

Valoración económica del secuestro de CO₂ en las plantaciones forestales del Ciefor Puerto Almendra, Loreto, Perú

Economic valuation of CO₂ sequestration in the forest plantations of the Ciefor Puerto Almendra, Loreto, Perú

Jorge M. Espíritu P.¹, Saron Quintana V.², Ricardo Reátegui A.², Pedro Á. Angulo R.², Luis A. Macedo B.², Marjorie R. Donayre R.³, Ronald M. Panduro T.², Jarlin Arellano V.² y Carlos E. Cabudivo E.⁴

Recibido: diciembre 2016

Aceptado: diciembre 2016

RESUMEN

Con la finalidad de determinar el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ ofrecido por las 54 plantaciones forestales de diferentes edades instaladas en el Ciefor Puerto Almendra, Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, Loreto, Perú, se estimó la biomasa arbórea en forma indirecta sobre la base del DAP y la altura total de todos los árboles con DAP ≥ 10 cm; luego se calcularon el stock de carbono y el secuestro de CO₂ en cada una de las plantaciones. En las 54 plantaciones existen 14 146,23 t de biomasa arbórea, 7073,28 tC; 25 937,10 tCO₂ y un valor económico del servicio de secuestro de CO₂ de USD 142 654,13. Las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* presentan el mayor valor económico de secuestro de CO₂ de USD 114 994,23 (\bar{x} = USD 81,52/tCO₂/árbol) influenciado básicamente por el mayor número de árboles, seguido de las plantaciones de *Simarouba amara* con USD 16 827,87 (\bar{x} = USD 23,37/tCO₂/árbol), luego *Mauritia flexuosa* con USD 5497,02 (\bar{x} = USD 8,77/tCO₂/palmera), *Ormosia coccinea* con USD 1430,20 (\bar{x} = USD 12,0/tCO₂/árbol), *Vochysia lomatophyla* con USD 1206,17 (\bar{x} = USD 10,46/tCO₂/árbol), *Parkia* sp. con USD 332,68 (\bar{x} = USD 4,16/tCO₂/árbol), *Poraqueiba sericea* con USD 311,10 (\bar{x} = USD 8,41/tCO₂/árbol), *Croton lechlerii* con USD 161,65 (\bar{x} = USD 9,24/tCO₂/árbol) y *Aniba amazonica* con USD 480,51 (\bar{x} = USD 7,28/tCO₂/árbol). El ANOVA ($\alpha = 0,05$) y la prueba de correlación lineal de Pearson demostraron que existe una alta correlación ($R = 0,995$ a $1,000$) entre el número de individuos, la densidad básica de la madera, la biomasa, el stock de carbono, el secuestro de CO₂ y el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂.

Palabras claves: valor económico del secuestro de CO₂, biomasa, stock de carbono, secuestro de CO₂, plantaciones, Loreto.

ABSTRACT

In order to determine the economic value of the environmental service of CO₂ sequestration offered by the 54 forest plantations of different ages installed at the Ciefor Puerto Almendra of the Faculty of Forestry Sciences of the UNAP, Loreto, Perú, the tree biomass was indirectly estimated based on the DBH and the total height of all trees with DBH ≥ 10 cm; then, the carbon stock and CO₂ sequestration were calculated for each plantation. In the 54 plantations a total of 14 146,23 t of tree biomass, 7073,28 tC, 25 937,10 tCO₂ were estimated, resulting in an economic value of the CO₂ sequestration service of USD 142 654,13. *C. cateniformis* plantations showed the highest economic value of CO₂ sequestration of USD 114 994,23 (\bar{x} = USD 81,52/tCO₂/tree), basically influenced by the highest number of trees, followed by the plantations of *S. amara* with USD 16 827,87 (\bar{x} = USD 23,37/tCO₂/tree), *M. flexuosa* with USD 5497,02 (\bar{x} = USD 8,77/tCO₂/palm), *O. coccinea* with USD 1430,20 (\bar{x} = USD 12,0/tCO₂/tree), *V. lomatophyla* with USD 1206,17 (\bar{x} = USD 10,46/tCO₂/tree), *P. sp.* with USD 332,68 (\bar{x} = USD 4,16/tCO₂/tree), *P. sericea* with USD 311,10 (\bar{x} = USD 8,41/tCO₂/tree), *C. lechlerii* with USD 161,65 (\bar{x} = USD 9,24/tCO₂/tree) and *A. amazonica* with USD 480,51 (\bar{x} = USD 7,28/tCO₂/tree).

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Pebas 584. Iquitos, Loreto, Perú. jespe2610@outlook.com

² Facultad de Ciencias Forestales. UNAP. Iquitos, Loreto, Perú.

³ Facultad de Ciencias Biológicas. UNAP. Iquitos, Loreto, Perú.

⁴ Escuela de Postgrado. UNAP. San Juan Bautista, Loreto, Perú.

Parkia sp. with USD 332,68 (\bar{x} = USD 4,16/tCO₂/tree); *P. sericea* with USD 311,10 (\bar{x} = USD 8,41/tCO₂/tree), *C. lechlerii* with USD 161,65 (\bar{x} = USD 9,24/tCO₂/tree) and *A. amazonica* with USD 480,51 (\bar{x} = USD 7,28/tCO₂/tree). The ANVA (α = 0,05) and Pearson's linear correlation test showed a high correlation (R = 0,995 to 1,000) among the number of individuals, the basic density of wood, biomass, carbon stock, CO₂ sequestration and the economic value of the CO₂ sequestration environmental service.

Key words: CO₂ sequestration economic value, biomass, carbon stock, CO₂ sequestration, plantations, Loreto.

INTRODUCCIÓN

Existe a nivel mundial una gran preocupación relacionada con el incremento del CO₂ en la atmósfera y que trae como consecuencia el fenómeno del calentamiento global (Ledig y Kitzmiller, 1992), con la proyección a aumentar gradualmente de 1,5 °C a 4,5 °C hasta el año 2050 (Michell *et al.*, 1990). Este gas, conjuntamente con el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarburos (HFC), los perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro sulfúrico (SF₆) son los principales gases de efecto invernadero (GEI) que influyen en el cambio climático mundial (Naciones Unidas, 1998).

Del inventario de las emisiones de CO₂ se puede deducir que los países desarrollados son responsables en gran parte de las emisiones por el uso de combustibles fósiles; además, son altamente reticentes a reducir estas emisiones (Victoria *et al.*, 1994).

