

## Valoración económica del secuestro de CO<sub>2</sub> por especies comerciales de la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04, río Yavarí-Mirim, Ramón Castilla, Perú

### Economic valuation of CO<sub>2</sub> sequestration by commercial species from the ACP 20 of the forest concession 16-IQU/C-J-060-04, Yavarí-Mirim river, Ramón Castilla, Perú

Jorge M. Espíritu P.<sup>1</sup>, Henry E. Sánchez L.<sup>2</sup> y Segundo Córdova H.<sup>3</sup>

Recibido: diciembre 2015

Aceptado: diciembre 2015

#### RESUMEN

Se estimó el valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> de diez especies forestales comerciales de la parcela de corta anual (PCA) 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04, ubicada en un bosque de colina baja en la cuenca del río Yavarí-Mirim, Loreto, Perú. El cálculo de la biomasa seca total se hizo en forma indirecta utilizando el volumen comercial y la densidad básica por cada especie comercial. Se obtuvo una biomasa seca total de 1780,28 t, un stock de carbono de 890,16 tC, un secuestro de CO<sub>2</sub> de 3211,68 tCO<sub>2</sub> y un valor económico del servicio de secuestro de CO<sub>2</sub> de US\$ 29 290,52, el cual al ser comparado con el beneficio neto por la venta de madera rolliza de las especies comerciales obtiene una diferencia a favor del servicio de US\$ 17 439,51 que lo hace atractivo para negociarlo en el mercado de carbono. De las diez especies comerciales existentes en la PCA 20, *Virola albidiflora* aporta el mayor valor económico con US\$ 9849,33, mientras que *Simarouba amara* tiene el mínimo aporte con US\$ 743,83, debido principalmente a factores tales como abundancia de árboles por especie, mayor volumen comercial y densidad básica de la especie.

**Palabras claves:** biomasa, secuestro de CO<sub>2</sub>, valoración económica, concesiones forestales, río Yavarí-Mirim, Loreto.

#### ABSTRACT

The economic value of CO<sub>2</sub> sequestration was estimated for ten commercial tree species on the annual cut plot (ACP) 20 of the forest concession 16-IQU/C-J-060-04, located on a low-hill forest in the Yavarí-Mirim river basin, Loreto, Perú. The total dry biomass was calculated indirectly by using the commercial volume and specific gravity for each commercial species. A total of dry biomass of 1780,28 t was obtained, hence a carbon stock of 890,16 tC, a CO<sub>2</sub> sequestration of 3211,68 tCO<sub>2</sub> and an economic value of US\$ 29 290,52 were determined. This amount compared with the net profit obtained from the sale of logs of the commercial species shows a difference in favor of the CO<sub>2</sub> sequestration of US\$ 17 439,51, making it attractive to negotiate in the carbon market. Of the ten existing commercial species in the PCA 20, *Virola albidiflora* contributes with the highest economic value of US\$ 9849,33, while *Simarouba amara* contributes with the minimum value of US\$ 743,83, mainly due to factors as abundance of trees by species, higher commercial volume and basic density of the species.

**Key words:** biomass, CO<sub>2</sub> sequestration, economic valuation, forest concessions, Yavarí-Mirim river, Loreto.

#### INTRODUCCIÓN

El ciclo de carbono gira alrededor del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas producido por la

respiración, las emisiones por quema de combustibles fósiles y fenómenos naturales como las erupciones volcánicas (Ordóñez, 1999). Asimismo, el ciclo del carbono es el

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

<sup>2</sup> Reserva Nacional Pucacuro. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp). Iquitos, Perú.

<sup>3</sup> Departamento de Industrias y Productos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. UNAP. Iquitos, Perú.

responsable de la cantidad de CO<sub>2</sub> contenido en la atmósfera. Schulze *et al.* (2000) dicen que la capacidad de fijación de carbono a través de procesos bióticos por los ecosistemas forestales aún es desconocida, ya que no se cuenta con procedimientos definidos para su estimación; se sabe que esta capacidad varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de la población de cada estrato por comunidad vegetal. Las plantas utilizan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub> durante el proceso de la fotosíntesis; del mismo modo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono (Alegre *et al.*, 2000).

La biomasa es considerada como la masa total de organismos vivos existentes en una determinada zona o volumen (IPCC, 1996). Es un componente primordial en la estimación y monitoreo de la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas forestales (FAO, 1998; Brown, 2002).

Estimar las reservas de biomasa de los bosques es una herramienta útil para valorar la cantidad de carbono que se almacena en las estructuras vivas en un momento dado, lo cual es importante para evaluar su contribución al ciclo del carbono. De ahí el interés por realizar estimaciones de biomasa en los bosques tropicales (Brown, 1997). Los árboles almacenan biomasa en la raíz, fuste, ramas vivas, follaje, corteza y hojarasca; se expresa en términos de peso seco en kilogramos o toneladas (Sato y Medgwick, 1982; Garcidueñas, 1987; Castellanos, 1993). La biomasa representa la cantidad de material acumulado en las plantas, en un momento dado, por unidad de área dada en la parte aérea y subterránea del ecosistema (Garcidueñas, 1987; Castellanos, 1993).

La cantidad de biomasa en un bosque es el resultado de la diferencia entre la producti-

vidad primaria bruta que se obtiene a través de la fotosíntesis y la respiración, la mortalidad y los procesos de herbivoría (Schroeder *et al.*, 1997; Colter *et al.*, 2003). Los cambios en la acumulación de biomasa se pueden dar como resultado de las actividades humanas, los procesos de sucesión natural, la calidad de sitio, la exposición, las condiciones climáticas y la degradación; por lo que la estimación de la biomasa se puede emplear para comparar la estructura y atributos funcionales de los ecosistemas forestales en un intervalo similar de condiciones climáticas (Schroeder *et al.*, 1997).

