

# Comparación de tres ecuaciones alométricas en la estimación de la biomasa arbórea y la valoración económica del secuestro de CO<sub>2</sub> en la parcela 8 del arboretum El Huayo del Ciefor Puerto Almendra, Loreto

## Comparing three allometric equations in the tree biomass estimation and the CO<sub>2</sub> sequestration economic valuation in the plot 8 of the arboretum El Huayo of the Ciefor Puerto Almendra, Loreto

Jorge J. Espíritu A.<sup>1</sup>, Heiter Valderrama Freyre<sup>2</sup> y Jorge M. Espíritu P.<sup>2</sup>

Recibido: junio 2016  
Aceptado: junio 2016

### RESUMEN

El estudio se realizó en la parcela 8 del arboretum El Huayo del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (Ciefor) Puerto Almendra, en Loreto, Perú. El objetivo fue determinar la ecuación alométrica que mejor se ajuste a la estimación de la biomasa arbórea y a partir de allí valorar económicamente el servicio de secuestro de CO<sub>2</sub>. Se registraron un total de 427 individuos incluidos en 81 especies, 60 géneros y 28 familias botánicas, siendo Lecythidaceae la familia más representativa con un total de 115 individuos, seguido de Fabaceae con 66 individuos. La ecuación alométrica que mejor se ajustó para la estimación de la biomasa arbórea por cada individuo arbóreo fue la ecuación sugerida por Higuchi y Carvalho (1994), con R<sup>2</sup> de 0,87 y SEE de 12,28%. El valor económico total del servicio de secuestro de CO<sub>2</sub> en la parcela 8 del arboretum El Huayo del Ciefor Puerto Almendra es de USD 1619,98/tCO<sub>2</sub>, siendo Fabaceae, con 9 especies y 66 individuos, la familia que mayor valor económico aporta con USD 422,97/tCO<sub>2</sub>.

**Palabras claves:** ecuaciones alométricas, biomasa arbórea, secuestro de CO<sub>2</sub>, valor económico, Loreto.

### ABSTRACT

The study was carried out in the plot 8 of the arboretum El Huayo of the Ciefor Puerto Almendra, Loreto, Perú. The objective was to determine the allometric equation that best fits to the estimation of tree biomass and based on it, to economically value the CO<sub>2</sub> sequestration service. A total of 427 tree individuals included in 81 species, 60 genera and 28 botanical families were registered; Lecythidaceae family with 115 individuals was the most representative, followed by Fabaceae family with 66 individuals. Results show that the Higuchi and Carvalho equation (1994) was the best allometric equation for estimating tree biomass (R<sup>2</sup> = 0,87; SEE = 12,28%). The total economic value of CO<sub>2</sub> sequestration service in the plot 8 was USD 1619,98/tCO<sub>2</sub>, being the Fabaceae family, with 9 species and 66 individuals, the family with the highest economic value of USD 422,97/tCO<sub>2</sub>.

**Key words:** allometric equations, biomass, CO<sub>2</sub> sequestration, economic valuation, Loreto.

### INTRODUCCIÓN

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial es el cambio climático derivado del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que provoca el incremento de la temperatura global de la

atmósfera. Se debe a dos causas principales que son: primera, el consumo de combustibles fósiles por las naciones industrializadas (Brown y Lugo, 1982), como causa principal; y segunda, el cambio de uso del suelo, anualmente se deforestan aproximadamente 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación de

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

<sup>2</sup> Departamento Académico de Industrias y Productos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. UNAP. Iquitos, Loreto, Perú.

cerca de 1,8 billones de toneladas de carbono, que corresponde del total de las emisiones antropogénicas (Zamora, 2003). El incremento en la atmósfera de los GEI y el consecuente cambio climático global, presenta efectos importantes en este siglo XXI, el cual está generado por la emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y en menor cantidad por algunos otros gases originados por los procesos industriales (Seppänen, 2002).