El CO₂ es un gas incoloro, inodoro e incombustible que más contribuye al calentamiento global. En los dos últimos siglos, su concentración atmosférica ha aumentado de forma considerable, debido principalmente a las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio del uso de la tierra; se elimina este gas presente en la atmósfera mediante procesos naturales como la captura por fotosíntesis, el crecimiento de bosques y el almacenamiento en la madera como carbono (C) en forma de materia orgánica (biomasa-madera) y cuando los bosques llegan a su madurez este proceso se detiene,

entonces, las plantaciones ya no contribuyen a la reducción de los GEI (Vallejo, 2009). El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45%-50% del peso seco de la planta. Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono. Teniendo esto en cuenta, la agricultura se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO₂ atmosférico (Carbajal, 2009).

Parra *et al.* (2009) cuantificaron el stock de carbono existente en la biomasa aérea y radicular de árboles con DAP \geq 10 cm de áreas protegidas e informaron que la Reserva Natural Privada Zech-Legua, ubicada en el departamento de Boquerón, Paraguay, almacena 32,95 tC/ha; la Reserva Natural Privada Laguna Porá y la Agrogranadera, ambas ubicadas en el departamento de Presidente Hayes, Paraguay, almacenan 56 tC/ha y 120,01 tC/ha, respectivamente.

La cuantificación de biomasa, fijación de carbono y CO₂ en plantaciones de ocho años de *Tectona grandis* (teca) del Campus Prosperina "Gustavo Galindo Velasco" de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), ubicado en Guayaquil, Ecuador, osciló en el rango de 27,68 t/ha a 66,12 t/ha de biomasa y un máximo de 33,06 tC/ha a 121,06 tCO₂/ha de stock de carbono y secuestro de CO₂, respectivamente. No hubo diferencias estadísticas significativas

en el almacenamiento de carbono (Jiménez y Landeta, 2006). En una plantación de *Eucalyptus globulus*, establecida en la comunidad campesina Hualhuas, departamento de Junín, Perú, se cuantificó un stock de carbono de 73,03 tC/ha en la biomasa aérea, 21,64 tC/ha en la biomasa subterránea, 4,99 tC/ha en la hojarasca y 37,39 tC/ha en el suelo, haciendo un total de 137,05 tC/ha. Además, se determinó un incremento medio anual (IMA) de masa forestal de 7,69 m³/ha/año, una fijación de carbono de 7,25 tC/ha/año que representa un secuestro de CO₂ de 26,61 toneladas (Gamarra, 2001).

La cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con cacao y laurel (SAF-CL) de la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica fue de 126,4 tC/ha en valle y de 114,5 tC/ha en loma bajo la densidad de siembra de 6 m x 6 m. El carbono almacenado promedio en las densidades de siembra de 9 m x 9 m y 12 m x 12 m, fue de 109,7 tC/ha y 97,9 tC/ha, respectivamente, en un periodo de veinticinco años. La tasa de fijación promedio fue de 5,1 tC/ha/año en el mismo periodo. Los máximos incrementos de fijación de carbono en el sistema se presentaron durante los primeros ocho años, comportamiento que coincide con los mayores crecimientos en diámetro de los individuos de cacao y laurel. A partir de esta edad, las tasas de fijación mostraron una tendencia a estabilizarse (Ortiz y Riascos, 2006).

Para calcular la captura de carbono, es necesario conocer el periodo en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo con el tipo de árbol, suelo, topografía y prácticas de manejo en el bosque. La acumulación de carbono en los bosques, llega eventualmente a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono resulta imposible. El punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo.

El carbono almacenado en un bosque se encuentra en los troncos, ramas, follaje, raíces, hojarasca, madera muerta y suelos (Vallejo, 2009; Salati, 1990); quienes indican que la biomasa de un sistema boscoso puede ser medida en forma directa o estimada por procesos indirectos. La metodología de medición directa implica el corte de parte de los árboles del bosque midiendo el volumen y la masa de los individuos. Mientras que las medidas indirectas son utilizadas para ser estimada la biomasa de grandes aéreas forestales; son usadas las relaciones empíricas entre la biomasa y algunos otros parámetros, determinándose así la biomasa seca por hectárea; los parámetros comúnmente disponibles en los inventarios son: DAP y altura del árbol.

Actualmente, las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles corresponden aproximadamente a 6 billones de tC/año; si se cambia el uso de la tierra desboscándolo, aumentan las concentraciones de CO₂ en la atmósfera; por el contrario, reforestando o manteniendo intacto el bosque, se favorece al continuo proceso de transferencia del CO₂ de la atmósfera hacia el bosque (Salati, 1990).

Por otro lado, Higuchi y Carbalho (1994) estudiando la fitomasa y el contenido de carbono de especies arbóreas de la Amazonía concluyen que del peso total de un árbol la contribución de cada compartimiento es la siguiente: tronco 65%, ramas 31% y hojas 4%; mientras que el peso seco de la biomasa representa el 60% del peso de la biomasa fresca. Esto significa que del peso total de un árbol en pie el 40% es agua; el stock promedio de carbono en cada parte del árbol es el siguiente: tronco 48%, ramas 48% y hojas 39%.

Quintana (2008) en su trabajo sobre valoración económica de bienes y servicios ambientales de la cuenca del río Nanay, aplicó el método estratificado y al azar, cubriendo toda

el área y las comunidades comprometidas en ella; mientras que para el cálculo de la valoración económica, empleó el método de valoración contingente mediante la elaboración de encuestas. Además, determinó que la conservación de la biodiversidad de la cuenca del Nanay tiene valores referenciales de USD 0,15 ha/año a USD 8,81 ha/año.

Guzmán (2005) en su trabajo de valoración económica de beneficios ambientales en el manejo sostenible de humedales aguajales, en la comunidad de Parinari, Reserva Nacional Pacaya-Samiria, concluye que los valores de uso (VU) en los ecosistemas de aguajal explotados de manera sostenible generan beneficios tangibles en relación con aquellos que se manejan irracionalmente. Además, estaría proporcionando los más altos beneficios por captura de carbono que cualquier otro ecosistema (532 t/ha a 631 t/ha). Diez (2002) determinó una aproximación a la valoración económica de la Reserva Nacional Pacaya-Samiria, siendo *Mauritia flexuosa* y *Euterpe precatoria* las especies de mayor importancia económica para las poblaciones aledañas.

En el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, Tello (2004) concluye que los beneficios que generan los bosques de la Zona Reservada Allpahuayo-Mishana (ZRAM) estarían justificando su conservación en el mediano y largo plazo, mientras que las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* podrán fijar alrededor de 173 tC/ha al cabo de treinta años con un flujo promedio de 5,8 tC/ha/año.