La estimación de la biomasa aérea en los bosques es un tema relevante en relación con el problema del calentamiento global del planeta. En años recientes se ha incrementado el interés por estudiar el papel de los bosques en los ciclos de elementos biogeoquímicos, especialmente del carbono (Delaney *et al.*, 1998), y su relación con los gases de efecto invernadero. Aproximadamente el 50% de la biomasa es carbono y, por tanto, puede ser adicionada a la atmósfera como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cuando este se corta y quema (Morrissey y Justus, 1998).

La valoración económica del ambiente consiste en dar valor monetario a bienes y servicios ambientales que no son transados en los mercados y por lo tanto no tiene precios explícitos. Esta valoración se refiere a las preferencias de las personas por los beneficios que reciben del medio ambiente, en ningún caso representa el valor real del recurso biológico (Figueroa, 2005). Este valor es un indicador de la importancia del ambiente y permite medir las expectativas de beneficios y costos derivados de algunas actividades llevadas a cabo en su interior, tales como: uso de un activo ambiental, realización de una mejora ambiental, generación de un daño ambiental, entre otras (Azqueta, 1994).

El secuestro de CO<sub>2</sub> en masas forestales es un tema dentro del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) establecido en el Protocolo de Kioto en 1997, como una estrategia para conservar los bosques, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir el calentamiento global (Naciones Unidas, 1998). Mediante este mecanismo los países industrializados (también llamados países desarrollados o países del Anexo 1 del Protocolo de Kioto) y las empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o privadas) invierten en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo (también denominados países no incluidos en el Anexo 1 del Protocolo de Kioto) como una alternativa para adquirir reducciones certificadas de emisiones (CER, por sus siglas en inglés) a menores costos que en sus mercados.

Para establecer un valor del servicio ambiental de secuestro de CO<sub>2</sub> por las especies arbóreas, se han utilizado varios precios de referencia, dado que no existe un valor específico. Así, por ejemplo, el gobierno de Costa Rica, en una negociación con el gobierno de Noruega acordó un precio de US\$ 10/tC para las opciones de carbono almacenado y secuestro de carbono (Ramírez *et al.*, 1994). Estos valores son mucho menores que los de la zona de Corinto que fluctúa entre US\$ 18,30 y US\$ 43,50 por tonelada de carbono. Es importante remarcar que esta valorización fue hecha en terrenos de aptitud de conservación, los cuales son exclusivos para este uso, por lo que no existe verdaderamente un costo de oportunidad (Segura, 1999).

Otros precios en los proyectos MDL se rigen básicamente por los ofrecidos por el Banco Mundial y el gobierno holandés, que son los principales compradores de CER. Estos precios están definidos básicamente por la voluntad de pago de los participantes de los fondos de carbono del Banco Mundial y del gobierno

holandés. Otra entidad internacional que ha tratado de desarrollar el mercado de carbono es el Fondo Prototipo de Carbono (PCF, por sus siglas en inglés) a iniciativa del Banco Mundial. Este fondo ya llegó a su madurez y tiene completa su cartera de proyectos.

Nuevos fondos administrados por el Banco Mundial buscan consolidar el mercado de carbono del MDL: como el Fondo Comunitario de Desarrollo del Carbono (CDCF, por sus siglas en inglés), que busca impulsar el mercado de proyectos de pequeña escala; el Servicio de Desarrollo Limpio de los Países Bajos (NCDF, por sus siglas en inglés), financiado por el gobierno holandés, que adquiere solo proyectos MDL y el Fondo de Biocarbono (BCF, por sus siglas en inglés), que busca demostrar la factibilidad en el mercado MDL de los proyectos de secuestro de carbono.

Finalmente, el más utilizado en estos últimos tiempos es el precio del Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> (Sendeco<sub>2</sub>), que es una empresa europea dedicada a la compraventa de derechos de emisión y al asesoramiento técnico de las instalaciones industriales sujetas a la Directiva de Comercio (EU ETS). Empezó a funcionar en 2004 y opera con más de 700 empresas en todo el mundo. El principal objetivo de Sendeco<sub>2</sub> es el de contribuir significativamente a la mejora del medio ambiente mediante la reducción global de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Sendeco<sub>2</sub>, 2015).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Lugar de estudio

En esta investigación se utilizaron los datos de campo registrados en el inventario realizado en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04 adjudicada al señor Jorge Upiachihua Guerra, ubicada en el área de influencia del río

Yavarí-Mirim, jurisdicción de la provincia de Mariscal Ramón Castilla, departamento de Loreto, Perú, en el año 2015. El área de la PCA 20 es de 253 ha y el tipo de bosque es de colina baja con una fisiografía accidentada con pendientes entre 5% y 25%. La población de estudio estuvo conformada por todos los árboles de las diez especies comerciales con  $DAP \geq DMC$  a aprovechar existentes en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04. La muestra fue igual a la población, considerando que se llevó a cabo un censo al 100% de todos los individuos que cumplen con el requisito de  $DAP \geq DMC$ .

## Procedimiento

El estudio se llevó a cabo íntegramente en el gabinete, utilizando los datos del inventario realizado en la PCA 20 con fines de aprovechamiento. Por lo tanto, se procedió a la sistematización de la información de campo y luego al procesamiento de los datos y al cálculo de los volúmenes comerciales por individuo arbóreo y por especie, así como a la estimación de la biomasa, el stock de carbono y el  $CO_2$  secuestrado. Este último resultado conllevó a la determinación del valor económico del servicio ambiental de secuestro de carbono por las diez especies comerciales existentes en la PCA 20 de la concesión en estudio. Para determinar este valor se utilizó el precio del  $CO_2$  referenciado en el mercado de  $CO_2$  de Sendeco<sub>2</sub> correspondiente al 27 de noviembre de 2015 (Sendeco<sub>2</sub>, 2015).

## Cálculos

### • Volumen comercial

El volumen comercial fue calculado para cada individuo arbóreo teniendo en cuenta su  $DAP \geq DMC$ , su altura comercial y el coeficiente de forma de 0,65 para especies forestales de bosques tropicales. Inicialmente, se calculó el

área basal mediante la siguiente fórmula (Chambi, 2001):

$$AB = 0,7854 (DAP)^2$$

Donde:

AB = área basal ( $m^2$ ); DAP = diámetro a la altura del pecho (m).

