
Carbono y dióxido de carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* de 4 y 5 años de edad en México

Dora-Alicia García-García¹; Genaro-Esteban García-Mosqueda^{2*}; Javier Jiménez-Pérez³.

¹INIFAP CIRNE CE Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119, 9515 Hacienda de Buena Vista C.P. 25315, Saltillo, Coahuila.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coah.

³UANL Facultad de Ciencias Forestales. Kilómetro 145, Nacional 85, 67700 Linares, N.L.

Artículo recibido el 21 de agosto de 2019 y aceptado el 30 de octubre de 2019

*Carbon and carbon dioxide stored in plantation of *Tectona grandis* 4 and 5 years old in Tizimín, Yucatán, México*

Abstract

Carbon fixation through fast-growing plantations is an alternative to mitigate the increase in atmospheric carbon. The objective of this work is to evaluate and quantify carbon and carbon dioxide in a 4 and 5-year-old *Tectona grandis* (teak) plantation in the San Miguel ranch, Tizimín, Yucatán, Mexico. The research is based on the sampling of permanent sites, in 2017, in an area of 50,000 m²; making measurements of dasometric variables in each tree; the collective data were diameters at 0.3 m above ground level ($d_{0.3}$), chest height diameter ($d_{1.3}$) and diameters every two meters ($d_2, d_4, d_6, d_8, d_{10}, d_{12}, d_{14}$) at total height (h) with the Criterion RD 1000® dendrometer. We obtained that the carbon stored for 4 and 5 years respectively was 18.09 ton / ha and of 29.2 ton / ha, and the CO₂ stored from 66.42 ton / ha and 107.17 ton / ha.

Key words: Carbon, Carbon dioxide, Climate change, Environmental services, *Tectona grandis*.

Resumen

La fijación de carbono a través de plantaciones forestales de rápido crecimiento es una alternativa para mitigar el incremento de dióxido de carbono atmosférico. El objetivo de este trabajo es evaluar y cuantificar el carbono y dióxido de carbono en una plantación de *Tectona grandis* (teca) de 4 y 5 años en el rancho San Miguel, Tizimín, Yucatán, México. La investigación se basa a partir de muestreo de sitios permanentes, obtenidos a partir de inventario forestal, la toma de datos de campo se realizó en el año 2017, en una superficie de 50,000 m²; efectuándose mediciones de variables dasométricas en cada árbol; los datos colectados fueron diámetros a 0.3 m sobre el nivel del suelo ($d_{0.3}$), diámetro a la altura del pecho ($d_{1.3}$) y diámetros a cada dos metros ($d_2, d_4, d_6, d_8, d_{10}, d_{12}, d_{14}$) hasta la altura total (h) con el dendrómetro Criterion RD 1000®. Obtuvimos que el carbono almacenado para 4 y 5 años respectivamente fue de 18.09 ton/ha y de 29.2 ton/ha, y el CO₂ almacenado fue de 66.42 ton/ha y 107.17 ton/ha.

Palabras claves: Carbono, Dióxido de carbono, Cambio climático, Servicios ambientales, *Tectona grandis*..

Introducción

El efecto invernadero se origina por la acumulación de gases en la atmósfera debido a que las partículas permiten el paso de los rayos solares. Estas partículas viajan en una longitud de onda corta por lo que son “transparentes” a los gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, una vez que

entran a la tierra, parte de esta energía se refleja en diferentes proporciones, dependiendo del lugar que refleje, por ejemplo, los océanos y los desiertos reflejan mayor cantidad de luz que las áreas provistas de vegetación.

El carbono se acumula en los ecosistemas forestales mediante la absorción de CO₂ atmosférico y su asimilación en la biomasa. El

carbono se almacena tanto en la biomasa viva (madera en pie, ramas, follaje y raíces), como en la biomasa muerta (hojarasca, restos de madera, materia orgánica del suelo y productos forestales). Cualquier actividad que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y el suelo tiene capacidad para retener o liberar carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera (FAO, 2001).

