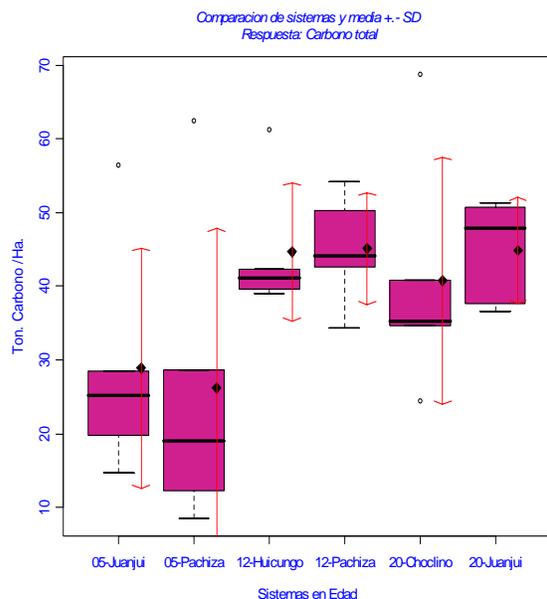
### 1. Carbono total en la biomasa aérea

Los seis sistemas agroforestales del presente experimento son mostrados en la Tabla 2. Las Figuras 1 y 2, nos indican el contenido de las reservas totales de carbono (C) a nivel general existentes en los sitios 1 y 2 para los diferentes sistemas agroforestales evaluados. Se observan que los sistemas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de 12 años de edad pertenecientes a los sectores de Santa Teresa (Pachiza) y la Victoria (Huicungo) y el sistema de 20 años del sector Villaprado (Juanjui) presentaron mayores reservas de C con 45.07, 44.68 y 44.85 t C ha<sup>-1</sup> respectivamente. Si adicionamos todos estos valores hacen un total de 165.4 t C ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> equivalente para el sistema de Pachiza y 164.5 t de CO<sub>2</sub> equivalente para el sistema de Huicungo; Por otro en el sector de Villaprado (Juanjui) presentó 164.6 t de CO<sub>2</sub> equivalente para el sistema de 20 años de la especie de cacao.

Las mayores reservas de C para los sectores de Santa Teresa y La Victoria (sistemas de 12 años) se debieron al mayor número y tipo de especies forestales asociadas como el pucaquiro (*Sickingia Williamsi*), cedro (*Cedrela odorata*) y shaina (*Colubrina glandulosa*); frutales que incluye a papaya (*Carica papaya* L.) y guaba (*Inga sp*); así como, a las industriales caso del café (*Coffea arabica* L.). Mientras que los resultados para Villaprado (sistema de 20 años) podrían deberse a la asociación de especie de cacao (*Theobroma cacao* L.) con guaba (*Inga edulis*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y mango (*Mangifera indica* L.), respectivamente.

**Tabla 2.** Captura de carbono ( t ha<sup>-1</sup> ) para todos los componentes para cada uno de los sistemas

Tipos de Biomasa	Juanjui	Choclito	Pachiza	Huicungo	Pachiza	Juanjui
	20 años	20 años	12 años	12 años	5 años	5 años
Biomasa de árboles vivos	32.4	26.991	31.18	35.5	12.09	14.23
Arboles muertos parados	0.639	2.475	0.17	0	8.7	2.9
Arboles caídos muertos	0.693	0	4.13	0.9	1.38	4.5
Herbácea, arbustiva	1.15	6.8	2.45	0.28	0.05	0.65
Hojarasca	9.97	4.5	7.14	8	4	6.7
Total	44.852	40.766	45.07	44.68	26.22	28.98



**Figura 1.** Comparación de las reservas de carbono total en los sistemas agroforestales evaluados.

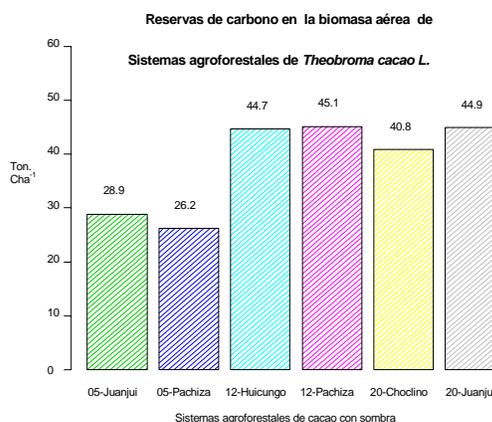
Otro de los factores que pueden haber aumentado las reservas de C en el sistema agroforestal de 12 años del sector Santa Teresa de Pachiza, fue la presencia de una cobertura vegetal llamada *Commelina sp* de tipo higroscópico.