Con este dato se calculó el volumen comercial aplicando la siguiente fórmula (Inrena, 2003):

$$Vc = AB \times Hc \times Ff$$

Donde:

Vc = volumen comercial ( $m^3$ ); AB = área basal ( $m^2$ ); Hc = altura comercial (m); Ff = factor de forma (0,65).

### • Biomasa aérea

Se empleó el método matemático propuesto por Dauber *et al.* (2008), quienes recomiendan usar factores de expansión cuando se trabaja con datos de inventarios forestales con fines comerciales, que se resume en la siguiente fórmula:

$$Ba = Vc \times DB \times FEB$$

Donde:

Ba = biomasa aérea; Vc = volumen comercial del árbol ( $m^3$ ); DB = densidad básica de la madera de una especie en particular ( $kg/m^3$ ); FEB = factor de expansión de biomasa (2,25).

### • Biomasa radicular

El cálculo se realizó teniendo en cuenta el 20% del peso de la biomasa aérea (Higuchi y Carbalho, 1994).

$$Br = Ba \times 0,20$$

Donde:

Br = biomasa radicular (kg); Ba = biomasa aérea (kg).

- **Biomasa verde total**

Para el cálculo de la biomasa verde total se procedió a sumar la biomasa aérea más la biomasa radicular (Higuchi y Carbalho, 1994).

$$B_{vt} = B_a + B_r$$

Donde:

B<sub>vt</sub> = biomasa verde total (kg); B<sub>a</sub> = biomasa aérea (kg); B<sub>r</sub> = biomasa radicular (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).

$$B_s = B_{vt} - (B_{vt} \times 40)/100$$

Donde:

B<sub>s</sub> = biomasa seca (kg); B<sub>vt</sub> = biomasa verde total (kg).

- **Stock de carbono**

La materia seca contiene en promedio un 50% de carbono; por lo tanto, para cuantificar el stock de carbono por individuo arbóreo se multiplicó la biomasa seca por 0,5 (IPCC, 2003).

$$CT = B_s \times 0,5$$

Donde:

CT = stock de carbono en toneladas de carbono (tC); B<sub>s</sub> = biomasa seca (t).

- **Secuestro de CO<sub>2</sub>**

Para calcular el secuestro de CO<sub>2</sub> se empleó la fórmula propuesta por Vallejo (2009), Alegre (2008), Gamarra (2001) e IPCC (2003):

$$Co_2 = CT \times 3,6642$$

Donde:

CO<sub>2</sub> = dióxido de carbono secuestrado (tCO<sub>2</sub>); CT = stock de carbono (tC); 3,6642 = factor de conversión de carbono a CO<sub>2</sub>, resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono y del carbono.

- **Valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub>**

Para estimar el valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub>, se procedió a multiplicar la cantidad total de CO<sub>2</sub> secuestrado por el respectivo precio en el mercado, que tiene el carbono en un determinado lugar (IPCC, 1996).

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

Para determinar el precio del mercado del servicio por secuestro de carbono se tomó en cuenta el valor referencial dado por Sendeco<sub>2</sub> (2015), para el 27 de noviembre de 2015 que fue de US\$ 9,12/tCO<sub>2</sub>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Especies forestales de valor comercial registradas en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04

En la tabla 1 se consigna el nombre científico, el nombre común, la familia botánica y el número de árboles de las diez especies comerciales registradas en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04. Las especies comerciales con mayor valor en el mercado local son *Cedrela odorata* (S/.1,80/pt), *Cedrelinga cateniformis* y *Ceiba pentandra* (S/.0,80/pt cada una), seguidas de *Brosimum rubescens* y *Parkia igneiflora* (S/.0,50/pt cada una), luego de *Anaueria brasiliensis*, *Simarouba amara* y *Virola albidiflora* (S/.0,45/pt cada una) y, finalmente, *Apuleia leiocarpa* y *Tachigali melinonii* (S/.0,40/pt cada una).

**Tabla 1.** Especies forestales de valor comercial registradas en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

N°	Especie		Familia	Núm. de árboles
	Nombre científico	Nombre común		
1	<i>Anaueria brasiliensis</i> Kosterm.	Añuje rumo	Lauraceae	12
2	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.	Ana caspi	Fabaceae	23
3	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Palisangre	Moraceae	25
4	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Tornillo	Fabaceae	9
5	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro colorado	Meliaceae	17
6	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Lupuna	Malvaceae	17
7	<i>Parkia igneiflora</i> Ducke	Pashaco goma guayo	Fabaceae	32
8	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupa	Simaroubaceae	19
9	<i>Tachigali melinonii</i> (Harms) Zarucchi & Herend	Tangarana de altura	Fabaceae	33
10	<i>Virola albidiflora</i> Ducke	Cumala	Myristicaceae	242
			<b>Total</b>	<b>429</b>

Sin embargo, en términos de abundancia, *V. albidiflora* es la especie que aporta largamente la mayor cantidad de árboles con 242, mientras que las demás especies aportan entre 9 y 33 árboles, siendo *C. cateniformis* la especie con menor número de árboles presentes en toda la PCA 20. Esto significa que la rentabilidad del aprovechamiento en la PCA 20 se sustenta básicamente en la extracción de la madera rolliza de *V. albidiflora*.