MATERIAL Y MÉTODO

Lugar de estudio

El estudio se realizó en los años 2013 y 2014, en las plantaciones del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (Ciefor) Puerto Almendra, ubicado en la margen derecha del río Nanay a

22 km de distancia en dirección sur-oeste de la ciudad de Iquitos (UTM: 680322 m E, 9577400 m N; 122 msnm). El área se localiza en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, región Loreto. Presenta precipitación media anual de 2979,3 mm; la temperatura media anual es de 26,4 °C (máx. 31,6 °C y mín. 21,6 °C), la humedad relativa media anual es de 82,1%. El área de estudio se localiza dentro de la zona de vida denominada bosque húmedo tropical (bh-T) (Quintana, 2009).

Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por todos los árboles de diferentes edades de las especies forestales presentes en las plantaciones forestales establecidas en el Ciefor Puerto Almendra. La muestra fue igual a la población, considerando que se llevó a cabo un censo al 100% de todos los individuos arbóreos con DAP \geq 10 cm (tabla 1).

Tabla 1. Plantaciones establecidas en el Ciefor Puerto Almendra.

Especie	Edad	Nº de árboles
<i>Simarouba amara</i> (Simaroubaceae)	44	88
	44	31
	35	39
	34	23
	28	59
	28	23
	28	53
	28	52
	28	41
	27	112
	27	50
	17	8
	6	25
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Fabaceae)	43	209
	43	43
	42	74
	35	268
	35	100
	34	13
34	17	

Continúa ...

Continúa ...

Especie	Edad	Nº de árboles
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Fabaceae)	34	24
	28	29
	28	54
	28	22
	28	52
	28	19
	27	15
	27	40
	17	8
	16	40
<i>Virola</i> sp. (Myristicaceae)	15	13
	6	14
<i>Vochysia lomatophylla</i> (Vochysiaceae)	28	13
	22	14
	33	28
	33	18
<i>Croton lechlerii</i> (Euphorbiaceae)	22	10
	16	20
	15	42
<i>Ormosia coccinea</i> (Fabaceae)	28	5
	18	23
	42	17
<i>Poraqueiba sericea</i> (Icacinaceae)	28	9
	28	42
	28	60
<i>Parkia</i> sp. (Fabaceae)	28	19
	28	18
<i>Caryocar glabrum</i> (Caryocaraceae)	28	45
	22	29
<i>Bertholletia excelsa</i> (Lecythidaceae)	39	3
	39	13
<i>Aniba amazonica</i> (Lauraceae)	30	66
<i>Mauritia flexuosa</i> (Arecaceae)	28	380
	28	277

Procedimiento

En cada plantación se llevó a cabo el inventario de todos los individuos arbóreos con DAP \geq 10 cm, registrándose el DAP y la altura total. Luego se procedió a la sistematización de la informa-

ción de campo y luego al procesamiento de los datos y al cálculo de los volúmenes por individuo arbóreo y por especie, así como a la estimación de la biomasa, el stock de carbono y el CO₂ secuestrado. Este último resultado conllevó a la determinación del valor económico del servicio ambiental de secuestro de carbono por cada plantación. Para determinar este valor se utilizó el precio de la tonelada de CO₂ referenciado en el mercado de CO₂ dado por La Bolsa Española de Derechos de Emisiones de Dióxido de Carbono (Sendeco₂) correspondiente a julio de 2013 (Sendeco₂, 2013).

Cálculos

Biomasa aérea verde

Se empleó el modelo alométrico propuesto por Higuchi y Carbalho (1994) para bosques tropicales:

$$Bav = a (DAP)^b \times H^c$$

Donde: Bav = biomasa aérea verde (kg); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); H = altura total del árbol (m); a = 0,026; b = 1,529; c = 1,747.

Biomasa radicular verde

El cálculo se realizó teniendo en cuenta que la biomasa verde contenida en las raíces de los árboles es equivalente al 20% de la biomasa aérea verde (Higuchi y Carbalho, 1994):

$$Brv = Bav \times 0,20$$

Donde: Brv = biomasa radicular verde (kg); Bav = biomasa aérea verde (kg).

Biomasa verde total

Para el cálculo de la biomasa verde total se procedió a sumar la biomasa aérea verde más la

biomasa radicular verde (Higuchi y Carbalho 1994):

$$Bvt = Bav + Brv$$

Donde: Bvt = biomasa verde total (kg); Bav = biomasa aérea verde (kg); Brv = biomasa radicular verde (kg).

Biomasa seca

Para el cálculo de la biomasa seca se procedió a restar el 40% de la biomasa verde total (Higuchi y Carbalho, 1994):

$$Bs = Bvt - (Bvt \times 40)/100$$

Donde: Bs = biomasa seca (kg); Bvt = biomasa verde total (kg).

Stock de carbono

Para cuantificar el stock de carbono por individuo arbóreo se multiplicó la biomasa seca por 0,5 debido a que la materia seca contiene en promedio un 50% de carbono almacenado, para ello se utilizó la siguiente fórmula (IPCC, 2003):

$$C = Bs \times 0,5$$

Donde: C = stock de carbono (tC); Bs = biomasa seca (t).

Secuestro de dióxido de carbono

Para estimar la cantidad de dióxido de carbono secuestrado por los individuos arbóreos por especie en cada plantación se empleó la fórmula propuesta por Vallejo (2009), Alegre (2008), Gamarra (2001) e IPCC (2003):

$$CO_2 = C \times Kr$$

Donde: CO_2 = dióxido de carbono secuestrado (tCO_2); C = stock de carbono en toneladas de

carbono (tC); Kr = factor de conversión de carbono a CO_2 , resultante del cociente del peso molecular del CO_2 entre el peso atómico del carbono. Peso molecular del $CO_2 = C + 2 \times O = 12 + (2 \times 16) = 44$; peso atómico del carbono = 12. Entonces $44/12 = 3,67$.

Valor económico del secuestro de CO_2

Para estimar el valor económico del secuestro de CO_2 , se procedió a multiplicar la cantidad total de tCO_2 secuestrado por el respectivo precio en el mercado, que tiene el carbono en un determinado lugar (IPCC, 1996).

$$VE = CO_2 \times \text{precio en el mercado}$$

Donde: VE = valor económico (USD/ tCO_2); CO_2 = CO_2 secuestrado (tCO_2).

(1 tCO_2 = USD 5,5) (Sendeco₂, 2013).

