

Artículo original

Secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno del bosque de Puerto Almendra, Loreto, Perú

[Carbon capture and Oxygen production in Puerto Almendra, Loreto, Peru]

Carlos Eduardo Cabudivo Escobar¹, Abrahan Cabudivo Moena², Saron Quintana Vasquez²,
Rosana Gonzales Arzubialdes¹

1. Universidad Científica del Perú. Av. Abelardo Quiñones km 2,5, San Juan Bautista, Maynas, Loreto, Perú.
Correos electrónicos: cece_223@hotmail.com (C. Cabudivo * Autor para correspondencia),
rgonzales@ucp.edu.pe (R. Gonzales).

2. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Calle Sargento Lores 385, Iquitos, Maynas, Loreto, Perú.
Correo electrónico: abrahancabudivo@hotmail.com (A. Cabudivo), sarquivaz@hotmail.com (S. Quintana).

Resumen

En este estudio se cuantificó el secuestro de dióxido de carbono y la emisión de oxígeno de cuatro especies: *Alchornea triplinervia*, *Parkia velutina*, *Cedrelinga cateniformis* y *Eschweilera grandifolia* en el bosque de Puerto Almendras, Arboretum "El Huayo" Loreto, Perú; de densidad maderable muy baja, baja, media y alta respectivamente. Los datos obtenidos fueron mediante inventario arbóreo en 4 bloques de 1 ha y aplicando formulas alométricas, se ha calculado el volumen y la biomasa. Los resultados resaltan que la mayor producción de biomasa, reservorio de carbono, secuestro de carbono y emisión de oxígeno se encontró en árboles de *E. grandifolia* de densidad maderable alta, seguido de árboles de *C. cateniformis* de densidad maderable media; mientras que por hectárea en árboles de *E. grandifolia* y *A. triplinervia*. La Prueba de F del ANOVA y la de Tukey en los cuatro bloques a 0,05 de nivel de confianza es significativo para todas las fuentes de variabilidad propuestos; mientras que el análisis de correlación demuestra que las variables Densidad maderable-Biomasa, Densidad maderable-reservorio de Carbono, Densidad maderable-Secuestro de carbono y Densidad maderable-emisión de oxígeno; presentan correlación altamente significativa ($p=0,0244$) con coeficiente de Pearson igual a $r=0,97561$.

Palabras clave: Gases tóxicos, Almacenamiento, Maderable, Ambiente.

Abstract

In this study, we quantified the gas exchange of Carbon Dioxide (CO₂) and Oxygen (O₂) in four species of trees located in the Puerto Almendras Arboretum "El Huayo", Loreto Peru. The following species were subject to our study: *Alchornea triplinervia*, *Parkia velutina*, *Cedrelinga cateniformis* y *Eschweilera grandifolia* each species with a specific wood density ranging from very low density, low, medium and high density. The data was obtained through 4 forestry plot inventories of 1 hectare each. We calculated the biomass and volume applying allometric formulas established by the Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. The results highlight that the densest species, *E. grandifolia* has the most sought out values in relation to CO₂ sequestration, storage and oxygen production. Following *E. grandifolia* is *C. cateniformis* with medium density; meanwhile per hectare we found in *E. grandifolia* and *A. triplinervia*. The Tukey test and F test for ANOVA in the four study sites reveal a 0,05 level of confidence and is significant for all of the sources of proposed variables. Simultaneously the correlation analysis shows that the variables (timber density / Biomass), (timber density / CO₂ storage), (timber density / CO₂ capture) and (timber density / O₂ emission) present a highly significant correlation ($p=0,0244$) with a Pearson coefficient equal to $r=0,99751$.

Keywords: Toxic gases, Storage, Timber, Environment.

INTRODUCCIÓN

En las instalaciones del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (CIEFOR-UNAP), se encuentra el arboretum "El Huayo" con un bosque natural de 16 ha, siendo estudiados en los aspectos de "Caracterización taxonómica y anatómica de especies forestales" (Valderrama, 2001); sin embargo, existe poca o casi ninguna información referente a los servicios ambientales que prestan, especialmente en el secuestro de dióxido de carbono y la producción de oxígeno; más aún, si se tiene en cuenta la densidad maderable de los árboles; ya que se cuenta con información preliminar referente a plantaciones en el CIEFOR-UNAP (Gonzalo, 2013; Guerra 2013; Espíritu *et al.*, 2014), en donde se reportan especies arbóreas de mayor edad, las que concentran mayor cantidad de carbono en su estructura y secuestran mayor dióxido de carbono con respecto a especies de menor edad, por lo tanto, si es comercializado como servicio ambiental es mayor su valor económico; de todo esto se puede manifestar que no todos los árboles que conforman un ecosistema natural podrían tener el mismo valor en servicio ambiental.

Por lo manifestado, el conocimiento con mayor detalle de la dinámica productiva servirían para aumentar el soporte de productividad de la biomasa maderable del tronco por unidad de área, pues, hoy en día se considera al bosque no sólo como una fuente maderable, para pulpa, para aserrar o para leña, sino también, como servicio ambiental que prestan para secuestrar carbono y producir oxígeno (Stupak *et al.*, 2007); el poco conocimiento del servicio ambiental con relación a la densidad de la madera del bosque traería como efecto la tardanza o freno (o ambos) en la toma de decisiones para impulsar inversiones de negocios y como consecuencia la reducción de valor del bosque. Para que estos se mantengan, el manejo tiene que volverse más rentable que los usos alternativos de la tierra (Prince y Waage, 2007), por eso, es necesario iniciar los estudios de cuantificar los

servicios que prestan el bosque natural, para que puedan obtener beneficios de los emergentes mercados de servicios de los ecosistemas así financiar la conservación y el desarrollo sostenible a nivel local.