### Biomasa total existente de las diez especies comerciales en el área de estudio

La tabla 2 contiene la estimación de la biomasa seca total contenida en cada una de las diez especies comerciales de la PCA 20, notándose que *V. albidiflora* contiene la mayor cantidad de biomasa seca total con 589,47 t, seguida muy atrás de *B. rubescens* (191,42 t), *A. leiocarpa* (182,07 t), *P. igneiflora* (181,85 t), *C. pentandra* (174,61 t), *T. melinonii* (151,42 t) y *C. odorata* (114,70 t). Los menores valores de biomasa seca total se obtuvieron en *C. cateniformis* (75,74 t), *A. brasiliensis* (74,48 t) y finalmente *S. amara* (44,52 t). La variación en la cantidad de biomasa por especie se debe a tres factores: (1) la cantidad de árboles por especie, donde *V. albidiflora* reporta 242 árboles y *C. cateniformis* solamente 9 árboles; (2) el

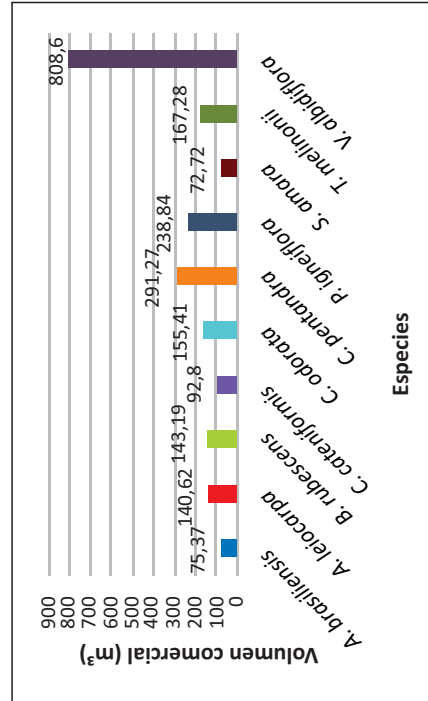
volumen maderable, traducido en las mayores áreas basales y alturas comerciales registradas por especie, tal es caso de *C. pentandra* y *C. odorata*; y (3) la densidad básica de la madera, como en caso de *B. rubescens*, *A. leiocarpa*, *A. brasiliensis*.

La cantidad de biomasa seca total de 1780,28 t resulta en 8,73 t/ha, teniendo en cuenta el área de la PCA 20 de 253 ha, valores muy bajos considerando otros resultados, tales como 56,93 t/ha en una plantación de tornillo de 27 años (Del Águila, 2013), 143,36 t/ha en un bosque de colina baja de la cuenca del Arabela en Loreto (Frías, 2014), 335,7 t/ha en el Ciefor Puerto Amendra (Espíritu et al., 2015). La baja cantidad de biomasa seca estimada en la PCA 20 se debe a que solamente se consideraron individuos de las diez especies comerciales con diámetros mínimos de corta estipulados por el PRMRFFS de Loreto que indica valores desde 41 cm para *A. brasiliensis*, *A. leiocarpa*, *B. rubescens* y *T. melinonii*; 46 cm para *S. amara* y *V. albidiflora*; 51 cm para *P. igneiflora*; 61 cm para *C. cateniformis*; 64 cm para *C. pentandra* y 65 cm para *C. odorata*; mientras que en los estudios citados se inventariaron especies con DAP  $\geq$  10 cm, consecuentemente se incluyeron mayor número de individuos por hectárea.

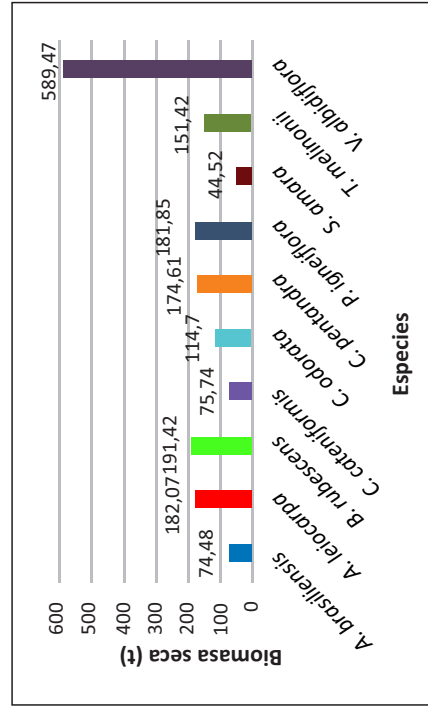
**Tabla 2.** Estimación de la biomasa total seca por cada una de las diez especies en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

Especie	Núm. de árboles	Densidad básica (kg/m <sup>3</sup> )	AB promedio (m <sup>2</sup> )	Hc promedio (m)	Vc total (m <sup>3</sup> )	Biomasa aérea total (t)	Biomasa radicular total (t)	Biomasa verde total (t)	Biomasa seca total (t)
<i>A. brasiliensis</i>	12	610	0,60	16,00	75,37	103,45	20,69	124,14	74,48
<i>A. leiocarpa</i>	23	800	0,59	16,00	140,62	252,88	50,57	303,45	182,07
<i>B. rubescens</i>	25	830	0,56	15,84	143,19	265,86	53,17	319,03	191,42
<i>C. cateniformis</i>	9	500	0,99	16,00	92,80	105,20	21,04	126,24	75,74
<i>C. odorata</i>	17	460	0,85	16,29	155,41	159,31	31,86	191,17	114,70
<i>C. pentandra</i>	17	370	1,24	20,71	291,27	242,52	48,50	291,02	174,61
<i>P. igneiflora</i>	32	470	0,73	15,88	238,84	252,57	50,51	303,09	181,85
<i>S. amara</i>	19	378	0,37	16,00	72,72	61,83	12,36	74,19	44,52
<i>T. melinonii</i>	33	560	0,49	15,88	167,28	210,30	42,06	252,36	151,42
<i>V. albidiflora</i>	242	450	0,33	15,70	808,60	818,71	163,74	982,45	589,47
<b>Total</b>				<b>15,70</b>	<b>2186,10</b>	<b>2472,63</b>	<b>494,50</b>	<b>2967,14</b>	<b>1780,28</b>

AB = área basal; Hc = altura comercial; Vc = volumen comercial.



**Figura 1.** Volumen comercial por especie en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.



**Figura 2.** Biomasa seca total por especie en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

La figura 1 muestra gráficamente los valores del volumen comercial por especie registrada en la PCA 20, notándose la gran diferencia entre *V. albidiflora* y las demás especies; asimismo, la figura 2 muestra la biomasa seca total estimada para cada especie, teniendo como base de cálculo el volumen comercial por especie.