Solamente la generación de un mercado que refleje lo que cuesta producir y mantener los servicios ambientales y la utilidad que estos tienen, llevará a no destruirlos, como si solo tuviese en valor de mercado dentro del consumo como insumos del sistema de producción (Ulloa, 2010). Un servicio ambiental de gran relevancia en el orden global que brinda la vegetación del bosque consiste en producir oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis, por medio del cual el  $\text{CO}_2$  que absorben las plantas verdes es fijado como biomasa orgánica. A pesar que este servicio beneficia a la comunidad local, nacional e internacional, su pago es generalmente más aceptado por países industrializados (Motto, 2000).

La biomasa es la masa de los organismos vivos por unidad de superficie, se divide en biomasa aérea y biomasa subterránea o radicular (Ramírez, 2011). La biomasa aérea total es el peso seco de material vegetal de los árboles con DAP > 10 cm, incluyendo fuste, corteza, ramas y hojas. El 50% de la madera secada en estufa es carbono (Ramírez, 2011). Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: directo e indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente. Para la determinación indirecta se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de esta y se pesan en el laboratorio para calcular los

factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica. Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho, la altura comercial y total, el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Fonseca *et al.*, 2009).

Una ecuación alométrica es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables. Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa (generalmente en peso seco) de los árboles y sus datos dimensionales (ej. altura, diámetro) (Rügnitz *et al.*, 2009). Las ecuaciones de estimación de biomasa (o alométricas) son el procedimiento más recomendado para estimar la biomasa en bosques tropicales (Sierra *et al.*, 2003). Este procedimiento consiste en relacionar estas variables en una regresión lineal bajo escalas logarítmicas, lo cual simplifica los cálculos e incrementa la validación estadística al homogeneizar la varianza sobre el rango de los datos; estas ecuaciones pueden ser construidas usando como mínimo una muestra representativa de 30 árboles (MacDiken, 1997). Para estimar la biomasa se usan diferentes tipos de modelos de regresión y combinación de variables. En general, y así se demuestra en muchas investigaciones, el DAP es la variable que mejor se correlaciona y predice la biomasa. Además, el DAP es una variable fácil de medir y que se registra en la mayoría de los inventarios forestales (Sanquetta *et al.*, 2008).

Los flujos y *stock* de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, que se reincorporarán al ciclo por

descomposición y/o quema de la biomasa forestal (Zamora, 2003). Cuando se cuantifica el *stock* de un bosque, se muestrea: a) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; b) la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y c) el carbono en la materia orgánica del suelo. Por lo que debemos recordar que podemos estimar la cantidad de carbono de un componente del bosque determinando su peso seco, donde existe una pequeña variación en la relación entre el peso seco y la cantidad de carbono de las diferentes especies tropicales. Sin embargo, está aceptado asumir que el 50% del peso seco es carbono (Honorio y Baker, 2010).

Para crecer, los árboles absorben CO<sub>2</sub> de la atmósfera y junto con luz solar, nutrientes y agua producen madera. De acuerdo con el Laboratorio de Productos Forestales de la USDA, las maderas contienen entre 47% y 53% de carbono (Fanarena XXI, 1997). Este carbono secuestrado en el árbol permanece como elemento integral de la madera hasta que el árbol muera y se pudra. Sin embargo, si los árboles son cosechados y convertidos en madera para construcciones, muebles y otros usos, el carbono permanece almacenado en tales productos hasta que la madera se pudra y se libere de nuevo el CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La valoración económica de los servicios ambientales, especialmente del almacenamiento de carbono, juega un papel muy importante porque es una herramienta que incentiva a proteger o mantener nuestros bosques, generando así un beneficio económico en los diferentes países, trayendo consigo resultados útiles para realizar propuestas de uso sostenible, contribuyendo en la limpieza ambiental (disminución del CO<sub>2</sub> atmosférico). La venta de carbono varía de acuerdo con el precio o la demanda que requiere este servicio ambiental (Motto, 2000). Valorar económicamente el medio ambiente significa poder contar con un

indicador de su importancia que permita medir las expectativas de beneficios y costos derivados de algunas acciones tales como: uso de un activo ambiental, realización de una mejora ambiental, generación de un daño ambiental, entre otros (Azqueta, 1994). La valoración económica se ha visto como un instrumento que permite poner en evidencia los diferentes usos de los recursos biológicos y la biodiversidad. Si se muestra que la conservación de la biodiversidad puede tener un valor económico positivo mayor que las actividades que la amenazan, la información que se pueda generar sobre beneficios ecológicos, culturales, estéticos y económicos apoyará las acciones para protegerla y conservarla productivamente, convirtiéndose en una herramienta importante para influir en la toma de decisiones gubernamentales y sociales, colectivas e individuales (Motto, 2000).