Siendo el arboretum "El Huayo" un área intangible de bosque natural que se utiliza para realizar prácticas para la formación estudiantil, es necesario conocer la dinámica productiva para el manejo sostenible y/o conservación de estos recursos, convirtiéndose en una actividad que no solo asegure la permanencia de estos ecosistemas (deforestación evitada) sino convertirlo en un proveedor neto de servicios ambientales.

Por lo tanto, en la presente investigación se plantea cuantificar la producción de biomasa arbórea, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno por niveles de densidad básica maderable del bosque natural arboretum "El huayo", Puerto Almendra, Loreto-Perú.

MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó en el área del bosque natural arboretum "El Huayo" instalada en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal, Puerto Almendra, ubicado en la margen derecha del río Nanay a 22 Km de distancia en dirección Sur-Oeste desde la ciudad de Iquitos; geográficamente se encuentra en las coordenadas 3° 49' 40" Latitud Sur y 73° 22' 30" Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 122 msnm; se encuentra en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto, Perú (Figura 1). Climatológicamente la zona presenta: precipitación media anual en 2979,3 mm; la temperatura media anual de 26,4 °C; humedad relativa media anual de 82,1%. El área de estudio se localiza dentro de la zona de vida denominada Bosque Húmedo Tropical (Quintana, 2006).

El método aplicado fue mediante un inventario forestal, en cuatro bloques, los cuales fueron seleccionados al azar (Tabla 1); los datos fueron procesados sobre la base del software

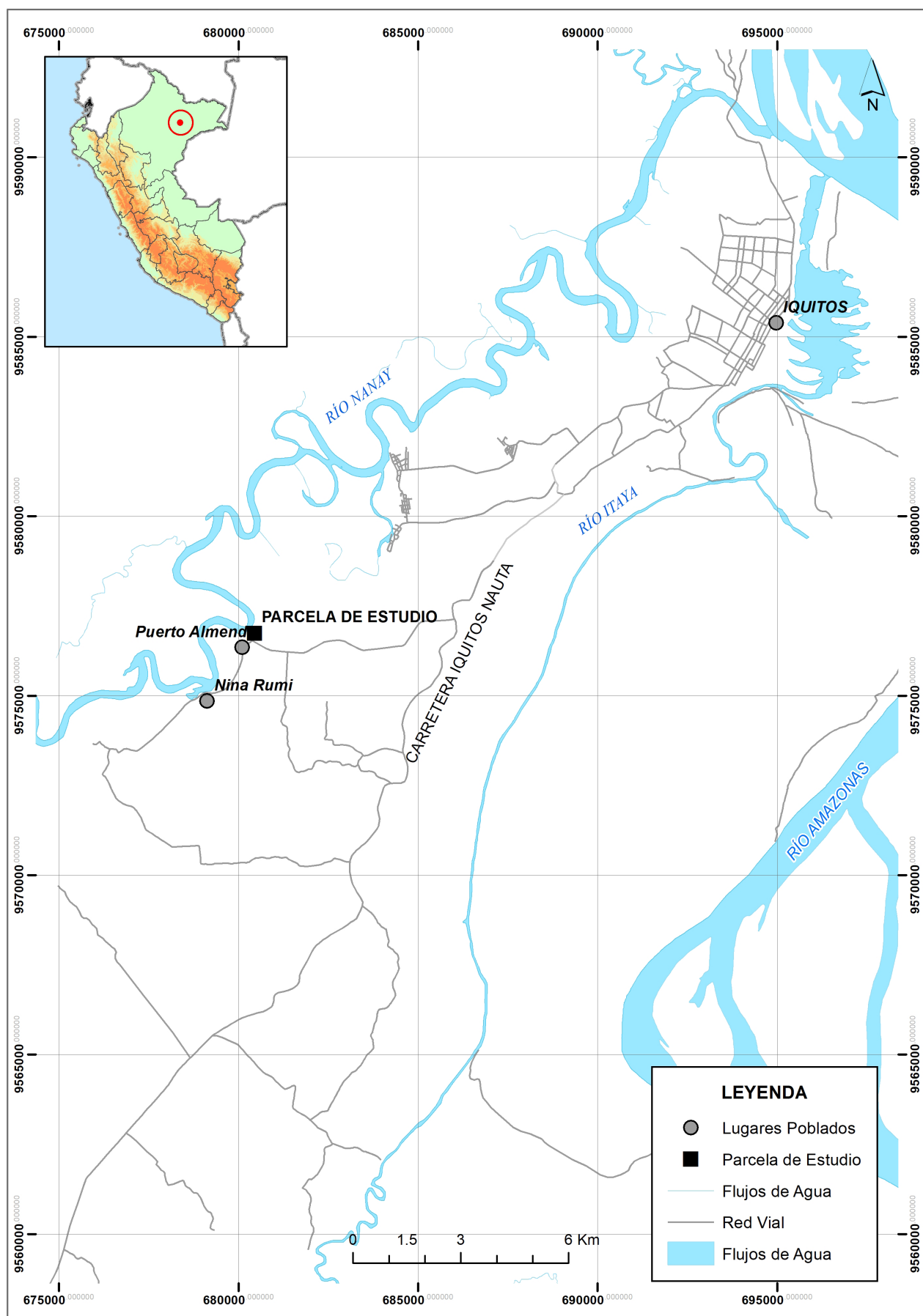


Figura 1. Mapa de Ubicación de las parcelas del Arboretum "El Huayo", en Puerto Almendras, Loreto, Perú.