En base a la fisiología de la planta de cacao en los sistemas agroforestales de 12 años, la especie de cacao ha alcanzado el máximo potencial de almacenamiento de carbono debido a las prácticas culturales que se le practican durante la producción; así como las podas de formación, permitiendo que los flujos de carbono sean constantes en el tiempo, llegándose a incrementar aún más estos flujos de C con el crecimiento de las especies de sombra. Estos flujos van a generar servicios medio ambientales y valores aditivos por la producción de madera, frutos, leña, productos medicinales, entre otros.

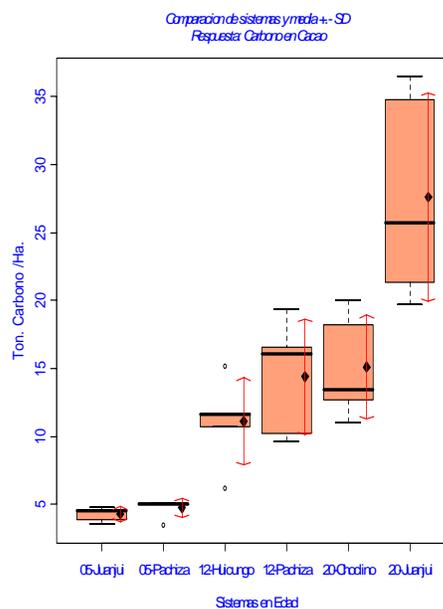
Los niveles de carbono encontrados en los cuadrantes para cada uno de estos sistemas fueron muy dispersos debido a la alta variabilidad del suelo en que se desarrollan (Figura 1). Como se observa en la Tabla 1 para los sistemas de 12 y 20 años el 75 % de los valores de las reservas de carbono se encuentran por encima de los 35 t C ha<sup>-1</sup>. Para los sistemas de 5 años estos se encuentran por encima de las 10 t C ha<sup>-1</sup> no pasando de las 30 t C ha<sup>-1</sup>.

El sistema tradicional de cacao de 5 años asociada con guaba del sector Villaprado presentó relativa diferencia con el sistema de misma edad asociada con especies de mango, pucaquiro, papaya, frijol de palo, yuca, capirona y coco del sector Alto el Sol. Los resultados nos indican que la guaba es una especie de

rápido crecimiento que genera abundante volúmenes de biomasa, fija y recicla nitrógeno en el suelo en beneficio del sistema y es poco extractiva de nutrientes (Alegre *et al.*, 2001) comparado a las especies que considera el otro sistema que no cuenta con guaba, siendo especies más demandantes de nutrientes el mismo que permite mayor captura de carbono.



**Figura 2.** Reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*).

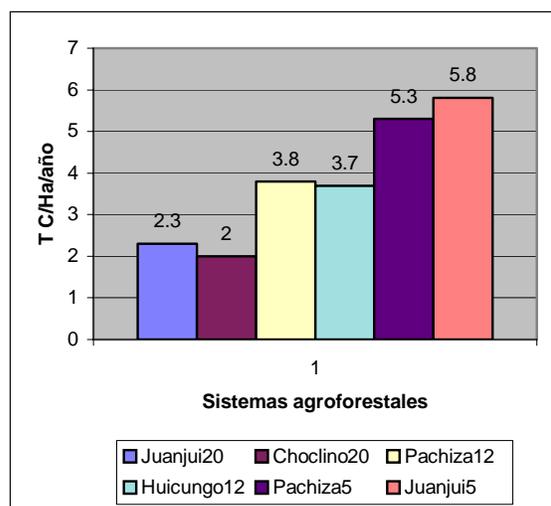


**Figura 3.** Comparación de reservas de carbono en el Cacao entre los sistemas agroforestales evaluados.

## 2. Flujos de carbono

En la Figura 4 se observa los resultados de los flujos promedios anuales de captura de carbono en los diferentes sistemas agroforestales asociados con el cacao, realizados en la región San Martín, como se

observa que los rangos del flujo de acumulación de carbono varían desde 2 t ha<sup>-1</sup> hasta 5.8 t ha<sup>-1</sup> presentando un menor flujo de carbono sistema localizado en Choclino de 20 años y de mayor flujo para el sistema de Juanjui de 5 años; estos resultados son corroborados por (Alegre *et al.*, 2001), donde se menciona que los flujos expresan el dinamismo de la acumulación de carbono que varía con el tiempo de vida y el tipo de asociación de cada sistema agroforestal; mientras que el crecimiento de las especies, varían dependiendo si son forestales y/o frutales.