El proceso de retención de carbono en los sistemas vegetales, se refiere a la capacidad que poseen las plantas de tomar el dióxido de carbono atmosférico, combinarlo con la radiación lumínica y el agua y transformarlo en moléculas de carbono durante la fotosíntesis (Perry, 1994). Las plantaciones forestales y los bosques naturales desempeñan un papel importante en el ciclo global del carbono, porque almacenan los fotoasimilados de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados que varían en función de la composición florística, edad y densidad de población (Andrasko, 1990).

Para el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos: 1. Estimación del volumen en una plantación de *Tectona grandis* de 4 y 5 años de edad. 2. Estimación de la biomasa de cada componente arbóreo (fuste, ramas, hojas) en una plantación de teca *Tectona grandis* de 4 y 5 años de edad. 3. Cuantificación de carbono y dióxido de carbono almacenado en los árboles de la plantación de 4 y 5 años de edad *Tectona grandis*.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en una plantación de 600 hectáreas de *Tectona grandis* L. f (teca) de 4 y 5 años de edad, ubicada en el municipio de Tizimín, Yucatán (Figura 1).

La toma de datos de campo se llevó a cabo en sitios permanentes de muestreo de 1000m², se efectuó mediante las variables dasométricas en cada árbol; los cuales fueron: diámetros a 0.3 m sobre el nivel del suelo ($d_{0.3}$), diámetro a la altura del pecho ($d_{1.3}$) y diámetros a cada dos metros (d_2 , d_4 , d_6 , d_8 , d_{10} , d_{12} , d_{14}) hasta la altura total (h) con el dendrómetro Criterion RD 1000®.

Para la cubicación de trozas se formaron secciones de dos metros de largo, con un diámetro menor y mayor conocidos, fue calculado el volumen con la fórmula de Smalian:

$$V_i = \sum_{i=1}^n \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \cdot L_i$$

Dónde:

V_i = Volumen de las secciones intermediarias (m³);

g_i = Área basal en la i-ésima posición (m²);

L_i = Largo de la sección en la i-ésima posición (2 metros).

Para la determinación de la biomasa y densidad de la madera se colectaron muestras y submuestras del arbolado. Para la toma de datos, se empleó la metodología propuesta por Winrock International (2014), se obtuvieron muestras de árboles que fueron derribados y seccionados.

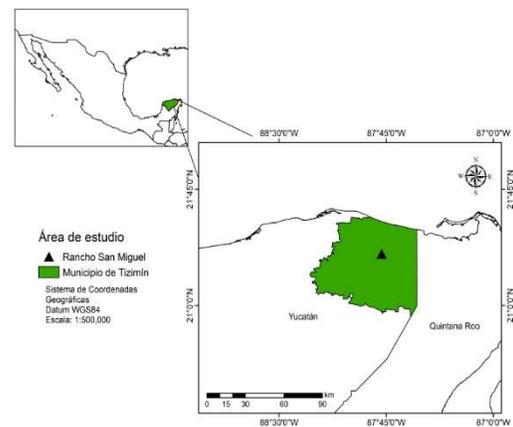


Figura 1. Ubicación de plantación forestal de *T. grandis*.

Para determinar la biomasa del fuste se obtuvieron 3 submuestras con un grosor de 2.5 cm en forma de rodaja de cada árbol, el fuste fue seccionando obteniendo la primera rodaja en el tocón, la segunda rodaja en la parte media del fuste y la tercera rodaja en la parte alta del árbol.

Las ramas se clasificaron por diámetros y se apilaron, se pesaron con una báscula colgante, se tomó como peso húmedo de los árboles evaluados. Se obtuvieron submuestras de cada árbol que fueron colocadas en bolsas de papel con capacidad de 3 kilogramos e identificadas con un código para su traslado al laboratorio.

El muestreo de las hojas se realizó de acuerdo a los puntos cardinales (N, S, E, W). Se separaron de las

ramillas para colocarlas en bolsas de papel con capacidad de 3 kg, se identificaron con un código y se procedió a realizar el peso de cada submuestras, se obtuvieron 3 submuestras de cada árbol las cuales fueron trasladadas al laboratorio.