BioEstat (Ayres *et al.*, 2004). El universo poblacional estuvo conformado por todos los árboles desde 25 cm de diámetro del fuste; de densidad básica muy baja, baja, media y alta de las especies: *Alchornea triplinervia* ("Zancudo caspi"), *Parkia velutina* ("pashaco"), *Cedrelinga cateniformis* ("tornillo") y *Eschweilera grandifolia* ("machimango"), del área muestreada que correspondió a 16 parcelas de 1 ha cada una. La muestra correspondió a 212 árboles. 93 de *Alchornea triplinervia*, 29 de *Parkia velutina*, 20 de *Cedrelinga cateniformis*, y 70 de *Eschweilera grandifolia*.

La muestra seleccionada de 4 bloques (1 ha cada uno) fue al azar, siendo elegidas las parcelas II, V, VI y VIII; para el inventario de árboles se emplearon instrumentos de medición como el clinómetro, para medir la altura de los árboles y para medir el diámetro del fuste (DAP) se utilizó la forcípula a una altura de 1,30 m desde la base del árbol.

Cálculo del volumen maderable

Se empleó la fórmula empleada por Arévalo (2015), la cual fue: $V = AB * Ff * Hc$. Donde: V = volumen en metros cúbicos; AB = Área basal en metros cuadrados; Ff = Factor de forma (0,65); Hc = Altura comercial, en metros; D = Diámetro del fuste, en metros.

Densidad de la madera de los árboles

La densidad fue clasificada según la densidad básica de la madera en: Densidad Muy Baja < 300 kg/metros cúbicos; Densidad baja < 400kg/metros cúbicos; Densidad media 410 kg/metros cúbicos– 600 kg/metros cúbicos y Densidad Alta >610 kg/metros cúbicos; según (Aróstegui y Sato, 1975; JUNAC-PADT-REFORT, 1984).

Conversión de volumen a biomasa del fuste. Se utilizó la fórmula propuesta por (Brown, 1997); la cual fue: $BF = V * Db / 1000$. Donde: BF = Biomasa fuste en toneladas (t); V = Volumen en metros cúbicos; Db = Densidad básica de la madera en kg/metros cúbicos.

Cálculo de biomasa total

Se aplicó lo propuesto por IPCC (2003). La cual fue: $BT = BF * FEB$. Donde: BT = Biomasa total en toneladas (t); BF = Biomasa del fuste en to-

neladas (t); FEB = Factor de expansión de biomasa = 3,4.

Cálculo del reservorio de carbono

Se utilizó la Fórmula de IPCC (2003), la cual es: $CT = BT * 0,5$. Donde: CT = Carbono total en toneladas; BT = Biomasa total en toneladas.

Cálculo del secuestro de dióxido de carbono

Se empleó la fórmula utilizada por varios autores (Gamarra, 2001; IPCC, 2003; Alegre, 2008; Vallejo, 2009; Gonzalo, 2013; Guerra, 2013); la cual fue: $CO_2 = CT * 3,667$. Donde: CO_2 = Dióxido de carbono; CT = Carbono total en toneladas.

Cálculo de la Emisión de oxígeno

Para calcular la cantidad de oxígeno se procedió de acuerdo a lo propuesto por Salisbury y Ross (1978), Barone y Fernández (1983) y Nowak *et al.* (2007); la cual fue: $O_2 = CT * O_2/C$. Donde: O_2 = Emisión de Oxígeno en toneladas. CT = Carbono total en toneladas.; $O_2 = 2 * 16$; C = 12.

Procesamiento de la información

Se realizó un análisis de varianza y la prueba de F a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; y para determinar la significancia de la comparación de los promedios se realizó la Prueba estadística de Tukey a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; se ejecuto el análisis en el programa BioEstat (Ayres *et al.*, 2004). Para el análisis de la relación entre los niveles de densidad básica maderable y la producción de biomasa, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y la emisión de oxígeno se aplicó la correlación de Pearson según resultado de la prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

RESULTADOS

Biomasa arbórea por niveles de densidad básica maderable

La biomasa producida con el mayor rendimiento por especie es: *E. grandifolia* de densidad básica maderable alta (720 kg/metros cúbicos) con 2,77 t/árbol; seguido de *C. cateniformis* densidad media (470 kg/metros cúbicos) con 1,92 t/

árbol. Mientras que las especies de *P. velutina* y *A. triplinervia*, tienen menor producción con 1,08 t/árbol y 0,62 t/árbol respectivamente. Con referencia a la biomasa por hectárea, la mayor producción se ha encontrado en las especies *E. grandifolia* de densidad alta con 48,54 t/ha (Tabla 1 y 2 y Figura 2).