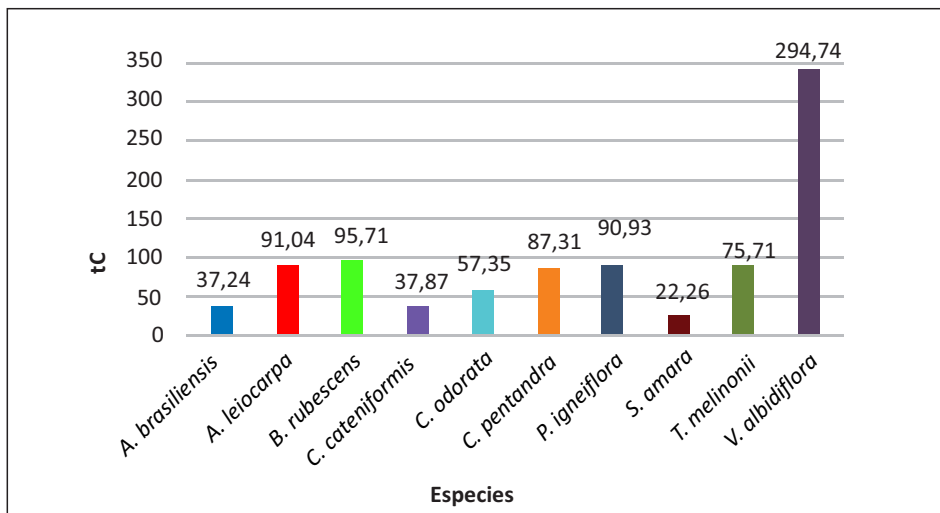
### Stock de carbono en las diez especies comerciales del área de estudio

En la tabla 3 se presentan los valores del stock

de carbono para cada una de las especies comerciales de la PCA 20. Cabe resaltar que estos valores fueron calculados sobre la base del volumen comercial obtenido para cada una de las especies; por lo tanto, siguen la tendencia observada en la estimación del volumen comercial, por lo que en la figura 3 se presenta gráficamente las diferencias en el stock de carbono entre las especies registradas, notándose claramente la gran diferencia entre el stock de carbono en *V. albidiflora* con el de las demás especies.

**Tabla 3.** Stock de carbono por especie en la PCA 20, concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

N°	Especie	Biomasa seca total (t)	Stock de carbono (tC)
1	<i>A. brasiliensis</i>	74,48	37,24
2	<i>A. leiocarpa</i>	182,07	91,04
3	<i>B. rubescens</i>	191,42	95,71
4	<i>C. cateniformis</i>	75,74	37,87
5	<i>C. odorata</i>	114,70	57,35
6	<i>C. pentandra</i>	174,61	87,31
7	<i>P. igneiflora</i>	181,85	90,93
8	<i>S. amara</i>	44,52	22,26
9	<i>T. melinonii</i>	151,42	75,71
10	<i>V. albidiflora</i>	589,47	294,74
	<b>Total</b>	<b>1780,28</b>	<b>890,16</b>



**Figura 3.** Stock de carbono por especie en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.



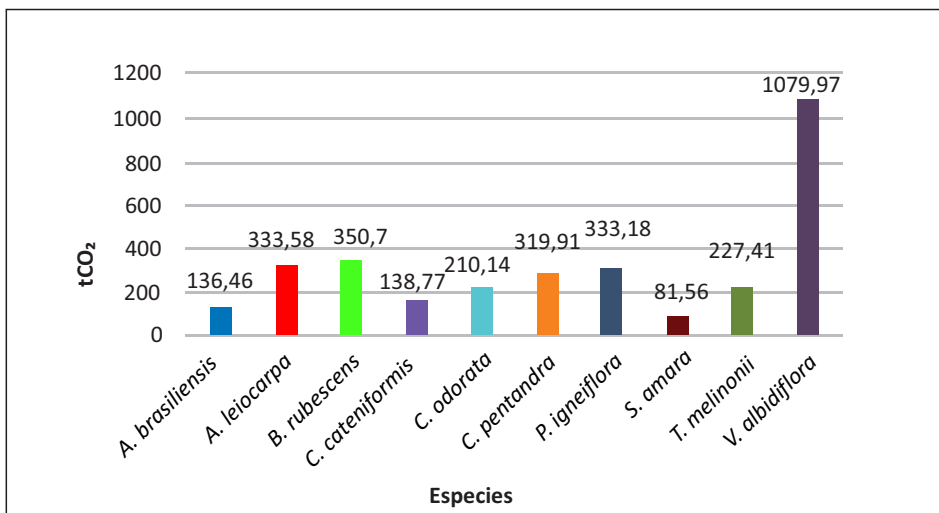
## Secuestro de CO<sub>2</sub> por las diez especies comerciales del área de estudio

En la tabla 4 se presentan los valores del servicio ambiental de secuestro de CO<sub>2</sub> para cada una de las diez especies comerciales existentes en la PCA 20, observándose que siguen la misma tendencia que el stock de carbono calculado en el ítem anterior. Es necesario precisar que este valor fue utilizado para estimar el secuestro de CO<sub>2</sub>. *V. albidiflora* es la especie que captura la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> con 1079,97

tCO<sub>2</sub>, seguida de *B. rubescens* con 350 tCO<sub>2</sub>, *A. leiocarpa* con 333,58 tCO<sub>2</sub>, *P. igneiflora* con 333,18 tCO<sub>2</sub>, *C. pentandra* con 319,91 tCO<sub>2</sub> y así sucesivamente hasta *S. amara* con 81,56 tCO<sub>2</sub>. La cantidad total de CO<sub>2</sub> secuestrado por todas las especies comerciales de la PCA 20 es de 3211,68 tCO<sub>2</sub>, considerado como un valor muy bajo si se tiene como referencia otros estudios similares (Del Águila, 2013; Frías, 2014; Espíritu *et al.*, 2015). En la figura 4 se observan gráficamente las cantidades de CO<sub>2</sub> secuestrados por las especies comerciales de la PCA 20.

