

## Determinación de las reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María

Determination of total reserves of carbon in an agroforestry system of the high jungle in Tingo María

<sup>1</sup> Prudencio Hidalgo C.<sup>b</sup>

### RESUMEN

El objetivo fue cuantificar las reservas totales de carbono en el sistema agroforestal (SAF) del Banco de Germoplasma de Cacao de la UNAS Tingo María, utilizando la metodología estandarizada desarrollada por el ICRAF, y estimar el valor económico del servicio ambiental de captura de carbono a partir de cifras de valoración para bosques secundarios de Pucallpa, para determinar la contribución de los SAF en la captura de CO<sub>2</sub> y a la mitigación del cambio climático del área de estudio.

Se hizo un inventario de diámetros a la altura del pecho (DAP) y alturas de árboles con diámetros superiores a 2.50 cm circunscritos en parcelas de medición a partir de un muestreo aleatorio simple, con evaluaciones adicionales de arbustos, malezas, hojarasca, raíces y suelo. Los volúmenes de biomasa arbórea se calcularon mediante ecuaciones alométricas y los de biomasa arbustiva/herbácea y hojarasca mediante muestreos directos. Se tomó muestras de suelo a diferentes profundidades de acuerdo a la variación textural para determinar la densidad aparente y los porcentajes de carbono y nitrógeno.

Los resultados fueron los siguientes: **94.383 tC/ha** en la biomasa vegetal y **123.181 tC/ha** en el suelo, con un total de **217.564 tC/ha** a nivel del SAF. El secuestro de carbono gestionable es de 11'497,555.84 toneladas, con un valor económico equivalente a US \$ 150'847,932.68/año por el servicio ambiental de captura de carbono.

**Palabra clave:** Sistema agroforestal, captura de carbono, valoración de servicios ambientales.

### ABSTRACT

The objective was to quantify the total reservations of carbon in the agro forestry system of cacao's germ plasma bank of the UNAS Tingo Maria, using the standardized methodology developed by the ICRAF, and valued the economic worth of the environmental service of carbon capture from amount of worth for secondary forest in Pucallpa, to determine the contribution of the SAF in the capture of CO<sub>2</sub> and climate change mitigation in the study area.

An inventory of diameters was done to the height of the chest (DAP) and height of trees with upper diameters to 2.50 cm. circumscribed in plots of measurement from simple random signs, with additional evaluations of shrub, underbrush, fallen, roots, and ground. The volumes of arboreal biomass were calculated through biometrics equations and the shrub, underbrush and fallen biomass through direct signs. Samples of soil were taken in different depths according to the textual variation to determine the apparent density and the carbon and nitrogen percentages.

The results were the following: **94.383 tC/ha** in the vegetal biomass and **123.181 tC/ha** in the soil, with a total of **217.564 tC/ha** at the SAF level. The sequestration of negotiable carbon is of 11'497,555.84 tons, with a total economic valuation equivalent to US \$ 150'847,932.68/year for the environmental service of capture of carbon.

**Key Words:** Agro forestry system, carbon sequestration, environmental services valuation.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

<sup>b</sup> Ing. Forestal

## INTRODUCCIÓN

Existen nuevas y más fuertes evidencias de que la mayor parte del calentamiento global observado en los últimos cincuenta años se debe a las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles y, en menor medida, la deforestación. Se ha determinado que el CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero y que su principal fuente de emisión tiene su origen en el sector no energético: la deforestación.

Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, son de esperar serios efectos negativos, aunque se espera también algunos efectos positivos, por lo que es importante que sean tomadas un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación.

La captura de carbono, a través de la agroforestería permitiría beneficios a los campesinos al obtener un pago directo por el servicio ambiental (venta de carbono capturado) y posibilitar y obtener otros servicios y productos como madera, leña, cultivos agrícolas, etc. para la unidad familiar (Jiménez *et al.*, 1994).

Dado que los SAFs tratan de imitar la estructura y funcionalidad del bosque natural y existiendo grandes superficies deforestadas en Tingo María y/o cubiertas por bosques secundarios; con el fin de fomentar y conservar los SAF, en el presente estudio se ha cuantificado las reservas totales de carbono en el sistema agroforestal del Banco de Germoplasma de Cacao de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, con el propósito de conocer la capacidad de captura de carbono y de mitigación del cambio climático, cuyo resultado de cuantificación y valoración económica será el mayor estímulo para la conservación y manejo sostenible de los recursos forestales y agroforestales por parte de los propietarios.