Una de las mayores incertidumbres frente a este tipo de proyecto forestal es la valoración del secuestro del CO<sub>2</sub>, pues hasta el momento no existe un mercado consolidado que determine los precios de la fijación de C, ni una regla clara frente a los métodos y formas de valorar este beneficio ambiental de los bosques (Gutiérrez y Lopera, 2001). Actualmente, el costo promedio de captura de carbono en Chiapas, México, se estima en USD 35 por tonelada de carbono (Ecosur, 2000), mientras reducir una tonelada de CO<sub>2</sub> en un país industrializado cuesta entre 80 dólares y 120 dólares; para un país en vía de desarrollo como es el caso de Costa Rica fijar una tonelada de ese gas mediante la conservación o reforestación de su bosque se estimó aproximadamente en 10 dólares en 1998 (Chambi, 2001).

Una de las grandes alternativas económicas viables al compromiso asumido por países, empresas e individuos, de disminuir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero (GEI), es la prestación de servicio

conocido como “el mercado de carbono”, que representa una oportunidad de generar recursos adicionales para el desarrollo del país. El mercado de carbono o de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero surge ante la necesidad de tomar medidas por la evidencia de que la actividad humana está influenciando en el proceso de calentamiento climático global acelerado debido a la concentración de gases de efecto invernadero, con los consecuentes impactos negativos sobre la salud de los seres humanos, su seguridad alimentaria, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales y de infraestructura física (Eguren, 2004).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Lugar de estudio

El inventario forestal se llevó a cabo en el año 2015, en la parcela 8 del arboretum El Huayo del Ciefor Puerto Almendra, de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. El Ciefor Puerto Almendra se encuentra ubicado en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto (680729 E, 9576316 N; a una altitud promedio de 122 msnm). Estando cerca de la línea ecuatorial, el área de estudio presenta un clima tropical lluvioso con una temperatura promedio anual de 25,9 °C (máx. 32,2 °C; mín. 22,3 °C); una precipitación total anual de 4101,89 mm (Senamhi, 2014), siendo muy húmedo en los meses de enero a mayo. El área del Ciefor Puerto Almendra se localiza dentro de la zona de vida denominada bosque húmedo tropical (bh-T) (Tosi, 1960; Inrena, 1995). El tipo de suelo de la zona pertenece a la serie arenosa parda muy profunda, de textura medianamente gruesa friable, excesivamente arenosa y de rápida permeabilidad; presenta un pH de 5,0 a 5,3 (fuertemente ácido); la capa superficial del suelo contiene una dotación orgánica menor al

2% (fósforo <5 ppm y potasio = 63,31 kg/ha); en general, son suelos de baja fertilidad, edáficos deficitarios (Torres, 1999). La zona de Puerto Almendra presenta tres unidades fisiográficas definidas: de terraza imperfectamente drenada, con ondulaciones periódicas; terrazas muy pobremente drenadas; y terrazas onduladas (Onern, 1975 citado por Torres, 1999).

### Método

**Fase de precampo:** se planificó el trabajo de campo, para lo cual utilizando mapas preliminares de la zona de estudio, se ubicó la parcela 8 del arboretum y se acopiaron los materiales a utilizar en las actividades de campo. Asimismo, se realizaron las coordinaciones correspondientes con la dirección del Ciefor Puerto Almendra a fin de obtener el permiso para acceder al área de estudio.