Carbono por niveles de densidad maderable

La cantidad de carbono fue el siguiente: en la especie *E. grandifolia*, de densidad básica maderable alta con 1,38 toneladas/árbol; seguido de *C. cateniformis* de densidad básica media con 0,96 toneladas/árbol. Siendo las de menor reservorio las especies de *P. velutina* y *A. triplinervia* con 0,54 toneladas/árbol y 0,31 toneladas/árbol, respectivamente. Por hectárea se ha determinado el mayor reservorio de carbono en la especie *E. grandifolia* de densidad alta con 24,274 toneladas/ha (Tabla 2, Figura 2).

Secuestro de dióxido de carbono por niveles de densidad maderable

La mayor cantidad promedio de dióxido de carbono se encontró en la especie *E. grandifolia* de densidad básica maderable alta con 5,08 toneladas/árbol; seguido de *C. cateniformis* de densidad media con 3,53 toneladas/árbol. Siendo de menor secuestro las especies de *P. velutina* y *A. triplinervia* con 1,99 toneladas/árbol y 1,13 toneladas/árbol respectivamente. Con referencia al secuestro de dióxido de carbono por hectárea, el mayor secuestro se ha encontrado en la especie *E. grandifolia* de densidad básica alta con 89,00 toneladas/ha (Tabla 2, Figura 2).

Emisión de oxígeno por niveles de densidad maderable

Determinando la mayor cantidad en la especie *E. grandifolia* de densidad básica maderable alta con 3,69 toneladas/árbol; seguido de *C. cateniformis* de densidad básica media con 2,57 toneladas/árbol. Siendo las de menor emisión las especies de *P. velutina* y *A. triplinervia* con 1,45 toneladas/árbol y 0,83 toneladas/árbol

respectivamente. Con referencia a la emisión de oxígeno por hectárea, la mayor emisión se ha encontrado en *E. grandifolia* de densidad básica alta con 64,73 toneladas/ha (Tabla 2, Figura 2).

Análisis estadístico del secuestro de carbono y emisión de oxígeno del bosque natural por niveles de densidad básica de la madera

La Prueba de F es significativo entre tratamientos ($F=13,1877$; $p = 0,0016$), es decir, que existe influencia entre la densidad básica maderable de los árboles con respecto a la producción de biomasa arbórea, reservorio de carbono, secuestro de carbono, emisión oxígeno; lo que no ocurrió con respecto a los bloques ($F=2,0371$; $p = 0,1788$) que es no significativo (Tabla 3).

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la prueba estadística de Tukey, comparando los tratamientos y su respectiva significancia. Realizando la comparación entre los valores medios de los tratamientos biomasa arbórea con los niveles de densidad básica, se han encontrado significancia en las comparaciones, es decir que la densidad básica maderable influencia para tener una mayor biomasa arbórea. Solamente no es significativo en la Muy Baja - Baja. La prueba de Tukey para el servicio ambiental de reservorio de carbono, secuestro de carbono y emisión de oxígeno comparando con la densidad básica maderable, se han determinado similares resultados. Se realizó la prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para conocer si la población es normal, que se presenta en la Tabla 4, cuyo resultado presenta solamente los datos de árboles de densidad básica maderable muy baja en biomasa presenta normalidad ($<0,05$); siendo la biomasa de densidad básica baja, media y alta no presenta normalidad ($>0,05$); por lo tanto, correspondió realizar el análisis de correlación lineal de Pearson. En la Tabla 5 se presentan el análisis de correlación lineal de Pearson, los resultados muestran que las variables Densidad básica maderable y Biomasa, Densidad básica maderable y reservorio de Carbono, Densidad básica maderable y Secuestro de carbono, Densidad básica maderable

Tabla 1. Diseño de bloques con cuatro tratamientos de las especies arbóreas en el arboretum "El Huayo", Puerto Almendra, Loreto, Perú.

N° Bloques	Densidad básica maderable (kg/metros cúbicos)			
	Muy Baja (<i>A. triplinervia</i>)	Baja (<i>P. velutina</i>)	Media (<i>C. cateniformis</i>)	Alta (<i>E. grandifolia</i>)
I	Biomasa	Biomasa arbórea	Biomasa	Biomasa
	Carbono	Carbono	Carbono	Carbono
	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono
	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno
II	Biomasa	Biomasa arbórea	Biomasa	Biomasa
	Carbono	Carbono	Carbono	Carbono
	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono
	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno
III	Biomasa	Biomasa arbórea	Biomasa	Biomasa
	Carbono	Carbono	Carbono	Carbono
	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono
	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno
IV	Biomasa	Biomasa arbórea	Biomasa	Biomasa
	Carbono	Carbono	Carbono	Carbono
	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono
	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno	Oxígeno

Tabla 2. Biomasa arbórea, reservorio de carbono, Secuestro de dióxido de carbono y Emisión de oxígeno por niveles de densidad básica maderable en el arboretum "El Huayo" por bloques, Puerto Almendra, Loreto, Perú.