RESULTADOS

Biomasa arbórea

Los resultados de la cuantificación de la biomasa arbórea para cada una de las 54 plantaciones forestales de diferentes edades existentes en el Ciefor Puerto Almendra se presentan en la tabla 2. Estos resultados son expresados en valores totales, promedio por árbol e incremento anualizado por árbol. Se estimó un total de 14 146,23 t de biomasa arbórea en 54 plantaciones existentes en el Ciefor Puerto Almendra. Las 19 plantaciones de diferentes edades de *C. cateniformis* con 1054 árboles presentaron la mayor cantidad de biomasa de 11 403,35 t (promedio de 8,08 t/árbol e incremento de 0,25 t/árbol/año); las 2 plantaciones de *C. cateniformis* de 43 años tuvieron el mayor promedio de 26,98 t de biomasa por árbol, con un incremento de 0,62 t/árbol/año, mientras que la plantación de *C. cateniformis* de 15 años tuvo el menor

promedio de 0,38 toneladas de biomasa por árbol e incremento de 0,03 t/árbol/año. *S. amara*, con 13 plantaciones y 604 árboles, presentó una biomasa de 1668,73 t con un promedio de 2,32 t/árbol y un incremento de biomasa de 0,08 t/árbol/año. Dentro de esta especie, una plantación de 35 años tuvo el mayor promedio de producción de biomasa de 5,31 t/árbol y un incremento 0,15 t/árbol/año, mientras que la plantación de 6 años tuvo la menor producción de biomasa de 0,53 t/árbol y un incremento de 0,09 t/árbol/año. Las 2 plantaciones de *M. flexuosa* de 28 años sumaron una biomasa de 545,11 t, con un promedio por palmera de 0,87 t/palmera y un incremento de 0,03 t/palmera/año. La biomasa de las 4 plantaciones de *O. coccinea* fue de 141,82 t en 128 árboles, un promedio de 1,19 t/árbol y un incremento de 0,04 t/árbol/año. En esta especie sobresale una plantación de 28 años con un promedio de 1,48 t/árbol y un incremento de biomasa de 0,05 t/árbol/año. *V. lomatophyla* con 118 árboles en 5 plantaciones tuvo una biomasa de 119,61 t, un promedio de 1,04 t/árbol y un incremento de 0,04 t/árbol/año. *Parkia* sp. presentó una biomasa de 32,99 t, un promedio de 0,41 t/árbol y un incremento de 0,01 t/árbol/año; mientras que *P. sericea* con 37 árboles en 2 plantaciones de 28 años tuvo una biomasa de 30,85 t, un promedio de 0,83 t/árbol y un incremento de 0,03 t/árbol/año. *Virola* sp. con 27 árboles en 8 plantaciones tuvo 17,74 t de biomasa, un promedio de 0,66 t/árbol y un incremento de 0,03 t/árbol/año. *C. lechlerii* con 28 árboles en 2 plantaciones tuvo 16,03 t de biomasa, un promedio de 0,37 t/árbol y un incremento de 0,02 t/árbol/año. Otras plantaciones evaluadas como *C. glabrum*, *B. excelsa* y *A. amazonica* con 3, 13 y 66 árboles, respectivamente, tuvieron una biomasa de 21,59 t, 100,76 t y 47,65 t, un promedio de 7,20 t/árbol, 7,75 t/árbol y 0,72 t/árbol y un incremento de biomasa de 0,18 t/árbol/año; 0,20 t/árbol y 0,02 t/árbol/año, respectivamente.

Stock del carbono

Los valores del stock de carbono en cada plantación siguen la misma tendencia que los valores estimados de la biomasa. En la tabla 2 se consignan estos valores expresados para todas las plantaciones del Ciefor Puerto Almendra y por plantación, valores promedios por árbol e incremento por árbol por año. Se estimó un total de 7073,28 tC en las 54 plantaciones, destacándose las plantaciones de *C. cateniformis* con un stock de carbono de 5701,73 tC, un promedio de 4,04 tC/árbol y un incremento de 0,13 tC/árbol/año; las plantaciones de 43 años presentaron el mayor promedio por árbol de 13,48 tC/árbol y un incremento de 0,31 tC/árbol/año, mientras que la plantación de 15 años presentó el menor promedio de carbono con 0,19 tC/árbol y un incremento de 0,01 tC/árbol/año. Las plantaciones de *S. amara* contienen el segundo mayor stock de carbono con 834,41 tC, un promedio de 1,16 tC/árbol y un incremento de 0,04 tC/árbol/año. En esta especie, la plantación de 35 años tuvo el mayor promedio de stock de carbono con 2,65 tC/árbol y un incremento de 0,08 tC/árbol/año; mientras que la plantación de 6 años tuvo el menor stock de carbono de 6,60 tC, un promedio de 0,26 tC/árbol y un incremento de 0,04 tC/árbol/año. Las 2 plantaciones de *M. flexuosa* de 28 años tuvieron un total de 272,56 tC, un promedio de 0,44 tC/palmera y un incremento de 0,01 t/palmera/año. El stock de carbono en las cuatro plantaciones de *O. coccinea* fue de 70,92 tC, un promedio 0,60 tC/árbol y un incremento 0,02 tC/árbol/año, donde las plantaciones de 28 años tuvieron un promedio de 0,59 tC/árbol y un incremento de 0,02 tC/árbol/año. Las 5 plantaciones de *V. lomatophyla* tuvieron un stock de carbono de 59,83 tC, un promedio de 0,52 tC/árbol y un incremento de 0,02 tC/árbol/año. Las plantaciones de *Parkia* sp. tuvieron un stock de carbono de 16,50 tC, un promedio de 0,20 tC/árbol y un incremento de

0,01 tC/árbol/año; mientras que las 2 plantaciones de *P. sericea* de 28 años tuvieron un stock de carbono de 15,43 tC, un promedio de 0,41 tC/árbol y un incremento de 0,01 tC/árbol/año. *Virola* sp. con 27 árboles en 8 plantaciones tuvo un stock de carbono de 8,87 tC, un promedio de 0,33 tC/árbol y un incremento de 0,01 tC/árbol/año. Las 2 plantaciones de *C. lechlerii* tuvieron un stock de carbono de 8,02 tC, un promedio de 0,46 tC/árbol y un incremento de 0,02 tC/árbol/año. Otras plantaciones como *C. glabrum*, *B. excelsa* y *A. amazonica* tuvieron un stock de carbono promedio por árbol de 3,60 tC, 3,88 tC y 0,36 tC y un incremento de 0,09 tC/árbol/año, 0,10 tC/árbol/año y 0,01 tC/árbol/año, respectivamente.