**Fase de campo:** se ubicó, reconoció y delimitó la parcela 8 del arboretum El Huayo. Teniendo en cuenta que el área total de dicha parcela es 1,2 ha, se consideró evaluar solamente 1 ha, debido a que el área restante se encontraba fuertemente intervenida y no se notó presencia de especies con el diámetro requerido. Luego, se realizó el inventario al 100% de todas las especies arbóreas con DAP  $\geq$  10 cm existentes en la parcela, utilizando pintura al agua para la identificación de cada individuo inventariado, registrando el nombre común, DAP y altura total. También, se recolectaron muestras botánicas de las especies encontradas, las cuales fueron llevadas al Herbarium Amazonense para, mediante comparación con muestras botánicas, determinar el nombre científico y la familia correspondiente. Con el fin de facilitar el trabajo de campo, se contó con una brigada de inventario, que consistió en un matero, un asistente que midió el DAP, la altura total y georreferenció cada individuo, y un jefe de brigada que registró todos los datos en un formato de toma de datos adecuadamente

diseñado para el estudio. Para estimar la altura de cada árbol se utilizó un clinómetro y una wincha para medir el distanciamiento entre el operador y el árbol.

**Fase de poscampo:** después de obtener los datos necesarios dentro de la fase de campo, se procedió con la organización y digitalización de los mismos; posteriormente, se efectuaron los siguientes cálculos:

- **Cálculo de la altura:** para obtener la altura de cada individuo inventariado se utilizó la siguiente fórmula:

$$h = L_3/20 \times d + \text{Hop}$$

Donde: h = altura total (m); L<sub>3</sub> = lectura en % del clinómetro; d = distanciamiento entre la altura del operador y el árbol (m); Hop = altura del operador (1,58 m).

- **Obtención de la densidad básica:** los valores de las densidades básicas de la madera de las especies registradas en el inventario fueron extraídos de la base de datos de densidades a nivel mundial (Zanne *et al.*, 2009).
- **Cálculo de la biomasa aérea:** para el cálculo de la biomasa aérea se utilizaron las siguientes ecuaciones alométricas:

- **Ecuación alométrica sugerida por Brown *et al.* (1989)**

$$Bat = e^{(-2,4090 + 0,9544 \ln(DAP^2 h \delta))}$$

Donde: Bat = biomasa aérea total (kg); e = base del logaritmo natural (2,718271); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); h = altura total del árbol (m); δ = densidad básica de la madera (g/cm<sup>3</sup> o t/m<sup>3</sup>).

- **Ecuación alométrica sugerida por Higuchi y Carvalho (1994)**

$$Bat = a \times DAP^b h^c$$

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

- **Ecuación alométrica sugerida por Chave *et al.* (2005)**

$$Bat = \exp(-2,977 + \ln(\delta \times DAP^2 \times h))$$

Donde: Bat = biomasa aérea total (kg); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); δ = densidad básica de la madera (g/cm<sup>3</sup>); h = altura total del árbol (m).

Una vez determinada la ecuación alométrica con mejor ajuste, esta se utilizó para estimar la biomasa aérea de todos los árboles con DAP ≥ 10 cm existentes en la parcela 8 del arboretum El Huayo. Este resultado se utilizó para efectuar los cálculos siguientes:

- **Biomasa radicular:** para este cálculo se tuvo en cuenta que la biomasa radicular es equivalente al 20% del peso de la biomasa aérea (MacDicken, 1997).

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

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

- **Biomasa verde total:** se procedió a calcular el peso verde de la biomasa total a partir de la suma de la biomasa aérea y la biomasa radicular.

$$Bvt = Ba + Br$$

Donde: Bvt = biomasa verde total (kg); Ba = biomasa aérea (kg); Br = biomasa radicular (kg).

▫ **Cálculo de la biomasa seca total:**

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

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

- **Stock de carbono:** la biomasa seca total se multiplicó por 0,5, teniendo en cuenta que la materia seca contiene en promedio un 50% de carbono almacenado; para ello se utilizó la siguiente fórmula (IPCC, 2003):

$$C = B_{st} \times 0,5$$

Donde: C = stock de carbono, en toneladas de carbono (tC); B<sub>st</sub> = biomasa seca total, en tonelada (t).

- **Secuestro de CO<sub>2</sub>:** para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> secuestrado se procedió a multiplicar el stock de carbono expresado en toneladas por el factor *kr* (IPCC, 2003).

$$CO_2 = C \times kr$$

Donde: CO<sub>2</sub> = dióxido de carbono secuestrado, en toneladas de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>); C = stock de carbono (tC); *kr* = 44/12 = 3,6663 (cociente del peso molecular del CO<sub>2</sub> entre el peso atómico del carbono); peso del CO<sub>2</sub> = C + 2O = 43,999915; peso atómico del carbono = 12,00115; peso atómico del oxígeno = 15,9994 x 2 = 31,9988.