Biomasa arbórea	Árboles				M. Baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)
	M. Baja	Baja	Media	Alta	t/árbol	t/árbol	t/árbol	t/árbol
I	12	6	7	15	0,45	0,50	0,97	2,58
II	46	7	3	8	0,51	1,56	2,80	3,27
III	31	6	4	21	1,30	0,65	1,57	2,82
IV	4	10	6	26	0,20	1,62	2,35	2,41
Promedio	23	7	5	18	0,62	1,08	1,92	2,77
V/m3	(0,45)	(3,76)	(1,25)	(1,13)	14,40*	7,88*	9,63*	48,54*
Reservorio de carbono	Árboles				M. Baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)
	M. Baja	Baja	Media	Alta	t/árbol	t/árbol	t/árbol	t/árbol
I	12	6	7	15	0,22	0,25	0,48	1,29
II	46	7	3	8	0,25	0,78	1,40	1,63
III	31	6	4	21	0,65	0,32	0,78	1,41
IV	4	10	6	26	0,10	0,81	1,17	1,20
Promedio	23	7	5	18	0,31	0,54	0,96	1,38
Total/ha					7,20	3,94	4,81	24,27
Secuestro de carbono	Árboles				M. Baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)
	M. Baja	Baja	Media	Alta	t/árbol	t/árbol	t/árbol	t/árbol
I	12	6	7	15	0,833	0,923	1,788	4,742
II	46	7	3	8	0,943	2,877	5,145	6,003
III	31	6	4	21	2,392	1,196	2,878	5,170
IV	4	10	6	26	0,376	2,979	4,319	4,428
Promedio	23	7	5	18	1,136	1,994	3,532	5,086
Total/ha					26, 413	14,454	17,661	89,004

Tabla 2. (continuación)

Emisión de Oxígeno	Árboles				M. Baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)
	M. Baja	Baja	Media	Alta	t/árbol	t/árbol	t/árbol	t/árbol
I	12	6	7	15	0,606	0,671	1,300	3,449
II	46	7	3	8	0,686	2,092	3,741	4,366
III	31	6	4	21	1,740	0,870	2,093	3,760
IV	4	10	6	26	0,273	2,167	3,141	3,221
Promedio	23	7	5	18	0,826	1,450	2,569	3,699
Total/ha					19,210	10,512	12,844	64,730

1. *A. triplinervia*. 2. *P. velutina*. 3. *C. cateniformis*. 4. *E. grandifolia*

Tabla 3. Análisis de varianza y significancia mediante prueba de Tukey, de las variables secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno.

Tukey N°	Tratamiento	Especies	Densidad maderable	Biomasa (t/árbol)	Carbono (t/árbol)	Dióxido de carbono (t/árbol)	Oxígeno (t/árbol)
1	T ₄	<i>E. grandifolia</i>	Alta	2,7743	1,3870	5,0858	3,6990
2	T ₃	<i>C. cateniformis</i>	Media	1,9268	0,9635	3,5325	2,5688
3	T ₂	<i>P. velutina</i>	Baja	1,0873	0,5438	1,9938	1,4500
4	T ₁	<i>A. triplinervia</i>	Muy Baja	0,6198	0,3095	1,1360	0,8263

ANOVA F.V	GL	Biomasa	Carbono	Dióxido de carbono	Emisión de oxígeno	p(0.05)
Tratamientos	3	13,1877	13,2075	13,1883	13,1876	0,0016 Sig.
Bloques	3	2,0371	2,0373	2,0361	2,0354	0,1788 N.Sig.
Error	9					

Tabla 4. Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S)-Biomasa y la densidad básica maderable.

Parámetros	Biomasa Muy Baja	Biomasa Baja	Biomasa Media	Biomasa Alta
Tamaño de la muestra =	93	29	20	70
Desvío máximo =	0,1613	0,1909	0,1757	0,1201
Valor critico unilateral (0,05) =	0,1265	0,2210	0,2650	0,1458
Valor critico unilateral (0,01) =	0,1576	0,2750	0,3290	0,1817
p (valor)	< 0,01	>0,05	>0,05	>0,05
Valor critico bilateral (0,05) =	0,1410	0,2460	0,2940	0,1626
Valor critico bilateral (0,01) =	0,1690	0,2950	0,3520	0,1948
p (valor)	<0,05	>0,05	>0,05	>0,05