**Figura 4.** Flujo de Carbono en la biomasa Aérea de diferentes sistemas agroforestales de cacao en san Martín

El sistema agroforestal de 5 años localizado en Juanjui, conformado por cacao y guaba presentó un flujo de 5.8 t ha<sup>-1</sup>, siendo estos niveles muy parecidos a los encontrados por Lapeyre *et al.* (2003) en la misma región. Esto nos indica que en los sistemas jóvenes la tasa de crecimiento es mayor, que en los estados adultos, principalmente cuando se trata de árboles y por lo tanto los flujos son mayores y que al alcanzar el estado adulto estos flujos van disminuyendo llegando a alcanzar el equilibrio.

Mientras que los menores flujos (2.0 t C ha<sup>-1</sup>) de C presentado por el sistema agroforestal de 20 años ubicado en la Banda de Shilcayo, conformado por cacao, guaba, mandarina, sierra pashaco, pucaqui, palto, cetico y naranja se debieron a que el sistema no estaba bien manejado por el agricultor y gran parte de las especies de frutales estaban abandonados; y tampoco se realizaron prácticas silviculturales o podas de formación y usualmente están compitiendo unas con otras por espacio, nutrientes y agua.

### 3. Captura de carbono en cada tipo de biomasa

#### 3.1 Carbono total en biomasa arbórea viva, árboles muertos en pie y caídos

Los resultados de captura de carbono a nivel de la biomasa arbórea viva en cada uno de los sistemas agroforestales evaluados en la región San Martín, se presentan en Tabla 3 y Figura 5. Se estima que los sistemas evaluados muestran una contribución muy positiva de captura de carbono a nivel de biomasa arbórea viva presentando valores desde 12.09 t ha<sup>-1</sup> para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 35.5 t ha<sup>-1</sup> presentado por el sistema de Huicungo de 12 años. Estos resultados nos indican que la captura de carbono no está relacionada a la edad de los sistemas sino a la diversidad de las especies propias de cada sistema con diferentes edades, mostrándose un desarrollo heterogéneo en cada sistema agroforestal. También esta en función de las prácticas silviculturales, manejo adecuado de la plantación mediante podas y otras prácticas culturales. Así mismo, se puede verificar la importancia de la biomasa arbórea viva, la cual proporciona el mayor porcentaje de carbono a la cantidad total de reservas que muestra cada sistema (Tabla 3).

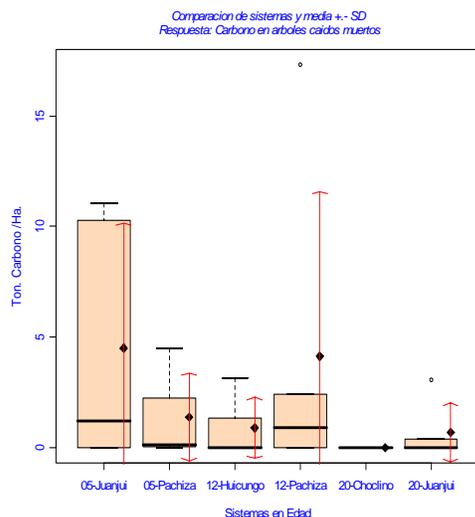
La biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos es muy variable y generalmente se presentan en forma localizada y solo se dieron en algunos cuadrantes. En el sistema de 5 años del sector Pachiza se encontraron mayores cantidades de árboles en pie y caídos muertos, y estos resultados son propios de los sistemas que se encuentran en proceso de regeneración, permitiendo una diferenciación con los otros sistemas y esto genera mayor variabilidad en la dinámica forestal que permite cambios en la estructura de la población en diferentes estratos, así como, en el número de individuos de cada especie. En los sistemas de 12 años de edad se muestra un incremento en el flujo anual de captura de carbono debido a la combinación correcta de especies frutales y maderables.

**Tabla 3.** Carbono capturado en biomasa herbácea-arbustiva y hojarasca en toneladas (t) por hectárea (ha), año de todos los sistemas agroforestales.