- **Valor económico del CO<sub>2</sub> secuestrado:** para calcular el valor económico del CO<sub>2</sub> secuestrado se procedió a multiplicar la cantidad total de dióxido de carbono secuestrado con el precio que tiene el CO<sub>2</sub> en el mercado de carbono en un determinado lugar (IPCC, 2003).

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

Para determinar el precio del mercado del servicio de secuestro de dióxido de carbono, se tuvo en cuenta el valor referencial dado por la Bolsa Española de Derechos de Emisiones de Dióxido de Carbono - Sendeco<sub>2</sub>, siendo el precio a la fecha 10 de mayo de 2016: € 5,88 tCO<sub>2</sub>, que equivale a USD 6,70 tCO<sub>2</sub> (Sendeco<sub>2</sub>, 2016).

## RESULTADOS

### Ecuaciones alométricas

En la tabla 1 se muestra que la ecuación alométrica que mejor se ajustó a la estimación de la biomasa aérea por cada individuo arbóreo, fue la ecuación sugerida por Higuchi y Carvalho (1994), con un mayor coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 0,87 y con un menor error estándar estimado (SEE) de 12,28%. Esta ecuación solamente utiliza el DAP y la altura total del árbol. Mientras que las ecuaciones de Brown *et al.* (1989) y Chave *et al.* (2005), presentaron menores R<sup>2</sup> y mayores SEE y utilizan además del DAP y la altura total del árbol, la densidad básica de la madera, parámetro que varía entre las especies.

**Tabla 1.** Valores de R<sup>2</sup> y SEE.

Ecuaciones alométricas	Biomasa aérea total (t/ha)	Parámetros estimados del modelo de regresión lineal múltiple			R <sup>2</sup>	SEE (%)	
		Constante (a)	DAP (bx <sub>1</sub> )	Altura total (cx <sub>2</sub> )			Densidad (dx <sub>3</sub> )
Brown <i>et al.</i> (1989)	194,85	-994,69	49,74	-11,51	579,15	0,84	15,90
Higuchi y Carvalho (1994)	183,30	-813,02	38,92	24,07	-	0,87	12,28
Chave <i>et al.</i> (2005)	172,93	-914,70	47,10	-14,32	528,80	0,82	15,95

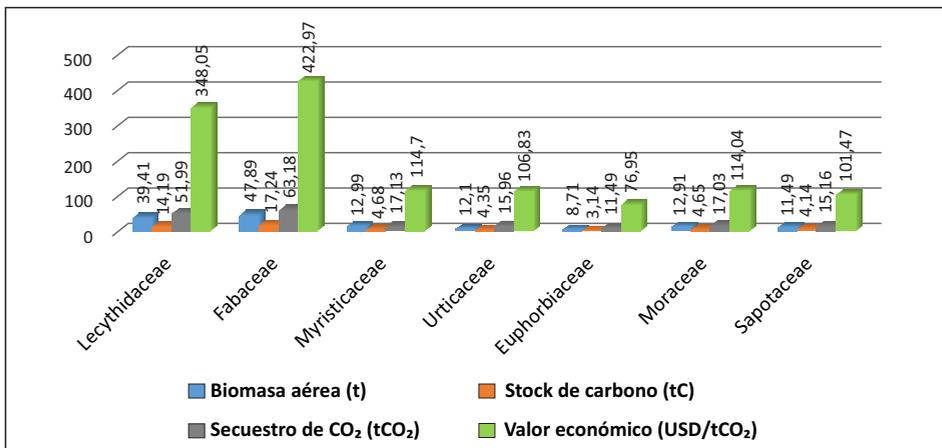
## Biomasa aérea, carbono almacenado, CO<sub>2</sub> secuestrado y valor económico