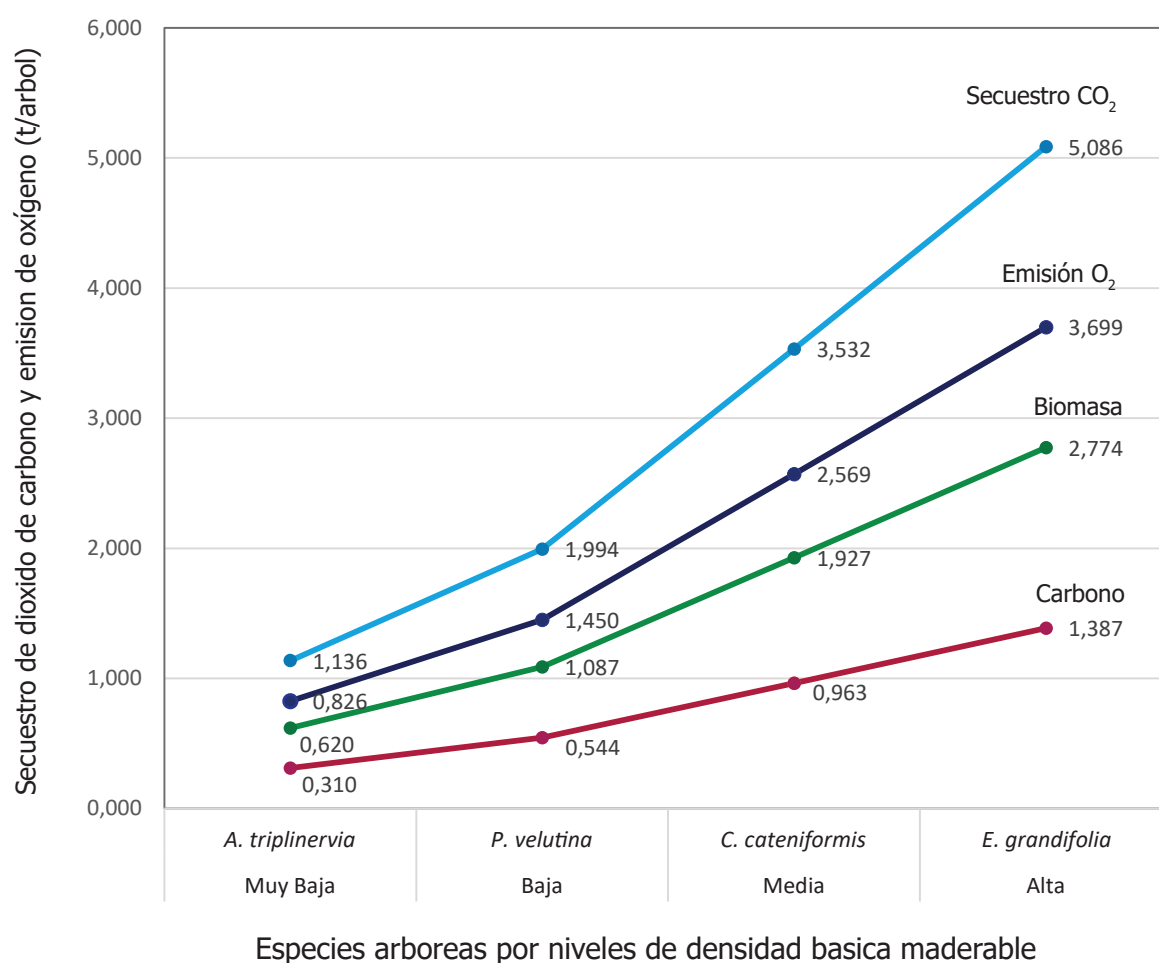
Hipótesis:

Ho: La variable peso de la biomasa de árboles presenta normalidad (< 0,05).

H1: La variable peso de la biomasa de árboles no presenta normalidad (> 0,05).

Tabla 5. Análisis de correlación del secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno del arbo-
retum el Huayo en el arboretum "El Huayo", Puerto Almendra, Iquitos-Perú

Columnas	1 y 2	1 y 3	1 y 4	1 y 5	2 y 3	2 y 4	2 y 5	3 y 4	3 y 5	4 y 5
N (pares) =	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
r (Pearson)=	0,9756	0,9757	0,9756	0,9756	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
IC 95% =	0,23 a 1,0	0,23 a 1,0	0,23 a 1,0	0,23 a 1,0	1,00 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0
IC 99% =	-0,37 a 1,0	-0,36 a 1,0	-0,36 a 1,0	-0,37 a 1,0	1,00 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0	1,0 a 1,0
R2 =	0,9518	0,9519	0,9518	0,9518	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
t =	6,28	6,29	6,28	6,28	1764,21	2646,50	3133,83	4455,53	3240,80	11887,06
GL =	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
(p) =	0,0244	0,0243	0,0244	0,0244	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Matriz de Correlación	Columna 1 (Densidad)	Columna 2 (Biomasa)	Columna 3 (Carbono)	Columna 4 (Dióxido de carbono)	Columna 5 (Oxígeno)					
Columna 1 = (Densidad)	1,0000	---	---	---	---					
Columna 2 = (Biomasa)	0,9756	1,0000	---	---	---					
Columna 3 = (Carbono)	0,9757	1,0000	1,0000	---	---					
Columna 4 = (Dióxido de carbono)	0,9756	1,0000	1,0000	1,0000	---					
Columna 5 = (Oxígeno)	0,9756	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000					

**Figura 2.** Secuestro de dióxido de carbono por niveles de densidad básica maderable en el arbore-
tum "El Huayo", Puerto Almendra, Loreto, Perú.

ble y emisión de oxígeno; presentan una correlación altamente significativa ($p=0,0244$ $r = 0,97561$); ($p=0,0243$ $r = 0,9757$); ($p=0,0244$ $r = 0,9756$); ($p=0,0244$ $r = 0,9756$) respectivamente.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que existe mayor producción de biomasa arbórea en los bosques del arboretum "El Huayo" en especies que tienen mayor densidad básica maderable, como es el caso de *E. grandifolia* de densidad básica alta con 2,77 toneladas/biomasa/árbol a pesar de tener un volumen maderable menor 1,13 metros cúbicos/ha con respecto a *C. cateniformis* de densidad básica media con 1,92 toneladas/biomasa/árbol con volumen maderable de 1,25 metros cúbicos/ha. y *P. velutina* de densidad básica baja con 1,08 toneladas/biomasa/árbol y volumen maderable de 3,76 metros cúbicos/ha. Estos resultados tienen concordancia con los resultados determinados por Arévalo (2015), Vásquez (2015) y Guerra (2013) que evaluaron la dinámica productiva del incremento de biomasa, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y producción de oxígeno en plantaciones de Simarouba amara y *C. cateniformis* de 9, 16, 19, 22, 26, 29, 33, 35, 36, 44 y 45 años en Puerto Almendra (Loreto, Perú); concluyendo que a medida que aumenta la edad aumenta la densidad maderable hasta llegar a su límite. Por lo tanto, en un ecosistema boscoso, las especies de acuerdo a la densidad básica de su madera tendrán mayor o menor biomasa acumulada a través del tiempo. Para el presente estudio se ha obtenido un total de 11,097 toneladas de carbono en 70 árboles de *E. grandifolia* ("machimango") de densidad básica alta, seguido de 20 árboles de *C. cateniformis* ("tornillo") de densidad básica media con 7,707 toneladas de carbono, en 29 árboles de *P. velutina* ("pashaco") de densidad baja con 4,35 toneladas de carbono y en 93 árboles de *A. triplinervia* ("zancudo caspi") con 2,47 toneladas de carbono (Tabla 2).