Secuestro de CO₂

Los valores del secuestro de CO₂ también siguen la tendencia de los valores obtenidos en la biomasa y el stock de carbono en cada plantación (tabla 2) y son expresados en términos de total por plantación, promedio por árbol e incremento anual por árbol. El total de CO₂ secuestrado en las 54 plantaciones del Ciefor Puerto Almendra es de 25 937,10 tCO₂. Las plantaciones de *C. cateniformis* secuestraron la mayor cantidad de CO₂ con 20 908,02 tCO₂ (promedio de 14,82 tCO₂/árbol y un incremento de 0,46 tCO₂/árbol/año); las plantaciones de 43 años tuvieron el mayor secuestro promedio de 6188,01 tCO₂, un secuestro promedio de 49,46 tCO₂/árbol y un incremento de 1,15 tCO₂/árbol/año; mientras que la plantación de 6 años solamente secuestró un total de 28,27 tCO₂, un promedio de 2,02 tCO₂/árbol y un incremento de 0,34 tCO₂/árbol/año. Las plantaciones de *S. amara* son las que tuvieron el segundo mayor secuestro de CO₂ con 3059,61 tCO₂, con un promedio de 4,25 tCO₂/árbol y un incremento de 0,15 tCO₂/árbol/año. Una plantación de 44 años obtuvo el mayor secuestro con 758,83 tCO₂, con un promedio de

8,62 tCO₂/árbol y un incremento de 0,20 tCO₂/árbol/año; mientras que la plantación de 6 años es la que menos CO₂ secuestró con 24,18 tCO₂, con un promedio de 0,97 tCO₂/árbol y un incremento de 0,16 tCO₂/árbol/año. Las plantaciones de *M. flexuosa* secuestraron un total de 999,46 tCO₂, con un promedio de 1,59 tCO₂/palmera y un incremento de 0,05 tCO₂/palmera/año. Las 4 plantaciones de *O. coccinea* secuestraron en total 260,04 tCO₂, con un promedio de 2,18 tCO₂/árbol y un incremento de 0,07 tCO₂/árbol/año. Las 5 plantaciones de *V. lomatophyla* secuestraron un total de 219,31 tCO₂, con un promedio de 1,90 tCO₂/árbol y un incremento de 0,08 tC/árbol/año. Las 2 plantaciones de *Parkia* sp. secuestraron un total de 60,49 tCO₂, con un promedio de 0,75 tCO₂/árbol y un incremento de 0,03 tCO₂/árbol/año; mientras que las 2 plantaciones de *P. sericea* secuestraron un total de 56,56 tCO₂, con un promedio de 1,53 tCO₂/árbol y un incremento de 0,05 tCO₂/árbol/año; en tanto las 2 plantaciones de *Virola* sp. secuestraron un total de 32,52 tCO₂, con un promedio de 1,21 tCO₂/árbol y un incremento de 0,05 tCO₂/árbol/año; y las 2 plantaciones de *C. lechlerii* secuestraron un total de 29,39 tCO₂, con un promedio de 1,68 tCO₂/árbol y un incremento de 0,06 tCO₂/árbol/año. Las plantaciones de *C. glabrum*, *B. excelsa* y *A. amazonica* secuestraron cada una 39,59 tCO₂, 184,74 tCO₂ y 87,37 tCO₂, respectivamente, con un promedio por árbol de 13,20 tCO₂, 14,21 tCO₂ y 1,32 tCO₂, y un incremento de 0,34 tCO₂/árbol/año, 0,36 tCO₂/árbol/año y 0,04 tCO₂/árbol/año, respectivamente.

Valor económico del secuestro de CO₂ en plantaciones de diferentes edades

Este valor fue calculado tomando como referencia el valor en USDólares dado por la Bolsa Española de Derechos de Emisiones de Dióxido de Carbono (Sendeco₂) para julio de 2013 igual a USD 5,50/tCO₂. El valor está en

función de la cantidad de CO₂ secuestrado por cada plantación, es decir, cuanto mayor es la cantidad de CO₂ secuestrado mayor será su valor económico, y depende en gran medida de la cantidad de árboles por plantación, la edad de la plantación y la densidad básica de la madera del árbol (tabla 2). Se presentan estos valores expresados en valores totales por plantación, promedio por árbol e incremento anual por árbol. Se calculó para las 54 plantaciones juntas un valor total de USD 142 654,13, donde las plantaciones de *C. cateniformis* sobresalen con un valor de USD 114 994,22 (promedio de USD 81,52 por árbol y un incremento de USD 2,53/árbol/año); en esta especie las plantaciones de 43 años alcanzaron el mayor promedio con USD 272,05/árbol y un incremento de USD 6,33/árbol/año, siendo de menor valor la plantación de 15 años con USD 49,41 con promedio de USD 3,80 y un incremento de USD 0,25/árbol/año. En segundo lugar se destaca la plantación de *S. amara* con un valor total de USD 16 827,87 (promedio de USD 23,37/árbol e incremento de USD 0,82/árbol/año). En esta especie sobresale una plantación de 44 años con USD 47,43/árbol e incremento de USD 1,08/árbol/año; siendo de menor valor la plantación de 6 años con promedio de USD 5,32/árbol e incremento de USD 0,89/árbol/año. Las plantaciones de *M. flexuosa* de 28 años obtuvieron un valor total de USD 5497,02, con promedio de USD

8,77/palmera e incremento de USD 0,31/palmera/año. Las 4 plantaciones de *O. coccinea* alcanzaron un valor total de USD 1430,20, con un promedio USD 11,99 e incremento de USD 0,39/árbol/año. En esta especie sobresale una plantación de 28 años con un valor promedio de USD 14,88/árbol e incremento de USD 0,53/árbol. Las 5 plantaciones de *V. lomatophyla* alcanzaron un valor total de USD 1206,17, con un promedio de 10,46/árbol e incremento de USD 0,43/árbol/año. Las 2 plantaciones de *Parkia* sp. obtuvieron un valor total de USD 332,68, con un promedio de USD 4,15 e incremento de USD 0,16/árbol/año; las plantaciones de *P. sericea* obtuvieron un valor total de USD 311,10, con un promedio de USD 8,41/árbol e incremento de 0,30/árbol/año; las 2 plantaciones de *Virola* sp. obtuvieron un valor total de USD 178,90, con un promedio de USD 6,66 e incremento de USD 0,26/árbol/año; las plantaciones de *C. lechlerii* obtuvieron un valor total de USD 161,65, con un promedio de USD 9,23/árbol e incremento de USD 0,36/árbol/año. Las plantaciones de *C. glabrum*, *B. excelsa* y *A. amazonica* obtuvieron un valor económico de USD 217,72, USD 1016,09 y USD 480,51, promedios de USD 72,57/árbol; USD 78,16/árbol; USD 7,28/árbol e incrementos de USD 1,86/árbol/año, USD 2,00/árbol/año y USD 0,24/árbol/año, respectivamente.