En la tabla 2 se muestran los valores de la biomasa aérea, carbono almacenado, CO<sub>2</sub> secuestrado y el valor económico de las siete familias más representativas en la parcela 8 del arboretum El Huayo del Ciefor Puerto Almendra. Estos valores están directamente relacionados entre sí; es decir, a mayor biomasa, mayor carbono almacenado, mayor secuestro de CO<sub>2</sub> y mayor valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub>, y viceversa. En la tabla 2 y la figura 1, se observa que la biomasa total encontrada en los individuos arbóreos de las especies forestales de la parcela 8 del

arboretum es de 183,30 t, de las cuales 145,50 t se encontraron en las siete especies más representativas del arboretum; siendo la familia Fabaceae, con 9 especies y 66 individuos, la que presenta los mayores valores, seguido de la familia Lecythidaceae, con 8 especies y 115 individuos. Consecuentemente, el carbono almacenado total fue de 65,99 tC, el CO<sub>2</sub> secuestrado fue de 241,79 tCO<sub>2</sub> y el valor económico el servicio de secuestro de CO<sub>2</sub> ofrecido por las especies forestales de la parcela 8 del arboretum es de USD 1619,98/tCO<sub>2</sub>. De estos totales, 52,39 tC, 191,94 tCO<sub>2</sub> y USD 1285,01/tCO<sub>2</sub>, le corresponden al conjunto de las siete especies más representativas de la parcela 8 del arboretum.

**Tabla 2.** Biomasa aérea, carbono almacenado, CO<sub>2</sub> secuestrado y valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> de las siete familias más representativas de la parcela 8 del arboretum.

N°	Familia	Nro. de individuos	Biomasa aérea (t)	Carbono almacenado (tC)	Secuestro de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )	Valor económico (USD/tCO <sub>2</sub> )
1	Lecythidaceae	115	39,41	14,19	51,99	348,05
2	Fabaceae	66	47,89	17,24	63,18	422,97
3	Myristicaceae	43	12,99	4,68	17,13	114,70
4	Urticaceae	35	12,10	4,35	15,96	106,83
5	Euphorbiaceae	32	8,71	3,14	11,49	76,95
6	Moraceae	29	12,91	4,65	17,03	114,04
7	Sapotaceae	20	11,49	4,14	15,16	101,47
	<b>Subtotal</b>	<b>340</b>	<b>145,50</b>	<b>52,39</b>	<b>191,94</b>	<b>1285,01</b>
	<b>Total</b>	<b>427</b>	<b>183,30</b>	<b>65,99</b>	<b>241,79</b>	<b>1619,98</b>



**Figura 1.** Biomasa aérea, carbono almacenado, CO<sub>2</sub> secuestrado y valor económico del secuestro de CO<sub>2</sub> de las siete familias más representativas de la parcela 8 del arboretum.

## DISCUSIÓN

En el estudio se determinó que la ecuación alométrica que mejor se ajustó a la estimación de la biomasa aérea de los individuos arbóreos de las especies forestales de la parcela 8 del arboretum El Huayo fue el modelo de Higuchi y Carvalho (1994), con  $R^2$  de 0,87 y SEE de 12,28%; a diferencia de Del Castillo (2015), quien indica que la ecuación alométrica que mejor se ajustó a la estimación de la biomasa aérea en la parcela 18 del mismo arboretum fue la de Chave *et al.* (2005) con un  $R^2$  de 0,88 y las ecuaciones alométricas de Brown *et al.* (1989) e Higuchi y Carvalho (1994) que reportaron el menor valor de  $R^2$  con 0,85 cada uno. Esta diferencia, posiblemente, se deba a dos factores: (1) la cantidad de individuos existentes en cada parcela: 8 y 18 del arboretum, y (2) la ecuación alométrica de Chave *et al.* (2005) toma en cuenta la densidad básica de la madera, mientras que la ecuación alométrica de Higuchi y Carvalho (1994) no lo requiere ni lo solicita.

La biomasa aérea total estimada en este estudio de 183,30 t difiere con los resultados de la investigación de Orrego y Del Valle (2001), quienes determinaron 233 t/ha en un bosque primario. Esta diferencia se debe a que estos autores establecieron la biomasa aérea mediante un método distinto al aplicado en el presente estudio; el cual consistió en la obtención, secado y pesado de las muestras provenientes de los individuos evaluados (método directo).