Con respecto al reservorio de carbono por niveles de densidad básica maderable, los resultados obtenidos muestran que a mayor densidad de la madera mayor es el reservorio de carbono y esto se demuestra en los resultados de los cuatro bloques de 1 ha evaluado, en donde *E. grandifolia* ("machimango") de densidad alta, tiene 1,38 toneladas/árbol; seguido de *C. cateniformis* ("tornillo") de densidad básica media con 0,96 toneladas/árbol. Mientras, que los de menor reservorio de carbono se tienen a *P. velutina* ("pashaco") y *A. triplinervia* ("zancudo caspi") con 0,54 toneladas/árbol y 0,31 toneladas/árbol respectivamente. Estos resultados son similares a los determinados por Arévalo (2015), Vásquez (2015) y Guerra (2013) en el cual concluyen que en árboles de plantaciones de Simarouba amara y *C. cateniformis* a mayor densidad de la madera mayor es el reservorio de carbono. Con referencia al reservorio de carbono por hectárea (Tabla 2), existe mayor reservorio en los árboles de "machimango" de densidad básica alta con 24,27 t/ha, seguido de la especie *A. triplinervia* ("zancudo caspi") de densidad básica muy baja con 7,20 t/ha, este resultado se da por el mayor número de árboles por hectarea, en el caso de *E. grandifolia* tiene 18 árboles/ha mientras que *A. triplinervia* tiene 23 árboles/ha.

Con respecto al secuestro de dióxido de carbono los resultados que se presenta en la Tabla 2 muestran que los árboles que tienen madera de mayor densidad básica son las que secuestran mayor dióxido de carbono atmosférico como *E. grandifolia* de densidad alta secuestra 5,08 toneladas/árbol, seguido de *C. cateniformis* densidad media con 3,53 toneladas/árbol, *P. velutina* con una densidad baja de 1,99 toneladas/árbol y en último lugar *A. triplinervia* densidad muy baja con 1,13 toneladas/árbol; este resultado se asemeja a lo encontrado por Espíritu et al. (2014) y Arévalo (2015), al realizar trabajos de secuestro de dióxido de carbono en plantaciones de diferentes edades en Puerto Almendra rio Nanay. Sin embargo, al cuantificar el secuestro de dióxido de carbono por hectárea, la especie *E. grandifolia* ("machimango")

de densidad alta tiene el mayor secuestro con 89,00 toneladas/ha, seguido por *A. triplinervia* ("zancudo caspi") densidad muy baja con 26,41 toneladas/ha; este resultado se debe porque *A. triplinervia* tiene mayor número de árboles por hectárea (promedio 23 árboles).

Con referencia a la emisión de oxígeno, los resultados que se presenta en la Tabla 2, muestran de manera similar al secuestro de dióxido de carbono, que los árboles que tienen madera de mayor densidad básica son las que emiten mayor oxígeno a la atmosfera; como lo realiza *E. grandifolia* con una densidad básica alta, emite 3,69 toneladas/árbol, seguido de *C. cateniformis* con una densidad básica media de 2,56 toneladas/árbol; lo que no sucede con árboles de "pashaco" densidad básica baja con 1,45 toneladas/árbol y en último lugar *A. triplinervia* de densidad básica muy baja con 0,82 toneladas/árbol, este resultado concuerda con lo encontrado por Espiritu et al. (2014) y Arévalo (2015), al realizar trabajos de secuestro de dióxido de carbono y producción de oxígeno en plantaciones de diferentes edades en Puerto Almendra. Sin embargo, al cuantificar la emisión de oxígeno por hectárea, resulta que *E. grandifolia* de densidad alta tiene la mayor producción con 64,730 toneladas/ha, seguido por *A. triplinervia* de densidad muy baja con 19,21 toneladas/ha, este resultado se debe porque tiene el mayor número de árboles por hectárea (promedio 23 árboles).

Al realizar el análisis de varianza, la Prueba de F determina que existe significancia entre tratamientos ($F=13,1877$; $p = 0,0016$), es decir, que existe influencia entre la densidad de la madera de los árboles *E. grandifolia*, *C. cateniformis*, *P. velutina* y *A. triplinervia* influencia para tener mayor o menor rendimiento en producción de biomasa arbórea, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono, emisión oxígeno; con respecto a los bloques II, V, VI y VIII es no significativo ($F=2,0371$; $p = 0,1788$).