Para estimar la densidad de la madera se obtuvieron submuestras de 12 árboles representativos de las parcelas de muestreo (edad, diámetro normal, altura total). Las submuestras de madera se extrajeron del fuste principal de la parte baja, central y alta, de 15 cm de longitud.

El procedimiento se llevó a cabo en los Laboratorios de Carbono, Laboratorio de Tecnología de la Madera y Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Las submuestras de los componentes del árbol (fuste, hojas y ramas) se trasladaron al Laboratorio de Carbono de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL., donde se secaron a temperatura de 75 °C en un horno digital de secado marca Riossa modelo HCF-102-D, durante 72 horas. Cada 24 horas se pesaron en una balanza de calibración electrónica con peso máximo de 2 kg, hasta alcanzar un peso constante.

Se empleó la metodología propuesta por Castellanos *et al.* (2010), donde mencionan que para cuantificar la biomasa total de cada parte vegetativa analizada (hojas, ramas y ramillas); es necesario utilizar el peso seco final (biomasa) de las submuestras recolectadas, relacionándolas con el peso húmedo tanto de las submuestras como las del total del árbol pesadas durante la fase de campo. López (2018) utilizó las siguientes ecuaciones para obtener la biomasa de hojas, ramas y ramillas:

$$BH = PFH (kg) * Promedio\left(\frac{Psm (kg)}{Pfm (kg)}\right)$$

$$Bram = PFRam (kg)$$

$$* Promedio\left(\frac{Psmram (kg)}{Pfmram (kg)}\right)$$

$$Bras = PFRas (kg)$$

$$* Promedio\left(\frac{Psmras (kg)}{Pfmras (kg)}\right)$$

Las submuestras de las rodajas del fuste se trasladaron al Laboratorio de Tecnología de la Madera, de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL. El material en estado verde, se apiló bajo techo y se acondicionó hasta alcanzar 12% de contenido de humedad a continuación, se elaboraron las probetas definitivas, 135 de 5 cm x 5 cm x 10 cm de longitud para determinar la

densidad de la madera.

Se siguió la metodología sugerida por las normas COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos); 460 (Método de determinación de contenido de humedad en maderas); 461 (Cálculo del peso específico en maderas) (COPANT, 1972).

La norma COPANT 460 precisa el método para la determinación de humedad de la madera mediante la ecuación siguiente:

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} * 100$$

Dónde:

CH= Contenido de humedad (%);

Ph= Peso de la madera húmeda (g);

Po= Peso anhidro de la madera (g).

El método para calcular la densidad de la madera se basa en la norma COPANT 461; una vez extraídas se midieron con un calibrador (vernier) y se pesaron en una báscula digital Ohaus con precisión de 0.0001 g. Posteriormente se introdujeron en una estufa de secado Mapsa modelo HDP-334 a 105 °C, donde se les monitoreó hasta obtener peso constante, se midieron de nuevo y se pesaron para registrar los pesos y volúmenes anhidros.

Para la determinación del carbono de los componentes del árbol (madera, corteza, hojas y ramas) se trasladaron las muestras al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL, se pulverizaron las submuestras de cada componente (madera, hojas y ramillas) en un molino marca Marathon Electric serie C20J020016, se colocaron en bolsas de polietileno etiquetadas con un código con un peso promedio de 90 g cada una. Posteriormente se pesaron 2 mg de cada submuestras en una balanza. La concentración de carbono total se determinó con un equipo analítico denominado Solids TOC Analyzer modelo 1020A de O·I·Analytical; éste determina las concentraciones en muestras sólidas mediante combustión completa, a temperatura de 900 °C, los gases producto de la combustión son medidos a través de un detector de infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en estos gases.

Para la densidad básica se muestreó la parte alta, media y baja del fuste g/cm³, se aplicaron las siguientes relaciones:

$$D_b = \frac{P_o}{V_v}$$

Donde:

Db= Densidad básica (g cm³);

Po= Peso anhidro de la madera (g);

Vv= Volumen verde de la probeta (cm³).

$$D_v = \frac{P_v}{V_v}$$

Donde:

Dv= Densidad verde (g cm³);

Pv= Peso verde de la madera (g);

Vv= Volumen verde de la probeta (cm³).

$$D_o = \frac{P_o}{V_o}$$

Donde:

Do= Densidad seca (g cm³);

Po= Peso anhidro de la madera (g);

Vo= Volumen anhidro de la probeta (cm³).