Por otra parte, Pinedo (2014), determinó un total de 2092,92 t/ha de biomasa aérea en el Ciefor Puerto Almendra; esta diferencia se debe a que el autor realizó la investigación en tres plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en un área de 1,86 ha,

encontrándose diferentes poblaciones en cada una de las plantaciones estudiadas.

Con respecto al valor económico, se determinó un total de USD 1619,98/tCO<sub>2</sub>; este resultado difiere de Araujo (2013) quien determinó un valor económico de USD 2791,28/tCO<sub>2</sub>/ha en una plantación de *Simarouba amara* de 27 años y un valor económico de USD 1067,38/tCO<sub>2</sub>/ha en una plantación de 34 años de la misma especie. Esta diferencia se debe a que Araujo (2013) realizó su investigación en plantaciones de diferentes edades, encontrándose dentro de cada una de estas, diferente número de población. Asimismo, Ruiz (2013) obtuvo un total de USD 2878,95/tCO<sub>2</sub>/ha; esta diferencia se debe a que el autor realizó la investigación con tres especies diferentes de la misma edad, encontrándose, además, diferentes poblaciones en cada una de las parcelas estudiadas.

## CONCLUSIONES

En el área de estudio se registraron un total de 427 individuos incluidos en 81 especies, 60 géneros y 28 familias botánicas; siendo Lecythidaceae la familia más representativa con un total de 115 individuos, seguida de la familia Fabaceae con 66 individuos. La ecuación alométrica que mejor se ajustó para la estimación de la biomasa aérea por cada individuo arbóreo fue la ecuación sugerida por Higuchi y Carvalho (1994), con  $R^2$  de 0,87 y SEE de 12,28%. Se cuantificó un total de 183,30 t de biomasa aérea, un total de 65,99 tC almacenado y un total de 241,79 tCO<sub>2</sub> secuestrado, en toda la parcela 8 del arboretum El Huayo. El valor económico total del servicio de secuestro de CO<sub>2</sub> ofrecido por las especies forestales de la parcela 8 del arboretum El Huayo es USD 1619,98/tCO<sub>2</sub>, siendo Fabaceae, con 9 especies y 66

individuos, la familia que mayor valor económico aporta con USD 422,97/tCO<sub>2</sub>.

## AGRADECIMIENTO

Al director del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, por permitir utilizar las instalaciones para desarrollar el trabajo de campo. A Herman Collazos, por sus acertados consejos en el desarrollo estadístico de este artículo. A Juan Ruiz, por el apoyo en la identificación botánica de las especies evaluadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo E. 2013. Secuestro y valoración económica de CO<sub>2</sub> en tres plantaciones de diferentes edades de *Simarouba amara* del Cifor Puerto Almendra, Iquitos, Perú, 2013. Tesis ing. forestal. Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Iquitos, Perú. 51 pp.
- Azqueta D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Editorial McGraw Hill. Bogotá. 299 pp.
- Brown S, Lugo AE. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in de global carbon cycle. *Biotropica*. 14 (3):161-187.
- Brown S, Gillespie AJ, Lugo AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902.
- Chambi P. 2001. Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicando a la zona boscosa de los ríos Inambari y Madre de Dios. Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con Bases en la Conservación de Recursos Naturales (IICFOE). Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Chile. 20 pp. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2015]. Disponible en: [http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/25\\_Chambi.pdf](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/25_Chambi.pdf)
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Folster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riera B, Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology* 145: 87-99.
- Del Castillo DM. 2015. Cuantificación de la biomasa aérea del arboretum El Huayo del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra, Iquitos, 2015. Tesis M. Sc. en Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Iquitos, Perú. 63 pp.
- Ecosur. 2000. Proyecto piloto internacional para la captura de carbono y desarrollo selvicultural comunitario en Chiapas. México. 78 pp.
- Eguren L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Cepal - Serie Medio Ambiente y Desarrollo n° 83. Santiago de Chile. 83 pp. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/14902/lcl2085e.pdf>
- Fanarena, XXI [*en línea*]. Memoria. II Reunión ordinaria. Foro de autoridades nacionales del ambiente y de los recursos naturales. 26-28 de enero de 1997. Guatemala. 27 pp. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: <http://books.google.com.pe/books?id=4REPAQAAIAAJ&pg=PA>