Se plantearon los siguientes objetivos: Objetivo general: Cuantificar las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María, tal que permita conocer la capacidad de captura de carbono y de mitigación del cambio climático; con los siguientes objetivos específicos: a) determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa forestal, arbustiva, herbácea, en el mantillo y en el suelo de los sistemas agroforestales

de la selva alta de Tingo María con el fin de conocer el potencial del sumidero, b) estimar el valor de las reservas de carbono del sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María, como servicio ambiental capaz de generar riqueza, y c) identificar mecanismos de manejo silvicultural que contribuyan al fomento y preservación de las prácticas agroforestales en favor de la población rural y de los sistemas ambientales de Tingo María.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es de carácter descriptivo y los datos han sido obtenidos de la realidad espacio-temporal, lo que permitió caracterizar y describir las relaciones existentes entre las variables y calcular el carbono almacenado utilizando la metodología estandarizada del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería – ICRAF, cuyo principio se basa en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y en la toma de muestras de manera disturbativa del sotobosque, cultivos, pastos, etc., así como la hojarasca y en la biomasa subterránea calculada de manera indirecta (Gamarra, 2001).

La población de estudio estuvo conformada por el área de uso agroforestal del Banco de Germoplasma de Cacao de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María (UNAS), cuya superficie neta es de 3.3820 hectáreas y la unidad de estudio estuvo conformada por cinco parcelas (cuadrantes rectangulares) determinadas mediante muestreo aleatorio simple con una intensidad de 3.84%. Se trazaron tres parcelas longitudinales de 4 m x 25 m y dos de 5 m x 100 m, en cuyas superficies se efectuaron inventarios forestales y evaluaciones de biomasa y suelo que permitieron determinar las reservas de carbono del sistema de uso de la tierra.

Se tomó medidas del diámetro normal a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles y arbustos mayores de 2.5 cm de diámetro, se colectó también en superficies de 1 m x 1 m todas las especies arbustivas y herbáceas menores de 2.5 cm de diámetro y en superficies de 0.5 m x 0.5 m toda la hojarasca; así como muestras de suelo de los diferentes horizontes para sus correspondientes evaluaciones de contenido de carbono (Arévalo *et al.*, 2003). Para determinar el carbono fijado en la biomasa se aplicó la relación propuesta por Arévalo *et al.*, 2003, asumiéndose que el carbono fijado representa un 45% del peso de la biomasa total.

**Procedimiento**

Se ha utilizado las ecuaciones del Manual de Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de uso de la tierra en Perú (Arévalo *et al*, 2003):

*Cálculo de la Biomasa Vegetal Total:*  $BVT (t/ha) = (BAVT + BA/H + Bh + Bs)$ , donde: BVT = biomasa vegetal total, BAVT = biomasa total de árboles vivos, BA/H = biomasa arbustiva y herbácea, Bh = biomasa de la hojarasca y Bs = biomasa subterránea.

*Biomasa arbórea Viva (kg/árbol):*  $BA = 0.1184 DAP^{2.53}$ , donde: BA = biomasa arbórea viva, 0.1184 = constante, DAP = diámetro a la altura del pecho, 2.53 = constante

*Biomasa arbórea viva (t/ha):* se obtuvo sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en las parcelas de muestreo (Arévalo *et al.*, 2003):  $BAVT (t/ha) = BTAV * 0.01$   
 $BAVT (t/ha) = BTAV * 0.02$

Donde: BAVT = biomasa de árboles vivos (t/ha), BTAV = biomasa total en la parcela de muestreo, 0.01 = factor de conversión en parcelas de 4 m x 25 m y 0.02 = factor de conversión en parcelas de 5 m x 100 m.

*Cálculo de la biomasa arbustiva/herbácea (t/ha):*  $BA/H (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.01$ , donde: BA/H = biomasa arbustiva y herbácea en materia seca, PSM = peso seco de la muestra colectada, PFM = peso fresco de la muestra colectada, PFT = peso fresco total por m<sup>2</sup>, 0.01 = factor de conversión.

*Cálculo de la biomasa de la hojarasca (t/ha):*  $Bh (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04$ , donde: Bh = biomasa de la hojarasca en materia seca, PSM =

peso seco de la muestra colectada, PFM = peso fresco de la muestra colectada, PFT = peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup> y 0.04 = factor de conversión.

*Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado:* La proporción entre la biomasa arriba del suelo y la de las raíces es de 30%, en consecuencia,  $Bs = BVTa * 0.30 (t/ha)$  ( 1 ) , donde: Bs = biomasa subterránea, BVTa = biomasa vegetal total aérea, 0.30 = factor de conversión. Por tanto:  $BVTa = BAVT + BA/H + Bh$   
 $CO - Bs = Bs * 0.45$  (2), donde: CO-Bs = carbono orgánico de la biomasa subterránea, Bs = biomasa subterránea y 0.45 = factor de conversión.

*Cálculo del carbono en el suelo:*  $CS (t/ha) = (PVs * \%C_{LAB})/100$ , donde: CS (t/ha) = carbono en el suelo, PV = peso del volumen de suelo,  $\%C_{LAB}$  = carbono encontrado en el laboratorio (%) y 100 = factor de conversión.

*Cálculo del peso del volumen del suelo (t/ha) por horizonte de muestreo:*  $PVs (t/ha) = DA * Ps * 10,000$ , donde: PVs = peso del volumen de suelo, DA = densidad aparente, Ps = espesor del horizonte de suelo y 10,000 = constante.

*Cálculo de la densidad aparente del suelo (g/cc):*  $DA (g/cc) = PSN/VCH$ , donde: DA = densidad aparente (g/cc), PSN = peso seco de suelo dentro del cilindro, VCH = volumen del cilindro (g/cc).

*Cálculo del carbono total del SUT (t/ha):*  $CT (t/ha) = CBV + CS$ , donde: CT = carbono total del SUT, CBV = carbono en la biomasa vegetal total y CS = carbono en el suelo.

*Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha):*  $CBV (t/ha) = BVT * 0.45$ , donde: CBV = carbono en la biomasa vegetal, BVT = biomasa vegetal total y 0.45 = constante.

**RESULTADOS**

Carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal total (t/ha)

**Tabla 1.** Carbono orgánico de la biomasa vegetal total en (t/ha)

Parcela	CO-BA (t/ha)	CO-BA/h (t/ha)	CO-Bh (t/ha)	CO-Bs (t/ha)	CO-BVT
C1	1.248	0.294	2.875	1.325	<b>5.742</b>
C2	4.350	0.337	10.508	4.559	<b>19.754</b>
C3	87.521	0.309	3.765	27.479	
C4	238.125	0.517	5.723	73.310	
C5					<b>119.074</b>
<b>Promedio</b>					<b>317.675</b>
	1.769	0.406	5.265	2.232	<b>9.672</b>
	<b>66.603</b>	<b>0.373</b>	<b>5.627</b>	<b>21.781</b>	<b>94.383</b>

Carbono orgánico almacenado en el suelo (t/ha)

**Tabla 2.** Carbono orgánico en el suelo a 1.0 metro de profundidad

Parcela	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	CO (%)	COS (t/ha)
C1	0.995	9,950.00	1.238	<b>123.181</b>
C2	0.995	9,950.00	1.238	<b>123.181</b>
C3	0.995	9,950.00	1.238	<b>123.181</b>
C4	0.995	9,950.00	1.238	<b>123.181</b>
C5	0.995	9,950.00	1.238	<b>123.181</b>
<b>Promedio</b>	<b>0.995</b>	<b>9,995.00</b>	<b>1.238</b>	<b>123.181</b>

Carbono total del sistema agroforestal de uso de la tierra (t/ha)

**Tabla 3.** Carbono total del sistema de uso de la tierra (t/ha)

Nº de Parcela	CO – BVT (t/ha)	CO – S (t/ha)	COSUT (t/ha)
C – 1	5.742	123.181	<b>122.359</b>
C - 2	19.754	123.181	<b>173.259</b>
C – 3	119.074	123.181	<b>196.663</b>
C – 4	317.675	123.181	<b>456.515</b>
C – 5	9.672	123.181	<b>138.853</b>
<b>Promedio</b>	<b>94.383</b>	<b>123.181</b>	<b>217.564</b>

#### Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono de los sistemas agroforestales de la selva alta de Tingo María

Según datos promedios de valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono obtenido por Baldoceña, (2001), en bosques secundarios de Pucallpa (\$ 13.12/tC); en las 121,818.08 ha de tierras de uso agroforestal en la provincia de Leoncio Prado - Tingo María (INRENA-PROCLIM, 2005); y de acuerdo a las cifras obtenidas del carbono fijado por las plantas o

carbono gestionable (94.383 tC/ha) susceptible de ser administrado al menos en el corto plazo y negociado en el mercado de carbono; se tendría 11'497,555.84 tC, que al precio promedio de US \$ 13.12/tC, equivaldría a US \$ 150'847,932.68/año como servicio ambiental de captura de carbono.