Tabla 2. Biomasa, stock de carbono, secuestro de CO₂ y valor económico del secuestro de CO₂ en plantaciones forestales del Ciefor Puerto Almendra.

N°	Especie	Edad (años)	N° de árboles	Densidad básica (kg/m ³)	Biomasa arbórea seca			Stock de carbono			Secuestro de CO ₂			Valor económico del secuestro CO ₂		
					Total (t)	Promedio (t/árbol)	Incremento anual (t/árbol)	Total (t)	Promedio (t/árbol)	Incremento anual (t/árbol)	Total (t)	Promedio (t/árbol)	Incremento anual (t/árbol)	Total (USD)	Promedio (USD/árbol)	Incremento anual (USD/árbol)
1		44	88	370	413,87	4,70	0,11	206,94	2,35	0,05	758,83	8,62	0,20	4173,57	47,43	1,08
2		44	31	370	42,07	1,36	0,03	21,04	0,68	0,02	77,14	2,49	0,06	424,24	13,69	0,31
3		35	39	370	207,06	5,31	0,15	103,53	2,65	0,08	379,64	9,73	0,28	2088,04	53,54	1,53
4		34	23	369	30,85	1,34	0,04	15,43	0,67	0,02	56,56	2,46	0,07	311,10	13,53	0,40
5		28	59	361	35,52	0,60	0,02	17,76	0,30	0,01	65,13	1,10	0,04	358,19	6,07	0,22
6		28	23	361	24,07	1,05	0,04	12,04	0,52	0,02	44,13	1,92	0,07	242,73	10,55	0,38
7	<i>S. amara</i>	28	53	361	58,80	1,11	0,04	29,40	0,55	0,02	107,81	2,03	0,07	592,95	11,19	0,40
8		28	52	361	56,61	1,09	0,04	28,31	0,54	0,02	103,79	2,00	0,07	570,87	10,98	0,39
9		28	41	361	55,47	1,35	0,05	27,74	0,68	0,02	101,70	2,48	0,09	559,37	13,64	0,49
10		27	112	369	357,56	3,19	0,12	178,78	1,60	0,06	655,59	5,85	0,22	3605,72	32,19	1,19
11		27	50	369	363,93	7,28	0,27	181,97	3,64	0,13	667,27	13,35	0,49	3669,96	73,40	2,72
12		17	8	327	9,73	1,22	0,07	4,87	0,61	0,04	17,84	2,23	0,13	98,12	12,27	0,72
13		6	25	300	13,19	0,53	0,09	6,60	0,26	0,04	24,18	0,97	0,16	133,01	5,32	0,89
	Total		604		1668,73	2,32	0,08	834,41	1,16	0,04	3059,61	4,25	0,15	16827,87	23,37	0,82
14		43	209	470	5577,36	26,69	0,62	2788,68	13,34	0,31	10226,09	48,93	1,14	56243,49	269,11	6,26
15		43	43	470	1172,59	27,27	0,63	586,30	13,63	0,32	2149,94	50,00	1,16	11824,69	274,99	6,40
16		42	74	470	104,92	1,42	0,03	52,46	0,71	0,02	192,37	2,60	0,06	1058,04	14,30	0,34
17		35	268	470	2439,32	9,10	0,26	1219,66	4,55	0,13	4472,49	16,69	0,48	24598,71	91,79	2,62
18		35	100	470	325,83	3,26	0,09	162,92	1,63	0,05	597,41	5,97	0,17	3285,75	32,86	0,94
19		34	13	470	466,23	35,86	1,05	233,12	17,93	0,53	854,83	65,76	1,93	4701,58	361,66	10,64
20		34	17	470	132,91	7,82	0,23	66,46	3,91	0,11	243,69	14,33	0,42	1340,30	78,84	2,32
21		34	24	470	106,77	4,45	0,13	53,39	2,22	0,07	195,76	8,16	0,24	1076,70	44,86	1,32
22		28	29	473	22,67	0,78	0,03	11,34	0,39	0,01	41,57	1,43	0,05	228,61	7,88	0,28
23	<i>C. cateniformis</i>	28	54	473	115,07	2,13	0,08	57,54	1,07	0,04	210,98	3,91	0,14	1160,39	21,49	0,77
24		28	22	473	39,68	1,80	0,06	19,84	0,90	0,03	72,75	3,31	0,12	400,14	18,19	0,65
25		28	52	473	131,05	2,52	0,09	65,53	1,26	0,05	240,28	4,62	0,17	1321,54	25,41	0,91
26		28	19	473	50,63	2,66	0,10	25,32	1,33	0,05	92,83	4,89	0,17	510,57	26,87	0,96
27		27	15	473	125,99	8,40	0,31	63,00	4,20	0,16	231,00	15,40	0,57	1270,51	84,70	3,14
28		27	40	473	424,67	10,62	0,39	212,34	5,31	0,20	778,63	19,47	0,72	4282,48	107,06	3,97
29		17	8	423	36,46	4,56	0,27	18,23	2,28	0,13	66,85	8,36	0,49	367,67	45,96	2,70
30		16	40	423	110,88	2,77	0,17	55,44	1,39	0,09	203,30	5,08	0,32	1118,14	27,95	1,75
31		15	13	423	4,90	0,38	0,03	2,45	0,19	0,01	8,98	0,69	0,05	49,41	3,80	0,25
32		6	14	373	15,42	1,10	0,18	7,71	0,55	0,09	28,27	2,02	0,34	155,50	11,11	1,85
	Total		1054		11403,35	8,08	0,25	5701,73	4,04	0,13	20908,02	14,82	0,46	114994,22	81,52	2,53
33		28	13	410	9,82	0,76	0,03	4,91	0,38	0,01	18,00	1,38	0,05	99,03	7,62	0,27
34	<i>Virola</i> sp.	22	14	396	7,92	0,57	0,03	3,96	0,28	0,01	14,52	1,04	0,05	79,87	5,71	0,26
	Total		27		17,74	0,66	0,03	8,87	0,33	0,01	32,52	1,21	0,05	178,90	6,66	0,26
35		33	28	380	63,27	2,26	0,07	31,64	1,13	0,03	116,01	4,14	0,13	638,03	22,79	0,69
36	<i>V. lomatophylla</i>	33	18	449	17,27	0,96	0,03	8,64	0,48	0,01	31,66	1,76	0,05	174,15	9,68	0,29
37		22	10	440	6,07	0,61	0,03	3,04	0,30	0,01	11,13	1,11	0,05	61,21	6,12	0,28

Continúa ...