27&dq=Valoraci%C3%B3n+econ%C3%B3mica+del+secuestro+de+CO2+en+plantaciones+forestales.com

- Fonseca W, Alice F, Rey J. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque [en línea]* 30(1): 36-47. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v30n1/art06.pdf>
- Gutiérrez V, Lopera G. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. Universidad Nacional de Colombia. Simposio internacional medición y monitorea de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Chile. 17 pp. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: [http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/15\\_Gutierrez.pdf](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/15_Gutierrez.pdf)
- 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.
- Honorio E, Baker T. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana/Universidad de Leeds. Lima. 54 pp. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: [http://www.rainfor.org/upload/Manual Spanish/Honorio\\_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf](http://www.rainfor.org/upload/Manual%20Spanish/Honorio_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf)
- Inrena. 1995. Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 196 pp.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use. Land-use change and forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGIES)-IPCC. 628 pp.
- MacDicken KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. US Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development. USA. 91 pp.
- Motto P. 2000. Valoración económica del bosque seco. Proyecto de Gestión Concertada para el Control de la Desertificación y la Regeneración de los Bosques Secos en los Cantones de Zapotillo y Macará. 61 pp. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/136903749/06-Valoracion-Economica-Del-Bosque-Seco>.
- Orrego S, Del Valle J. 2001. Eficiencia de la cobertura vegetal en la asimilación de CO<sub>2</sub>. Informe final. Empresa pública de Medellín E.S.P. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 156 pp.
- Pinedo E. 2014. Biomasa, contenido de carbono y secuestro de CO<sub>2</sub> en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke de diferentes edades, Ciefor Puerto Almendra, Loreto, Perú, 2013. Tesis ing. forestal. Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Iquitos, Perú. 77 pp.
- Ramírez C. 2011. Biomasa y carbono de árboles comerciales con diámetro mínimo de corta (DMC) en un bosque de Orellana del río Ucayali. Loreto, Perú. Tesis ing. en Ecología de Bosques Tropicales. Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Iquitos. Perú. 62 pp.
- Rügnitz TM, Chacón LM, Porro R. 2009. Guía para la determinación de carbono en

- pequeñas propiedades rurales. 1era edición. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal. 79 pp.
- Ruiz SLC. 2013. Valoración económica del secuestro de CO<sub>2</sub> en plantaciones de 27 años en especies de *Ormosia coccinea*, *Parquia igneiflora* y *Simarouba amara*, en el Ciefor Puerto Almendra, Perú. Tesis ing. forestal. Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Iquitos, Perú. 51 pp.
- Sanquetta CR, Farinha L, Eduardo J, Aparecida A. 2008. Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Pinus taeda* en el sur del Estado de Paraná, Brasil. Disponible en: [http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/42\\_Sanquetta.pdf](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/42_Sanquetta.pdf)
- Senamhi. 2014. Pronóstico de la región Loreto. Año 2013. <http://www.senamhi.gob.pe>
- Sendeco<sub>2</sub>. 2016. 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](http://www.sendeco2.com)
- Seppänen P. 2002. Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana [en línea]*. 4 (002): 51-58. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2015]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/497/49740208.pdf>
- Sierra C, Del Valle J, Orrego S. 2003. Ecuaciones de biomasa de raíces en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego S; Del Valle J y Moreno F. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Pp 169-188.
- Torres RG. 1999. Velocidad de mortalidad por anillamiento de nueve especies forestales en bosques secundarios-purma, Puerto Almendra, Loreto. Tesis ingeniero forestal. Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Iquitos, Perú. 74 pp.
- Tosi J. 1960. Zonas de vida natural en el Perú. Lima. Zona Andina del IICA. 271 pp. (Informe nº 5).
- Ulloa W. 2010. Servicios ambientales en relación con el carbono en bosques tropicales naturales de la provincia de Esmeraldas. Tesis (maestría en Ciencias Sociales con mención en Estudios Socioambientales). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede Ecuador. 83 pp.
- Zamora CJ. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del Ejido «La Majada». Municipio de Periban de Ramos. Michoacán, México. Tesis ing. agrónomo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 47 pp.
- Zanne AE, López-González G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J. 2009. Global wood density database. *Dryad*. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.