Para la biomasa del fuste se utilizó esta ecuación:

$$BF = Db * Vol fustal * 1,000$$

Donde:

BF= Biomasa del fuste (kg);

Db= Densidad básica (g/cm³);

Vol fuste= Volumen fustal (m³).

Para la biomasa total del follaje se utilizó:

$$BTfollaje = PFT follaje * \frac{PSM follaje}{PFM follaje}$$

Donde:

BT follaje= Biomasa total del follaje (kg);

PFT follaje= Peso fresco total del follaje (kg);

PSM follaje= Peso seco de la muestra (kg);

PfM follaje= Peso fresco de la muestra (kg).

Para la biomasa total de ramas se utilizó:

$$BT ramas = PFT ramas * \frac{PSM ramas}{PFM ramas}$$

Donde:

BTramas= Biomasa total de ramas (kg);

PFT ramas= Peso fresco total de ramas (kg);

PSM ramas= Peso seco de la muestra (kg);

PFM ramas= Peso fresco de la muestra (kg).

La biomasa total de ramillas se calculó:

$$BT ram = PFT ramillas * \frac{PSM ramillas}{PFM ramillas}$$

Donde:

BT ramillas= Biomasa total de ramillas (kg);

PFT ramillas= Peso fresco total de ramillas (kg);

PSM ramillas= Peso seco de la muestra (kg);

PFM ramillas= Peso fresco de la muestra (kg).

Los resultados de la biomasa total árbol se obtuvieron mediante sumatoria de los pesos secos de cada componente (fuste, ramas, ramillas y hojas):

$$BT \text{ árbol} = BF + BT \text{ follaje} + BT \text{ ramas} + BT \text{ ramillas}$$

Donde:

BT árbol= Biomasa total árbol (kg);

BF= Biomasa del fuste (kg);

BT follaje= Biomasa total del follaje (kg);

BT ramas= Biomasa total de ramas (kg);

BT ramillas= Biomasa total de ramillas (kg).

El Factor de expansión de biomasa se calculó a partir de los datos de biomasa previamente estimados. Se utilizó la siguiente ecuación para su cálculo:

$$FEB = \frac{B \text{ total}}{B \text{ fuste}}$$

Donde:

FEB= Factor de expansión de biomasa;

B total= Biomasa total (kg);

B fuste= Biomasa fuste (kg).

El Factor de conversión de biomasa a carbono es el porcentaje de carbono, en masa, que tiene la madera, es decir; Carbono 50%; Oxígeno 41%; Hidrógeno 6%; Nitrógeno 1% y Cenizas 2%. Por tanto, la cantidad de Carbono por tonelada de materia seca se aproxima a 500 kg (50%) (Norverto, 2006). Se calculó con la siguiente ecuación:

$$C \text{ total} = \frac{B}{1000} * FCBC$$

Donde:

C total= Carbono total (ton);

B= Biomasa (kg);

FCBC= Factor de conversión de biomasa a carbono.

Para cuantificar el carbono en los árboles se efectuó muestreo destructivo y se utilizó la siguiente ecuación:

$$C \text{ acumulado} (tC/\text{árbol}) = [(V_{cc} * D * FEB)] * [(1.1) * 0.5]$$

Para cuantificar dióxido de carbono en los árboles se efectuó muestreo destructivo y se utilizó la siguiente ecuación:

$$CO_2 \text{ acumulado (tCO}_2\text{/árbol)} \\ = [(V_{cc} * D * FEB) \\ * ((1.1) * FC)] * [FCO_2]$$

Dónde:

V_{cc}= Volumen con corteza del fuste, es decir, del tronco del árbol sin considerar ramas ni raíces;
D= Densidad de materia seca (g/cm³) del árbol recién cortado;

FEB= Factor de expansión de biomasa, parámetro o función que permite estimar el volumen aéreo del árbol a partir de su volumen maderable, es decir, multiplicando el V_{cc} por el FEB obtendremos el volumen de todo el árbol;

Factor R= Relación entre biomasa aérea y raíces;
Factor FC= Factor de conversión de tonelada de materia seca (tms) a tonelada de carbono (tC);
FCO₂= Proporción molecular para pasar de carbono (C) a dióxido de carbono (CO₂).