Sistemas	t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>		
	Arbórea viva	AMP*	ACM**
Juanjui-20 años	32.4	0.639	0.693
Choclito-20 años	26.99	2.475	0
Pachiza-12 años	31.18	0.17	4.13
Huicungo-12 años	35.5	0	0.9
Pachiza-05 años	12.09	8.7	1.38
Juanjui-05 años	14.23	2.9	4.5

\* Árboles muertos en pie

\*\* Árboles caídos muertos



**Figura 5.** Comparación de reservas de carbono en los árboles Caídos Muertos entre los sistemas agroforestales evaluados.

### 3.2 Carbono total en la biomasa arbustiva – herbácea y hojarasca

Los resultados de captura de carbono a nivel de la biomasa herbácea-arbustiva y hojarasca en todos los sistemas agroforestales evaluados en la región San Martín, se presentan en Tabla 4, Figuras 6 y 7. Se estimó que los sistemas evaluados muestran una baja contribución en la captura de carbono a nivel de biomasa arbórea viva presentando valores desde 0.05 t ha<sup>-1</sup> para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 6.8 t ha<sup>-1</sup> en el sistema de Chocllino con 20 años, estos resultados pueden deberse que algunos sistemas evaluados se encuentran en condiciones de abandono, repercutiendo en la poca acumulación de biomasa. Por otro lado, la biomasa de hojarasca presentó un mayor aporte a la reserva de carbono total, en los diferentes sistemas agroforestales evaluados, mostrándose valores que fluctuaron de 4.00 t ha<sup>-1</sup> en el sistema de Pachiza de 5 años y 9.97 t ha<sup>-1</sup> en el sistemas de Juanjui con 20 años y estos resultados pueden deberse a las diferente edades y la diversidad de especies heterogénea, en donde se desarrollan cada sistema agroforestal (Lapeyre *et al.*, 2004).

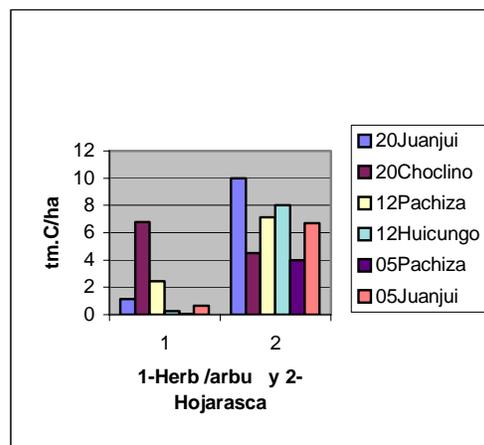
### 4. Valoración económica de la captura de carbono

En la Tabla 5 se muestra el valor económico mínimo por servicio de captura de carbono (5 US \$/ t CO<sub>2</sub> equivalente) en sistemas boscosos y agroforestales, por la retención por hectárea de CO<sub>2</sub> equivalente, realizado en todos los sistemas agroforestales de cacao con sombra evaluados en la región de San Martín. En el sistema de Pachiza con 2 años presentó 165.4 t ha<sup>-1</sup>, seguido del sistema de Juanjui de 20 años con 164.5 t ha<sup>-1</sup>. Con relación al

precio en el mercado de CO<sub>2</sub> equivalente, este usualmente no es menor de 5 dólares por tonelada y de acuerdo al flujo anual obtenido y de realizarse las negociaciones comerciales del pago, por servicios ambientales las mayores ganancias anuales se generarían con los sistemas de 5 años que aun son jóvenes y tienen flujos elevados. Con el sistema de Juanjui de 5 años se generaría 73.5 \$/ha/año, seguido por el sistema de Pachiza de 5 años de 67.2 \$/ha/año, continuando por los sistemas de 12 años y de 20 años. Pero de acuerdo al pago total por la cantidad de carbono acumulado hasta la actualidad se recibiría mayores pagos para los dos sistemas de 12 años de Pachiza y Huicungo, seguido para el sistema de Juanjui de 20 años.

**Tabla 4.** Carbono capturado en biomasa herbácea-arbustiva y hojarasca en toneladas por hectárea de todos los sistemas agroforestales.