Tabla 5. ANVA para la valoración económica del secuestro de CO₂ en plantaciones de *C. cateniformis* en el Ciefor Puerto Almendra.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	P(α,05)
Tratamientos	5	103,67 e + 04	207,35 e + 03	183,1849	0,0000
Bloques	6	24575,033	4095,839	3,6185	0,0082
Error	30	33957,367	1131,912		

Tabla 6. Prueba de correlación de Pearson en plantaciones de *C. cateniformis* en el Ciefor Puerto Almendra.

Columnas	1 y 2	1 y 3	1 y 4	1 y 5	1 y 6	2 y 3	2 y 4	2 y 5	2 y 6	3 y 4	3 y 5	3 y 6	4 y 5	4 y 6	5 y 6
N (pares)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
R (Pearson)	0,880	0,877	0,877	0,877	0,877	0,638	0,638	0,638	0,638	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
IC 95%	0,38 a	0,37 a	0,37 a	0,37 a	0,37 a	-0,22 a	-0,22 a	-0,22 a	-0,22 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a
IC 99%	0,09 a	0,07 a	0,07 a	0,07 a	0,07 a	-0,49 a	-0,49 a	-0,49 a	-0,49 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a	1,00 a
R ²	0,775	0,769	0,769	0,769	0,769	0,407	0,4078	0,4076	0,4076	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
t	4,1489	4,0866	4,0877	4,0869	4,0869	1,8549	1,8554	1,8547	1,8547	5762,4	14334,7	9170,0	5180,6	5283,4	16917,6
GL	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
(p)	0,0089	0,0095	0,0094	0,0095	0,0095	0,1227	0,1226	0,1227	0,1227	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Matriz de correlación															
	Columna 1 (edad)	Columna 2 (densidad básica)	Columna 3 (biomasa)	Columna 4 (carbono)	Columna 5 (Secuestro CO ₂)	Columna 6 (valor económico)									
Columna 1	1,000	---	---	---	---	---									
Columna 2	0,880	1,000	---	---	---	---									
Columna 3	0,877	0,639	1,000	---	---	---									
Columna 4	0,877	0,639	1,000	1,000	---	---									
Columna 5	0,877	0,638	1,000	1,000	1,000	---									
Columna 6	0,877	0,638	1,000	1,000	1,000	1,000									

DISCUSIÓN

La biomasa, el stock de carbono, el CO₂ secuestrado y la valoración económica del secuestro de CO₂, están influenciados por la edad de la plantación, la densidad de la madera y la relación entre la altura y el DAP de los árboles (Gómez y Oviedo, 2000); los árboles que presentan mayor altura y diámetro almacenan mayor cantidad de carbono y por lo tanto secuestran mayor cantidad de CO₂ en contraste con los árboles de menor altura y menor DAP. Siu y Ordeñana (2001), cuantificaron el stock de carbono para árboles de diferentes edades en el bosque seco secundario de vida silvestre chacocente en Nicaragua, desde el año cero hasta el año 50 y reportaron un incremento de aproximadamente 30,7%, lo que confirma la relación positiva entre la edad de los árboles y la cantidad de carbono almacenado.

El precio promedio por tCO₂ reportado por Sendeco₂ (2015) para los últimos cinco años es

de USD 11,09 (máx. USD 17,66 en 2010; mín. 5,49 en 2013). El valor reportado para julio de 2013 es de USD 5,5/tCO₂, valor más bajo registrado desde junio de 2010, en que el precio de compra de una tonelada de CO₂ se aproximaba a los USD 18,89. Este precio ha ido aumentando hasta llegar en los primeros meses del año 2015 a USD 9,48, luego de tener un valor mínimo en mayo de 2013 de USD 4,33. Las causas son diversas: la suavidad de las temperaturas y el régimen de lluvias en 2006 y 2007, que disminuyeron la quema de combustibles fósiles para generar energía, el exceso de derechos de emisión debido a la benevolencia del plan 2005-2007 y el número de proyectos en mecanismos de desarrollo limpio e implementación conjunta, la inmadurez del mercado y el peso de determinados agentes (es el caso de las eléctricas) (Sendeco₂, 2015).

En este estudio se reporta un valor económico total de USD 142 654,13 por el secuestro de CO₂ en todas las plantaciones del Ciefor

Puerto Almendra, calculado a USD 5,5/tCO₂, el cual podría bajar más si se calcula con el precio para abril de 2017 (USD 5,12/tCO₂). No obstante, el no haber negociado hasta ahora el servicio de secuestro de CO₂ ofrecido por estas plantaciones, trae consigo una pérdida económica, lo cual pues crea la necesidad de ingresar al mercado de carbono lo más pronto posible a fin de lograr un beneficio económico que bien podría servir para generar nuevos proyectos relacionados con el servicio de secuestro de carbono en otras áreas de bosque ya sea como plantaciones, bosques secundarios, bosques intervenidos, etc.

Al contrastar el flujo de almacenamiento de carbono de las plantaciones forestales en el Ciefor Puerto Almendra con el de otros sistemas de plantaciones (como el agroforestal), se observa que en las plantaciones de *C. cateniformis* se estimó un flujo promedio de 4,04 tC/año mientras que en una plantación de *Theobroma cacao* asociado con otras especies frutales y forestales en Tarapoto, San Martín (Lapeyre et al., 2004), se estimó un flujo de 3,15 tC/año y en una plantación de cacao en Pucallpa, Ucayali, se estimó en 2,3 tC/año el flujo de stock de carbono (Alegre, 2008). Esto nos indica una clara ventaja de las plantaciones forestales versus las plantaciones agroforestales.