Resultados y discusión.

El volumen de la plantación de *Tectona grandis* en el Rancho San Miguel, municipio de Tizimín, Yucatan; para la edad de 4 años es de 37.8m³/ha y para las plantas de 5 años de edad 57.04m³/ha (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticos de las variables dasométricas de *T. grandis* de 4 y 5 años de edad.

Variables	4 años	5 años
Diámetro (cm)	10.33	11.74
Altura (m)	8.13	9.54
Área basal m ² /ha	7.21	9.31
Volumen (m ³ /ha)	37.81	57.04

Se generaron gráficas de dispersión de *T. grandis*, que permiten ver la tendencia de los datos y el comportamiento de las variables independientes sobre la variable dependiente, de esta manera se determina si la ecuación es lineal, cuadrática, exponencial o logarítmica (Figuras 2 y 3).

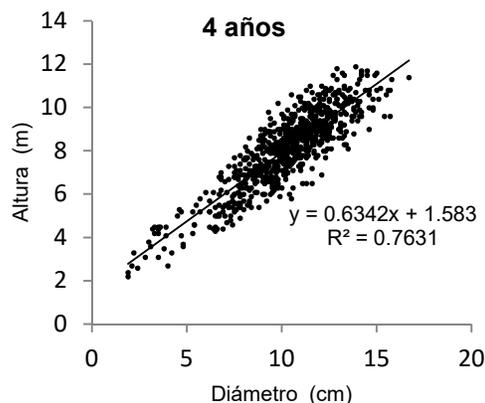


Figura 2. Relación lineal del diámetro normal y la altura total de la plantación de teca de 4 años de edad.

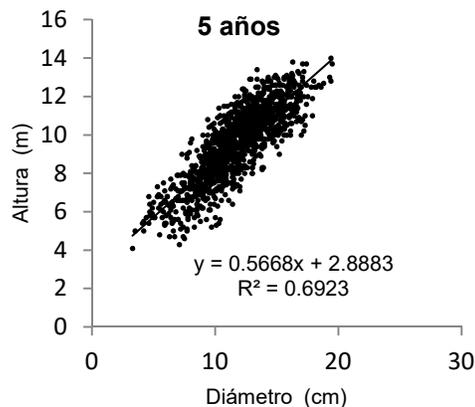


Figura 3. Relación lineal del diámetro normal y la altura total de la plantación de teca de 5 años de edad.

Cuadro 2. Densidad de la madera de *Tectona grandis*.

Densidad g/cm ³	4 años			5 años		
	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.
Básica	0.46	0.56	0.39	0.48	0.58	0.40
Verde	1.04	1.14	0.95	1.03	1.15	0.92
Anhidra	0.54	0.81	0.42	0.54	0.69	0.44

La densidad básica de *Tectona grandis* mostró valor promedio de 0.48 g/cm³ (Cuadro 2), es inferior a lo reportado por Telles *et al.* (2017), quienes determinaron una densidad básica de 0.59g/cm³ en una plantación de 11 años de edad y por Rodríguez *et al.* (2014), quienes reportan un

valor de 0.55 g/cm³ en plantaciones establecidas en Campeche.

Los resultados de la biomasa, de cada componente arbóreo se presentan en el cuadro 3; así mismo en la figura 4 se puede observar que la biomasa contenida es en el fuste es 53% para los individuos de 4 años y 50% para los árboles de 5 años.