En las 24,273.76 hectáreas de tierras deforestadas de Tingo María sin uso actual (INRENA-PROCLIM, 2005), se estaría dejando de almacenar y percibir, respectivamente, 2'291,030.29 tC, equivalente a US \$ 30'058,317.41/año al valor promedio de US \$ 13.12/tC.

**Tabla 4.** Valor económico estimado del servicio ambiental de captura de carbono

Código	Descripción	Área (ha)	C gest/ha SAF (t)	Total gestionable (t)	CValor US \$/tC	Valor total US \$
AF	Agroforestal	121,818.08	94.383	11'497,555.84	13.12	150'847,932.68
D	Deforestado	24,273.76	94.383	2'291,030.29	13.12	30'058,317.41

#### CO<sub>2</sub> fijado por los sistemas agroforestales de la selva alta de Tingo María

La relación entre la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico y la transformación en carbono orgánico para la producción de biomasa en las plantas fotosintetizadoras es de 27.30% (Fournier, 1996); en consecuencia, al carbono orgánico almacenado

en la biomasa vegetal del SAF, calculado en 94.383 tC/ha, le corresponde un volumen de 345.73 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectárea; es decir; en las 121,818.08 hectáreas de SAFs, las plantas estarían fijando un volumen total de 42'116,164.80 toneladas de CO<sub>2</sub> atmosférico como emisiones evitadas.

## DISCUSIÓN

La cantidad media de carbono almacenado en la biomasa vegetal total (94.383 tC/ha) representa el 43.38% del carbono total del SAF; ligeramente superior al rango sugerido para los SAFs evaluados en Loreto, equivalente a 91.54 tC/ha (Malca, 2001). La concentración de carbono en la biomasa vegetal total involucra favorablemente los resultados de otras investigaciones efectuadas en sistemas perennes con árboles de amburana y tornillo en Pucallpa, que fluctuó entre 99 y 120 tC/ha (Alegre *et al.*, 2002) y lo reportado por Winjum (1992, citado por López, 1998) cuya cifra fue de 95 tC/ha, entre otros.

El carbono almacenado en la biomasa subterránea resulta significativamente superior al encontrado en barbechos en bosques secundarios de 15 años (3.32 tC/ha) y en sistemas agroforestales multiestrato en Yurimaguas (2.63 tC/ha); así como en barbechos en bosques secundarios de 15 años en Pucallpa (Alegre *et al.*, 1998).

La distribución vertical del carbono en el suelo obtenido en el presente estudio (1.238% de C) se encuentra en el rango de otros trabajos efectuados en SAFs. La cantidad de carbono evaluado fue de 123.181 tC/ha a 1 metro de profundidad ajustado a los cambios texturales; el mismo que representa el 56.62% del carbono total del SAF.

Otros escenarios reportan almacenes de carbono en el suelo entre 60 y 115 tC/ha en bosques secundarios tropicales (Brown y Lugo, 1992; Brown *et al.*, 1989); entre 71 y 113 tC/ha en SAFs de Yurimaguas y Pucallpa (Alegre *et al.*, 2002), 105 tC/ha en bosques secundarios, 113.54 tC/ha en el SAF café bajo sombra y 110.51 tC/ha en el SAF huerto casero en el bosque secundario de Ucayali y Huánuco (Callo-Concha *et al.*, 2001).

Existen datos de evaluaciones similares en biomasa y suelo en SAFs tropicales con cifras de 206.10 tC/ha en el SAF huerto casero, 170.30 tC/ha en el SAF café bajo sombra, 124.78 tC/ha en sistemas de silvopasturas y 180.06 en el bosque secundario en Ucayali y Huánuco (Callo-Concha, 2000); entre 212 y 233 tC/ha en sistemas perennes con árboles de amburana y tornillo, etc., sin embargo todos son similares, incluido el actual estudio.

Según Dixon *et al.* (1994, citado por Dixon, 1995), el rango de valores encontrados para el carbono almacenado en SAFs, incluido el suelo, se encuentra entre 12 y 228 tC/ha; esta cifra se encuentran dentro del rango de valores determinado en el presente estudio.

Para estimar el valor de las reservas de carbono gestionable en la provincia de Tingo María, se utilizó la media (US \$ 13.12/tC) de los valores reportados por Baldoceca (2001) mediante el método costo de oportunidad calculado en US \$ 12.63/tC y el método de valoración contingente estimado en US \$ 13.60/tC.