Sistemas	tm C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	
	Herbácea arbustiva	Hojarasca
Juanjui-20 años	1.15	9.97
Chocllino-20años	6.80	4.50
Pachiza-12 años	2.45	7.14
Huicungo-12 años	0.28	8.00
Pachiza-05 años	0.05	4.00
Juanjui-05 años	0.65	6.70



**Figura 6.** Niveles de carbono en sotobosque y hojarasca a nivel de todos los sistemas.

### Conclusiones

1. Los sistemas agroforestales de cacao asociados con especies forestales maderables, frutales e industriales son los sistemas que presentan mayor eficiencia en la fijación de carbono comparado a los sistemas tradicionales de uso de la tierra practicado en la región San Martín.
2. La captura de carbono fue mayor en la biomasa

arbórea de los árboles vivos en todos los sistemas evaluados, variando desde 12.09 t ha<sup>-1</sup> hasta 35.5 t ha<sup>-1</sup>, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha<sup>-1</sup> hasta 9.97 t ha<sup>-1</sup>; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos.

3. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha<sup>-1</sup>.

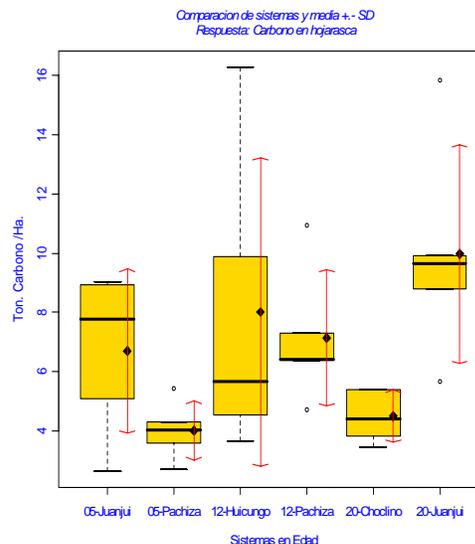
4. El sistema de cacao de 12 años localizado en Pachiza asociado con guaba y papaya, (frutales), café (industrial), pucaquiro (maderable de rápido crecimiento) presentó mayor cantidad de carbono secuestrado (45.1 t ha<sup>-1</sup>).

5. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentan mayor flujo de carbono anual generando mayor beneficio económico en términos de CO<sub>2</sub> equivalente; lo que permitiría obtener pagos por servicios ambientales generando una rentabilidad por la producción y conservación de los sistemas evaluados.

#### Literatura Citada

- Alegre J., Ricse A., Arévalo L., Barbarán J. & Palm C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
- Alegre J., Arévalo L., Ricse A., Barbarán J. & Palm C. 2001. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. Symposium Internacional de Agroforestería. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de Noviembre 2000.
- Arevalo L.J, Alegre & Palm C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Alvarez.
- ASB. 2005. Alternatives to slash and burn in Peru .Summary report and synthesis of phase I. edited: D Whites, Velarde S., Alegre J., and Tomich T. ASB programme ICRAF.
- CONAM. 2001. Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Land use, Land-use Change, and Forestry. Cambridge University, Press, Cambridge, UK.
- INRENA. 1996. Monitoreo de la Deforestación en la Amazonía Peruana. Ministerio de Agricultura-Instituto Nacional de Recursos Naturales.

Lapeyre T., Alegre J. & Arévalo L. 2004. Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín, Perú. Ecología Aplicada. 3(1,2): 35-44.



**Figura 7.** Comparación de reservas de carbono en la hojarasca en los sistemas agroforestales evaluados.

**Tabla 5.** Valoración económica de la captura de carbono de cada uno de los Sistemas evaluados.

SISTEMAS	C (t/ha)	CO <sub>2</sub> <sub>=3,667</sub> equivalente (t/ha)	CO <sub>2</sub> equivalente (t/ha/año)	USA \$=5 por t/ha/año para CO <sub>2</sub>	USA \$=5 por t/ha/total para CO <sub>2</sub>
Juanjui-20 años	44.86	164.5	8.3	41.5	822.5
Chocolino-20 años	40.79	149.5	7.5	37.5	747.5
Pachiza-12 años	45.11	165.4	13.7	68.5	827
Huicungo-12 años	44.67	163.8	13.7	68.5	819
Pachiza-5 años	26.18	96	19.2	96	480
Juanjui-5 años	28.91	106	21	105	530

<sup>1</sup> Ex - alumna Universidad Nacional Federico Villareal, Lima –Perú.

<sup>2</sup> Profesor Principal Facultad de Agronomía Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n La Molina, Lima – Perú. jalegre@lamolina.edu.pe

<sup>3</sup> Profesor Asociado Facultad Recursos Naturales Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo Maria, Tingo María – Perú.