Cuadro 3. Biomasa promedio por componente de árboles de *T. grandis*

Biomasa (Kg)	4 años	5 años
B. Hojas	1.930	4.911
B. Ramas	4.581	12.67
B. Fuste	7.299	17.85
B. Total	13.82	35.45

López (2018), reporta para una plantación de *Tectona grandis* de 15 años de edad en Guatemala, que el 92% de la biomasa total, se encuentra en el fuste. Mientras que los resultados en la presente investigación y para la edad de plantación de 4 y 5 años de edad indican que tan solo el 53% y 50% respectivamente de la biomasa total se encuentra en el fuste.

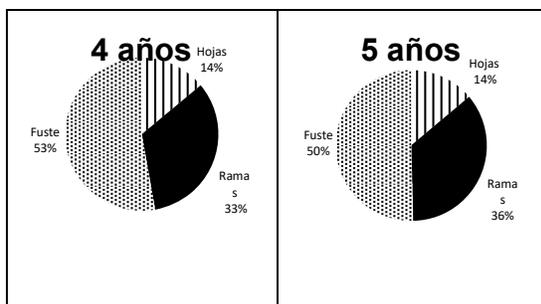


Figura 4. Porcentaje de biomasa contenida en la estructura aérea de *T. grandis* en plantación de 4 y 5 años.

En el cuadro 4 se presentan los resultados del factor de expansión de la biomasa, que se obtuvo, mediante la división de la biomasa aérea total entre la biomasa seca del fuste, que fue de 1.93 y 2.02, para la plantación de 4 y 5 años de edad respectivamente, lo cual es mayor a lo reportado por Orrala y Guiracocha (2007), quienes determinaron un FEB de 1.39. Mientras que Soliz (1998), en Bolivia, encontró un FEB de 2.5 para las especies evaluadas en un bosque subhúmedo estacional.

Cuadro 4. Factor de expansión de la biomasa *T. grandis*, plantación de 4 y 5 años

Edad años	FEB	N	Max	Min	DE
4	1.93	10	2.34	1.43	0.347
5	2.02	8	2.62	1.38	0.450

FEB= Factor de expansión de biomasa. N= Numero de datos observados. Max= Máximo. Min= Mínimo. DE= Desviación estándar.

El factor de conversión de biomasa a carbono para la edad de 4 y 5 años fue de 0.49 y 0.48, respectivamente; Yereña (2012), obtuvo 0.50 en promedio para los árboles presentes en el noreste de México.

Los resultados de la cuantificación de biomasa, carbono almacenado y el bióxido de carbono almacenado para la plantación de *T. grandis* de 4 y 5 años de edad, se muestran en los cuadros 5, 6 y 7 respectivamente.

Cuadro 5. Biomasa acumulada en la plantación de teca.

Edad años	Superficie ha	Biomasa ton/ha	Superficie ha/biomasa ton/ha
4	198	33.572	6,654.90
5	401	55.311	22,201.20

El carbono almacenado fue de 18.095ton/ha (4años) y 29.204ton/ha (5 años), estos resultados son mayores a lo reportado por Villavicencio (2015) en una plantación de *Tectona grandis* de 6 años de edad con una cantidad de carbono almacenado de 11.78 ton/ha.

Cuadro 6. Carbono acumulado en la plantación de teca.

Edad años	Carbono ton/árbol	Superficie ha	Carbono ton/ha	Superficie ha/carbono ton/ha
4	0.0221	198	18.095	3,587.92
5	0.0357	401	29.204	11,720.54

Así mismo Jaramillo y Correa (2015), reportan 17.15 toneladas de C/ha en una plantación de 6 años y de bióxido de carbono acumulado reportaron 62.95 ton/ha, mientras que en esta investigación obtuvimos mayor cantidad (66.410 y 107.179 ton/ha), a pesar que la plantación es de menor edad 4 y 5 años respectivamente. Sin embargo, Orrala y Guiracocha (2007), reportan 84.12ton/ha de carbono, siendo este mayor que el estimado para el presente estudio.

Cuadro 7. Bióxido de carbono acumulado en la plantación de teca.