Referente a la prueba de Tukey para la biomasa arbórea, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno

comparando con las medias de la densidad básica maderable baja, media y alta, se han determinado significancia, excepto en la comparación madera de densidad maderable muy baja – baja; este resultado confirma también el análisis de correlación de Pearson (Tabla 5) que la densidad maderable influencia en la biomasa arbórea, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno en 97,56%; 97,57%, 97,56 y 97,56% respectivamente.

CONCLUSIÓN

La mayor producción de biomasa, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno se determinó en árboles de la especie *E. grandifolia* "machimango" de densidad alta con 2,77 t/árbol; 1,38 t/árbol; 5,08 t/árbol y 3,69 t/árbol respectivamente; seguido de *C. cateniformis* "tornillo" de densidad media con 1,92 t/árbol; 0,96 t/árbol; 3,53 t/árbol y 2,56 t/árbol. La menor producción de biomasa, reservorio de carbono, secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno se determinó en árboles de densidad maderable muy baja de la especie *A. triplinervia* con maderable 0,62 t/árbol; 0,31 t/árbol; 1,13 t/árbol y 0,82 t/árbol respectivamente. La Prueba de F del análisis de varianza entre tratamientos a $p (0,05)$ de nivel de error, es significativo, encontrándose un p -valor 0,0016) para todas las fuentes de variabilidad propuestos; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. El análisis de correlación de Pearson demuestran que las variables Densidad - Biomasa, Densidad maderable - reservorio de Carbono, Densidad maderable - Secuestro de dióxido de carbono y Densidad maderable – emisión de oxígeno; presentan correlación altamente significativa ($p=0,0244$) con coeficiente de Pearson igual a $r=0,9756$.

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.
- Arévalo, A. E. 2015. Dinámica productiva de incremento de biomasa, carbono y producción de oxígeno en plantaciones de diferentes edades Puerto Almendra, Tesis. UNAP-EPG. Loreto-Perú-2015. Iquitos-Perú, 71 pág.
- Aróstegui, A. y Sato, A. 1975. Estudio de las propiedades físico mecánicas de la madera de 16 especies forestales del Perú. Revista Forestal del Perú, 4 (1), 1-13.
- Ayres, M.; Ayres, M. J.; Lima, D. y Santos, A. de A. 2004. BioEstat. Aplicaciones estadísticas para Ciencias biológicas y médicas. Belém-Para-Brasil, 275 pág.
- Barone, L. R. y Fernández, J. 1983. El mundo de la química. Curso Teórico-práctico. Ediciones Océano S. A. Barcelona. 96 pág.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer: FAO forestry paper – 134 (en línea). Roma. Disponible en www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm
- Espíritu, J. M.; Quintana, S.; Reátegui, R.; Angulo, P. A.; Macedo, L. A.; Donayre M. R.; Sandoval, J. y Trigozo, R. 2014. "Valoración económica del secuestro de CO₂ y su stock de carbono en las plantaciones del CIEFOR- Puerto Almendra, Iquitos-Perú". Informe final. Iquitos-Perú, 30 pág.
- 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 18-21 de Octubre. Valdivia-Chile, 21 pág.
- Gonzalo, S. J. 2013. Valoración económica del CO₂ secuestrado y su cuantificación del carbono almacenado en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) "marupa" y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) "tornillo" en el CIEFOR, Puerto Almendra, Iquitos – Perú. Tesis. UNAP. Iquitos, 85 pág.
- Guerra, N. U. 2013. Valoración económica del secuestro de CO₂ y stock de carbono en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) "marupa" en cinco edades diferentes en el CIEFOR-Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis UNAP. Iquitos, 54 pág.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) – IPCC, 628 pág.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1984. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. Junta del Acuerdo de Cartagena, PADT – REFORT, 53 pág.
- Nowak, D. J.; Hoehn, R. y Crane, D. E. 2007. Oxygen production by Urban Trees in the United States. International Society Arboriculture. Arboriculture Urban Forestry. Scientific Journal of the International Society Arboriculture. Arboriculture & Urban Forestry, 33 (3), 220-226.
- Prince, J.; y Waage, S. 2007. Negociando por los servicios de la naturaleza. Forest Trends. The Katoomba group. Ecosystem Marketplace. Trad. al español Octubre 2007. Lima, 61 pág.
- Quintana, S. 2006. Influencia de los nutrientes de biomasa foliar en las propiedades químicas del suelo en plantaciones forestales. Puerto Almendra-Loreto. Tesis. UNAP-EPG. Iquitos-Perú, 68 pág.
- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1978. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, 422 pág.
- Stupak, I.; Asikainen, A.; Jonsell, M.; Karlton, E.; Lunnan, A.; Mizraite, D.; et al. 2007. Sustainable utilization of forest biomass for energy-Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. Biomass and Bioenergy, Vol. 31, Issue 10, pp. 665-746.

- Valderrama, H. 2001. Inventario florístico del arboretum el Huayo. Proyecto Jardín Botánico Puerto Almendra. IIAP. UNAP. Iquitos-Perú, 70 pág.
- Vallejo, Á. 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 pág.
- Vásquez, W. P. 2015. Producción de oxígeno en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) "marupa" y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) "tornillo" en cinco diferentes edades en Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis. UNAP. Iquitos, 48 pág.