**Tabla 4.** Secuestro de CO<sub>2</sub> por especie en la PCA 20, concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04

N°	Especie	Stock de carbono (tC)	Secuestro de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )
1	<i>A. brasiliensis</i>	37,24	136,46
2	<i>A. leiocarpa</i>	91,04	333,58
3	<i>B. rubescens</i>	95,71	350,70
4	<i>C. cateniformis</i>	37,87	138,77
5	<i>C. odorata</i>	57,35	210,14
6	<i>C. pentandra</i>	87,31	319,91
7	<i>P. igneiflora</i>	90,93	333,18
8	<i>S. amara</i>	22,26	81,56
9	<i>T. melinonii</i>	75,71	227,41
10	<i>V. albidiflora</i>	294,74	1079,97
	<b>Total</b>	<b>890,16</b>	<b>3211,68</b>



**Figura 4.** Secuestro de CO<sub>2</sub> por especie en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

## Valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> por las diez especies comerciales del área de estudio

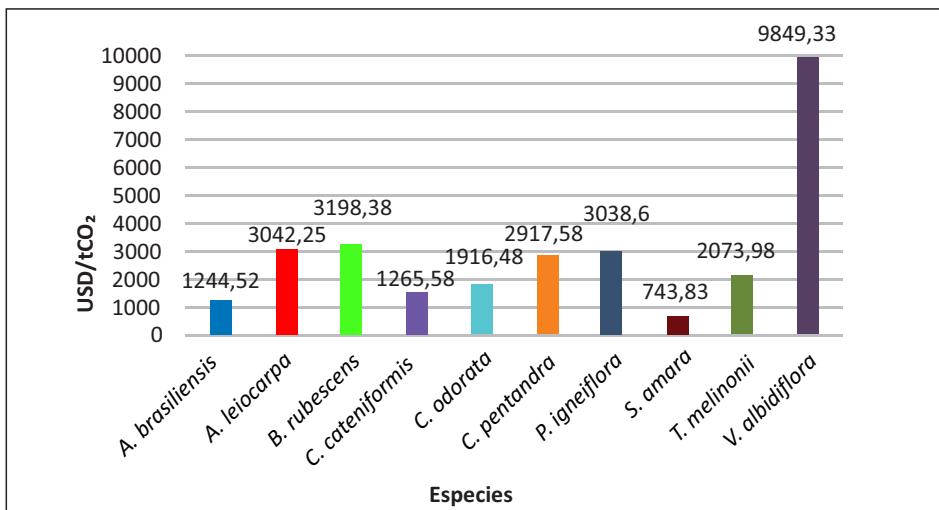
En la tabla 5 se consigna el valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> por cada una de las diez especies comerciales registradas en la PCA 20, así como el valor total registrado en toda la PCA 20. Este valor fue estimado teniendo como base la cantidad de CO<sub>2</sub> secuestrado por las especies, multiplicado por el valor referencial del precio de CO<sub>2</sub> dado por Sendeco<sub>2</sub> para el 27

de noviembre de 2015, que es de US\$ 9,12. El mayor valor económico lo obtiene *V. albidiflora* con US\$ 9849,33 y el menor valor lo obtiene *S. amara* con US\$ 743,83, mientras que el valor económico total del secuestro de CO<sub>2</sub> en toda la PCA 20 es de US\$ 29 290,52. La figura 5 resalta gráficamente la diferencia del valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> entre las diez especies comerciales, observándose la gran diferencia que existe entre *V. albidiflora* y las demás especies.

**Tabla 5.** Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO<sub>2</sub> por especie en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

N°	Especie	Secuestro de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )	Precio CO <sub>2</sub> (US\$/tCO <sub>2</sub> )*	Valor económico del secuestro de CO <sub>2</sub> (US\$)
1	<i>A. brasiliensis</i>	136,46	9,12	1 244,52
2	<i>A. leiocarpa</i>	333,58	9,12	3 042,25
3	<i>B. rubescens</i>	350,70	9,12	3 198,38
4	<i>C. cateniformis</i>	138,77	9,12	1 265,58
5	<i>C. odorata</i>	210,14	9,12	1 916,48
6	<i>C. pentandra</i>	319,91	9,12	2 917,58
7	<i>P. igneiflora</i>	333,18	9,12	3 038,60
8	<i>S. amara</i>	81,56	9,12	743,83
9	<i>T. melinonii</i>	227,41	9,12	2 073,98
10	<i>V. albidiflora</i>	1079,97	9,12	9 849,33
	<b>Total</b>	<b>3211,68</b>	<b>9,12</b>	<b>29 290,52</b>

\*Precio CO<sub>2</sub> al 27 de noviembre de 2015 (Sendeco<sub>2</sub>, 2015).



**Figura 5.** Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO<sub>2</sub> por especie en la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

**Tabla 6.** Ingreso por venta de madera rolliza de las diez especies comerciales de la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

Especie	Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	Volumen comercial (pt)	Precio de la madera rolliza (S/./pt)	Ingresos por venta (S/.)	Ingresos por venta (US\$)*
<i>A. brasiliensis</i>	75,37	16 581,40	0,45	7 461,63	2 238,49
<i>A. leiocarpa</i>	140,62	30 936,40	0,40	12 374,56	3 712,37
<i>B. rubescens</i>	143,19	31 501,80	0,50	15 750,90	4 725,27
<i>C. cateniformis</i>	92,80	20 416,00	0,80	16 332,80	4 899,84
<i>C. odorata</i>	155,41	34 190,20	1,80	61 542,36	18 462,71
<i>C. pentandra</i>	291,27	64 079,40	0,80	51 263,52	15 379,06
<i>P. igneiflora</i>	238,84	52 544,80	0,50	26 272,40	7 881,72
<i>S. amara</i>	72,72	15 998,40	0,45	7 199,28	2 159,78
<i>T. melinonii</i>	167,28	36 801,60	0,40	14 720,64	4 416,19
<i>V. albidiflora</i>	808,60	177 892,00	0,45	80 051,40	24 015,42
<b>Total</b>	<b>2186,10</b>	<b>480 942,00</b>		<b>292 969,49</b>	<b>87 890,85</b>

\* USD 1 = S/. 3,33.

### Valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> versus el ingreso por venta de madera rolliza de las diez especies comerciales del área de estudio

En la tabla 6 se consigna el ingreso por la venta de madera rolliza para cada una de las diez especies comerciales de la PCA 20, teniendo como referencia el precio por pie tablar establecido por el PRMRFFS de Loreto. El ingreso total por la venta de la madera rolliza para toda la PCA 20 es de US\$ 87 890,85, donde el mayor ingreso se obtiene con *V. albidiflora* (US\$ 24 015,42) y el menor ingreso con *S. amara* (US\$ 2159,78). Para obtener el beneficio neto, se le resta el total de egresos ocasionados por el trabajo de extracción de la madera rolliza en el año operativo que es de US\$ 76 039,84, resultando en US\$ 11 851,01 el beneficio neto (Upiachihua, 2014).

En la tabla 7 se presenta la comparación entre los ingresos obtenidos por la venta de madera rolliza y el valor económico del servicio

de secuestro de CO<sub>2</sub> de las diez especies comerciales en la PCA 20 de la concesión en estudio. Se nota que el ingreso por venta supera en US\$ 58 600,33 al valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub>. Aparentemente, existe más beneficio económico al vender las diez especies como madera rolliza, pero es necesario hacer notar que los trabajos de extracción forestal acarrearán gastos operativos que disminuyen el beneficio económico y en este caso solo se obtiene un beneficio neto de US\$ 11 851,01; aún más, al aprovechar los árboles de las diez especies, estos desaparecen del bosque por lo que este beneficio es por solamente una vez y si se desea aprovechar nuevamente la PCA 20 se tiene que esperar que los individuos remanentes alcancen los diámetros mínimos de corta y planificar de nuevo los trabajos de extracción. Entonces, al comparar el valor del secuestro de CO<sub>2</sub> de US\$ 29 290,52 con el beneficio neto de la venta de madera rolliza de US\$ 11 851,01, se tiene una diferencia a favor del secuestro de CO<sub>2</sub> de US\$ 17 439,51 (tabla 8).

**Tabla 7.** Comparación entre el ingreso por la venta de madera rolliza y el valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> por las diez especies comerciales de la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

Especies	Ingresos por venta de madera rolliza (US\$)	Valor económico del secuestro del CO <sub>2</sub> (US\$)
<i>A. brasiliensis</i>	2 238,49	1 244,52
<i>A. leiocarpa</i>	3 712,37	3 042,25
<i>B. rubescens</i>	4 725,27	3 198,38
<i>C. cateniformis</i>	4 899,84	1 265,58
<i>C. odorata</i>	18 462,71	1 916,48
<i>C. pentandra</i>	15 379,06	2 917,58
<i>P. igneiflora</i>	7 881,72	3 038,60
<i>S. amara</i>	2 159,78	743,83
<i>T. melinonii</i>	4 416,19	2 073,98
<i>V. albidiflora</i>	24 015,42	9 849,33
<b>Total</b>	<b>87 890,85</b>	<b>29 290,52</b>

**Tabla 8.** Comparación entre el beneficio neto por la venta de madera rolliza y el beneficio neto del secuestro de CO<sub>2</sub> por las diez especies comerciales de la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04.

Flujo de caja	Venta de madera rolliza (US\$)	Valor económico del secuestro de CO <sub>2</sub> (US\$)
Total ingresos	87 890,85	29 290,52
Total egresos	76 039,84	0,00
Beneficio neto	11 851,01	29 290,52
<b>Saldo a favor: 29 290,52 - 11 851,01</b>		<b>17 439,51</b>

Más aún, al utilizar el bosque de la PCA 20 como reservorio de carbono y secuestrador de CO<sub>2</sub>, no se corta ningún árbol, permaneciendo el bosque intacto y en constante dinamismo, contribuyendo año tras año al almacenamiento de carbono y al secuestro de CO<sub>2</sub> y lo que es mejor, manteniendo siempre su valor económico como secuestrador de CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

En la PCA 20 de la concesión forestal 16-IQU/C-J-060-04 se registraron diez especies comerciales; *V. albidiflora* presentó 242 individuos, *C. odorata* 17 individuos, *C. cateniformis* 9

individuos, *C. pentandra* 17 individuos y *S. amara* 19 individuos. La biomasa seca total contenida en los árboles de las diez especies comerciales es de 1780,28 t, donde *V. albidiflora* aporta la mayor biomasa con 589,47 t y *S. amara* la menor cantidad con 44,52 t; cantidades influenciadas por el número de individuos por especie, el volumen comercial por especie y la densidad básica de la especie. El stock de carbono total en los árboles de las diez especies comerciales es de 890,16 tC; *V. albidiflora* contiene el mayor stock de carbono con 294,74 tC y *S. amara* el menor stock de carbono con 22,26 tC. El secuestro de CO<sub>2</sub> por los árboles de las diez especies comerciales es de 3211,68

tCO<sub>2</sub>; *V. albidiflora* secuestra la mayor cantidad con 1079,97 tCO<sub>2</sub>, mientras que *S. amara* secuestra la menor cantidad con 81,56 tCO<sub>2</sub>. El valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> en la PCA 20 es de US\$ 29 290,52; *V. albidiflora* aporta el mayor valor económico con US\$ 9849,33 mientras que *S. amara* aporta el menor valor económico con US\$ 743,83. Al comparar el beneficio neto por el aprovechamiento de la madera de las diez especies comerciales de la PCA 20 con el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO<sub>2</sub>, existe una diferencia a favor del servicio ambiental de US\$ 17 439,51.

## AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a don Jorge Upiachihua Guerra, representante legal de la concesión forestal con fines de aprovechamiento 16-IQU/C-J-060-04, por permitir el uso de sus datos de campo e inventario. También agradecemos a Manuel Saboya del Castillo, consultor forestal, gerente general de COFOR SERGEN, por permitir el uso de la base de datos y las instalaciones de su oficina para la tabulación de los datos y elaboración del informe final.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre J. 2008. Manejo de sistemas agroforestales para la recuperación de los suelos degradados de la Amazonía y generación de servicios medio ambientales. En: XI Congreso Nacional y IV Internacional de la Ciencia del Suelo. "Suelos: Agricultura Sustentable, Biodiversidad y Agroforestería para el Desarrollo Rural". Tarapoto, Perú. Pp. 34-50.

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.

Azqueta D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Editorial McGraw Hill. Bogotá.

Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. A forest resources assessment publication. FAO. Roma. *Forestry Paper* No. 134. 58 pp.

Brown S. 2002. Measuring carbon in forest: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116:363-372.

Castellanos B. 1993. Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en rodales coetáneos de *Pinus patula*. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 75 pp.

Chambi PP. 2001. Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa de los ríos Inambari y Madre de Dios. IICFOE. Tacna, Perú. Disponible en: [www.iicfoe.com.pe](http://www.iicfoe.com.pe)

Colter B, Will R, Barron-Gafford G, Teskey R, Shiver B. 2003. Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different planting densities. *For Sci.* 49(2): 224-234.

Dauber E, Terán J, Guzmán R. 2008. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista forestal iberoamericana* 1(1):1-10.

Delaney M, Brown S, Lugo AE. 1998. The quantity and turnover of dead wood in permanent forest plots in six life zones of Venezuela. *Biotropica* 30: 2-11.

Del Águila C. 2013. Secuestro de CO<sub>2</sub> y almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (tornillo) en

- tres edades diferentes en el Ciefor Puerto Almendra, río Nanay, Iquitos, Perú. Tesis Ing. Ecología de Bosques Tropicales. Facultad de Ciencias Forestales, UNAP, Iquitos. 67 pp.
- Espíritu JM, Quintana S, Reátegui R, Angulo PA, Macedo LA, Donayre MR, Panduro RM, Arellano J, Cabudivo CE. 2015. Valoración económica del secuestro de CO<sub>2</sub> y su stock de carbono en las plantaciones del Ciefor Puerto Almendra, Iquitos, Perú. IIFF-FCF de la UNAP. Iquitos. 19 pp.
- FAO. 1998. Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales. Capítulo 5, volumen y biomasa. Forest Resources Assessment WP 2. Roma. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/007/ae218s/AE218S06.htm#P368\\_42667](http://www.fao.org/docrep/007/ae218s/AE218S06.htm#P368_42667).
- Figuerola J. 2005. Valoración de los productos no maderables en la Reserva Forestal Imataca, bajo el enfoque de la economía ecológica. Caso de estudio. Alto del río Botanamo, Estado Bolívar, Venezuela. Departamento de Economía, Estadísticas Económicas y Econométricas. Tesis doctoral. Tenerife, España.
- Frías J. 2014. Biomasa total y stock de carbono en tres tipos de bosque en la cuenca media del río Arabela, Loreto, Perú. Tesis Ing. forestal. Facultad de Ciencias Forestales, UNAP. Iquitos. 115 pp.
- Gamarra J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus 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.
- Garcidueñas M. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 243 pp.
- Higuchi N, Carvalho JA. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Anais do seminário Emissão por sequestro de CO<sub>2</sub> uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro. Pp. 125-153.
- Inrena. 2003. Apoyo a la implementación del nuevo régimen a través de la capacitación a asociación de productores forestales concesionarios en la Amazonía peruana. Inrena/Cifor/Fondebosque, Pucallpa.
- IPCC. 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of The IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. México City.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), IPCC. 628 pp.
- Morrissey A, Justus J. 1998. Global climate change. Committee for the National Institute for the Environment, Washington D. C.
- Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (PDF). Consultado el 23 de octubre de 2015.
- Ordóñez A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología, Semarnap. México. 32 pp.
- Ramírez OA, Finnegan B, Rodríguez L, Ortiz R. 1994. Evaluación económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono: El caso de un bosque húmedo tropical bajo

- diferentes estrategias del manejo sostenible. En: Análisis económico de impactos ambientales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (Catie). Editado por Dixon JA, Fallon Scura L, Carpenter RA y Sherman PB. Edición Latinoamericana. Turrialba, Costa Rica.
- Satoo T, Medgwick HA. 1982. Forest biomass. The Hague: Martinus Nijhoff. Dr. W. Junk Publishers. 152 pp.
- Schroeder P, Brown S, Mo J, Birdsey R, Cieszewski C. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forest of the United States using inventory data. *For. Sci* 43(3): 424-434.
- Schulze ED, Wirt C, Heimann M. 2000. Managing Forest after Kyoto. *Science* 289 (5487): 2058-2059.
- Segura M. 1999. Valoración del servicio y almacenamiento de carbono en bosques privados en áreas de conservación cordillera volcánica central de Costa Rica. Catie. Turrialba, Costa Rica. 132 pp.
- Sendeco<sub>2</sub>. 2015. Sistema europeo de negociación de CO<sub>2</sub>. Código de localización Reuters: Sendeco<sub>2</sub>. Disponible en: [www.sendeco2.com](http://www.sendeco2.com); [info@sendeco2.com](mailto:info@sendeco2.com)
- Upiachihua J. 2014. Plan Operativo Anual (POA) n.º 10 para la concesión con fines maderables 16-IQU/C-J-060-04. Mariscal Ramón Castilla, Loreto. 59 pp.
- Vallejo A. 2009. Cambio climático, bosques y uso de la tierra. Curso Formulación de Proyectos MDL Forestal y Bioenergía. Carbón Decisiones. Buenos Aires, Argentina, 16-20 de febrero. 29 pp.