Edad años	CO ₂ ton/árbol	Superficie ha	Bióxido de carbono (ton/ha)	Superficie ha/CO ₂ ton/ha
4	0.0814	198	66.410	13,164.29
5	0.1313	401	107.179	43,020.82

Conclusiones

La fijación de carbono a través de plantaciones forestales de rápido crecimiento es una alternativa para mitigar el incremento de bióxido de carbono atmosférico (Fearnside, 1999; Brown, 2002). Para estimar esta retención a nivel de planta es necesario contar con modelos matemáticos que relacionen las principales variables dasométricas (diámetro, área basal y altura) a evaluar en las especies con su biomasa y contenido de carbono.

Esta actividad de los árboles de retener bióxido de carbono, es un servicio ambiental, que presta la plantación de *Tectona grandis*. En futuras áreas a restaurar o plantaciones a realizar, ya se cuenta con la cantidad de retención de carbono y bióxido de carbono, para darlo a conocer como un plus de dicha plantación, es decir, una plantación a los 4 años, tendrá 66.41 ton/ha, (de esta especie) independientemente del objetivo de la plantación.

Referencias

Andrasko, K. (1990). Global warming and forests: an overview of current knowledge. *Unasylva* 4:3-11.

Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Forest Ecology and Management* 116:363-372.

Castellanos, E.; Quilo, A.; Mato, R. (2010). Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 24 p.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). (1972). Madera-Selección y colección de muestras (458, 459, 461, 462, 555, 464, 466). Buenos Aires, Argentina. s/p.

FAO. (2001). Situación de los bosques en el mundo. Montes. Roma, Italia. 175 pp.

Fearnside, P.M. (1999). Forests and global warming mitigation in Brazil: opportunities in the Brazilian forest sector for responses to global warming under the "clean

development mechanism". *Biomass and Bioenergy* 16:171-189.

Jaramillo, R.; Correa, H. (2015). Cuantificación de biomasa área total, carbono almacenado y CO₂ fijado en árboles teca (*Tectona grandis* linn f) en una parcela de muestreo rectangular de 500 m², en una hacienda en la Provincia de El Oro. En Memoria de Artículos del I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. pp. 14-19.

López, H.; Vaides, E.; Alvarado, A. (2018). Evaluación del carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*, 42(1): 137-153.

Norverto, C.A. (2006). La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina. Buenos Aires, Argentina. Editorial GRAM.

Orrala, R.; Guiracocha, G. (2007). Almacenamiento de carbono en dos sistemas silvopastoriles instalados en Quevedo Provincia de Los Ríos. (Tesis de grado) Ecuador 11.

Perry, D. 1994. Forest ecosystems. John Hopkins University Press. Baltimore, U.S.A. pp 187-193.

Perry, D.A. (1994). Forest ecosystems. John Hopkins University Press. Baltimore, U.S.A. pp 187-193.

Rodríguez, R.; Zamora, J.; Silva, J.; Salcedo, E.; Fuentes, F. (2014). Propiedades físico-mecánicas de madera de teca de plantaciones comerciales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24): 12-25.

Soliz, B. (1998). Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 113 p + anexos. Sprugel DG. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 64(1): 209-210.

Telles-Antonio, R.; Nájera-Luna, J.A.; Alanís-Rodríguez, E.; Aguirre-Calderón, O.A.; Jiménez-Pérez, J.; Gómez-Cárdenas, M.; Muñoz-Flores, H.J. (2017). Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(40): 37-56.

Villavicencio, G. (2015). Estimación de carbono almacenado en biomasa aérea en plantación de Teca (*Tectona grandis* LF:), ubicada en la parroquia Huámbi, provincia de Morona Santiago (Tesis de grado). Loja, Ecuador.

Winrock International. (2014). Winrock terrestrial carbon measurement sops. Sop destructive sampling of tres, saplings, palms, bamboo, and non-tree Woody vegetation. Disponible en: http://www.leafasia.org/sites/default/files/public/resources/Winrock_Terrestrial_Carbon_Field_SOP_Manual_July2014%20to%20print.pdf

Yerena, I.; Jiménez, J.; Aguirre, O.; Treviño, E.; Alanís, E. (2012). Concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas del noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(13): 49-56.