## CONCLUSIONES

1. Las reservas de carbono almacenado en el SAF estudiado tiene mucha proximidad a las cifras de almacenamiento de carbono reportadas por la literatura especializada en bosques secundarios y sistemas agroforestales de ecosistemas tropicales (Baldoceca, 2001, Alegre *et al.*, 1998, Alegre *et al.*, 2002, Callo-Concha, 2000).
2. El carbono total almacenado en el SAF estudiado asciende a 217.564 toneladas por hectárea, 43.38% (94.383 t) corresponde a la biomasa vegetal y 56.62% (123.181 t) al suelo. Esto permite inferir que el SUT estudiado tiene una alta capacidad de almacenamiento de carbono y por tanto, de reducción de emisiones de GEI, entre ellos CO<sub>2</sub>; lo que contribuye a un cambio climático global favorable superior a lo que podrían contribuir los bosques "climáticos" y los barbechos tradicionales que aportan menores volúmenes de biomasa.
3. Las reservas de carbono gestionable, ascienden a 11'497,555.84 toneladas para todo el ámbito de la provincia de Leoncio Prado, que al valor promedio de US \$ 13.12 (Baldoceca, 2001), equivale a US \$ 150'847,932.68/año como servicio ambiental de captura de carbono.
4. Los SAFs de la provincia de Leoncio Prado estarían fijando un volumen total de 42'116,164.80 toneladas de CO<sub>2</sub> atmosférico.
5. Existen 24,273.76 hectáreas de tierras deforestadas sin uso actual en la provincia de Leoncio Prado (Tingo María), las mismas que de no ser incorporadas en el corto y mediano plazos a la producción agropecuaria a través de sistemas agroforestales, teóricamente se estaría dejando de percibir US \$ 30'058,317.41 por año por el servicio ambiental de captura de 2'291,030.29 toneladas de carbono a través de la biomasa vegetal.

## AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su gratitud a la EUPG de la Universidad Nacional Federico Villarreal, a la Universidad Nacional Agraria de la Selva - UNAS - Tingo María, a la Universidad Nacional Agraria La Molina, a la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la UNASAM, al Ing. Luis García Carrión, Jefe del Banco de Germoplasma de Cacao de la UNAS, al Dr. Luis Alegre, experto ICRAF, al Dr. Walter Gómez Lora; quienes directa o indirectamente contribuyeron en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, J; Arévalo, L. y Ricse A. 1998. Reservas de carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía Peruana. Lima. Perú.

Alegre, J; Arévalo L; Ricse A; Callo-Concha, D. y Palm Ch. 2002. Secuestro de Carbono con Sistemas Alternativos en el Perú (presentación en el IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais Ilhéus, Bahía. Brasil.

Arévalo L; Alegre J. y Palm Ch. 2003. Manual Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de uso de la tierra en Perú. Lima.

Baldoceda, R. 2001. Valoración Económica del Servicio Ambiental de Captura de Carbono en la Zona de Neshuya Curimaná (Pucallpa). En "Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú". Proyecto INRENA-BIOFOR.

Brown, S. y Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimate for tropical moist forest of the brazilian amazon. Interciencia.

Callo-Concha, D. 2000. Cuantificación de Carbono Secuestrado por Algunos Sistemas Agroforestales en Tres Pisos Ecológicos de la Región Ucayali, Perú. Universidad Autónoma de Chapingo.

Callo-Concha, D; Krisnamurthy, L. y Alegre, J. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de

la Amazonía del Perú. Simposio internacional Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.

Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. Agroforestería en las Américas.

Dixon, A; Scurra, F; Carpenter, A. y Sherman, B. 1994. Análisis económico de impactos ambientales. En Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico. Turrialba. CATIE.

Fournier, L. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. Boletín PROMECAFE. IICA.

Gamarra, J. 2001. Estimación de captura de carbono del bosque de *Eucalyptus globulus Labill* en la Comunidad Campesina de Hualhuas. Huancayo. UNCP.

INRENA – PROCLIM. 2005. Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire. Lima. INRENA.

Jiménez, G; Soto Pinto, L; De Jong, B. y Vargas, A. 1994. Aprovechamiento Agroforestal y Servicios Ambientales (captura de carbono) en Comunidades Indígenas de Chiapas. México

López, M. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Turrialba. CATIE.

Malca, G. 2001. Estimación de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques Secundarios del Trópico Amazónico como Indicador de Valoración Económica - Loreto Perú. En "Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú". Proyecto INRENA-BIOFOR.

### Correspondencia:

Prudencio Hidalgo C.  
celhica@hotmail.com