CONCLUSIONES

Las 54 plantaciones evaluadas estuvieron conformadas por un total de 2809 individuos, distribuidos en 12 especies forestales, donde *C. cateniformis* y *S. amara* juntas hacen el 59,26% de todas las plantaciones. Se estimó un total de 14 146,23 t de biomasa, 7073,28 tC, 25 937,10 tCO₂ y un valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ de USD 142 654,13. Las plantaciones de *C. cateniformis* contienen la mayor cantidad de individuos con 1054 y consecuentemente contienen la mayor cantidad de biomasa con 11 403,35 t, 5701,73

tC, 20 908,02 tCO₂ y un valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ de USD 114 994,22; con valores promedios de 8,08 t/árbol de biomasa, 4,04 tC/árbol, 14,82 tCO₂/árbol y USD 81,52/tCO₂/árbol. Las plantaciones de *S. amara* con 604 árboles contienen 1668,73 t de biomasa, 834,41 tC, 3059,61 tCO₂ y un valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ de USD 16 827,87; con valores promedios de 2,32 t/árbol de biomasa, 1,16 tC/árbol, 4,25 tCO₂/árbol y USD 23,37/tCO₂/árbol. Dentro de las plantaciones menores, *M. flexuosa* con 2 plantaciones de 28 años contiene una biomasa de 545,11 t, un stock de carbono de 272,56 tC, un secuestro de CO₂ de 999,46 tCO₂ y un valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ de USD 5497,02, con valores promedios de 0,87 t/palmera de biomasa, 0,44 tC/palmera, 1,59 tCO₂/palmera y USD 8,77/tCO₂/palmera.

El ANVA ($\alpha = 0,05$) y la prueba de correlación lineal de Pearson demostraron que existe una alta correlación ($R = 0,995$ a $1,000$) entre el número de individuos, la densidad básica de la madera, la biomasa, el stock de carbono, el secuestro de carbono y el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo económico de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), el apoyo logístico del Ciefor Puerto Almendra de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, el aporte de Abraham Cabudivo que con su revisión y sugerencias enriqueció considerablemente el informe final. Agradecemos de manera especial a Nelson Guerra R., Alex M. Babilonia M., Patricia G. González G., Simy C. Ruiz V., Tatiana M. Ucañay A., Eder Barbagelata A. y Claudia del Águila M., por el apoyo técnico en las labores de acopio, sistematización y cálculo de la información de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre J. 2008. Manejo de sistemas agroforestales para la recuperación de los suelos degradados de la Amazonía y generación de servicios medioambientales. En: XI Congreso Nacional y IV Internacional de la Ciencia del Suelo. "Suelos: Agricultura Sustentable, Biodiversidad y Agroforestería para el Desarrollo Rural". Tarapoto, Perú. 34-50 pp.
- Carbajal M. 2009. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos en Murcia. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Murcia, España. 43 pp. 12 de abril 2012. Disponible en: www.lessco2.es
- Diez C. 2002. Aproximación a la valoración económica de la Reserva Nacional Pacaya-Samiria. IRB/BIOFOR. 207 pp.
- Gamarra J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucaliptus globulus* Labill, en Junín, Perú. En Simposio internacional de medición y captura de carbono en ecosistemas forestales del 18 al 21 de octubre. Valdivia, Chile. 21 pp.
- Gómez V, Oviedo S. 2000. Estudio sobre fijación de carbono en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 11 años de edad de los sitios Quinta, Buenos Aires, Estelí y Aurora, Managua, Nicaragua. UNA. 57 pp.
- Guzmán W. 2005. "Valoración económica de beneficios ambientales en el manejo sostenible de humedales: Estudio de caso del manejo sostenible de sistemas de «aguajal» en la comunidad de Parinari, Reserva Nacional Pacaya-Samiria (región Loreto, Perú)". Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Proyecto Biofor-Inrena-Usaid, Loreto, Perú.
- Higuchi N, Carbalho JA. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Anais do seminário Emissão por sequestro de CO₂ urna nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro. 125-153 pp.
- IPCC. 1996. Report of the twelfth session of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Reference manual and work book of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Mexico. 11-13 pp.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japan. 628 pp.
- Jiménez E, Landeta A. 2006. Producción de biomasa y fijación de carbono en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn F.) Campus Prosperina-ESPOL. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/E_Jimenez/publication/28795953_Produccion_De_Biomasa_Y_Fijacion_De_Carbono_En_Plantaciones_De_Teca_Tectona_Grandis_Linn_F_Campus_Prospalina_-_Espol/links/5567191908aefcb861d3807f.pdf?origin=publication_detail
- Lapeyre T, Alegre J, Arévalo L. 2004. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada* 3(1-2): 35-44.
- Ledig FT, Kitzmiller J. 1992. Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *For. Ecol. Manage.* 50:153-169.
- Mitchell AF, Hallett VE, White JEJ. 1990. Champion trees in the British Isles. Forestry Commission Field Book 10. 33 pp.

- Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York. EE.UU. 25 pp.
- Ortiz A, Riascos L. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L y laurel *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. *Catie*. 33-62 pp.
- Parra A, Amarilla S, Leiva D, Balbuena C, Santagada E. 2009. Guía para la elaboración de proyectos MDL forestales. Asunción, PY: IDEA 1 SEAM 1 FAO. 60 pp.
- Quintana S. 2008. Valoración económica de bienes y servicios ambientales de los bosques de Puerto Almendra-Nina Rumi-Llanchama, río Nanay, Loreto, Perú. Tesis para doctor en Ciencias Ambientales. Escuela de Posgrado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. 80 pp.
- Quintana S. 2009. Descripción preliminar de cinco especies de maderas provenientes de las cuencas del Nanay y Napo. UNAP. Proyecto Maderas. Concytec-Fincyt-UNAP. Iquitos, Perú. 20 pp.
- Salati E. 1990. Los posibles cambios climáticos en América Latina y el Caribe y sus consecuencias. Reporte nº 90-7-1223, Naciones Unidas y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). Chile. 47 pp.
- Sendeco₂. 2013. Sistema electrónico de negociación de derechos de emisiones de dióxido de carbono. Paseo de Gracia. 19-3ra. Planta 08007 Barcelona. Disponible en www.sendeco2.com/es/precios-co2
- Sendeco₂. 2015. Sistema electrónico de negociación de derechos de emisiones de dióxido de carbono. Paseo de Gracia. 19-3ra. Planta 08007 Barcelona. Disponible en: www.sendeco2.com
- Siu Y, Ordeñana W. 2001. Estimación del contenido de carbono en el bosque seco secundario de vida silvestre chacocente. Tesis, Managua, Nicaragua, UNA. 77 pp.
- Tello H. 2004. Valoración económica de la diversidad biológica en el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta. IRB/BIOFOR. 348 pp.
- Vallejo A. 2009. Cambio climático, bosques y uso de la tierra. Curso Formulación de Proyectos MOL Forestal y Bioenergía. Carbón Descisions. Buenos Aires. Argentina. 29 pp.
- Victoria RL, Martinelli LA, Moreira MZ, Salati E. 1994. O ciclo do carbono e sua importância nas mudanças climáticas globais. In: Workshop Emissão por sequestro de CO₂: Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil-CVRD/FBDS. Rio de Janeiro, 12 y 13 de maio.