



Estimación de carbono acumulado en *Gmelina arborea* Roxb. en Tlatlaya, Estado de México mediante ecuaciones alométricas

Accumulated carbon estimation in *Gmelina arborea* Roxb. from Tlatlaya, Estado de México with allometric equations

Ricardo Telles Antonio, Eduardo Alanís Rodríguez*, Javier Jiménez Pérez, Oscar Alberto Aguirre Calderón y Eduardo Javier Treviño Garza

Abstract

Based on the carbon storage capacity of forest species, the accumulated carbon in an eight ha plantation, of *Gmelina arborea* of different ages, established in 2014, was estimated by means of mensuration variables and allometric equations; This plantation is located in Tlatlaya, State of Mexico, at 694 masl, with a slope of 40 % and a density of 1 040 ha⁻¹ trees. Work was carried out on eight permanent circular sampling plots of 400 m² and a radius of 11.28 m, in which 207 trees were counted in total. An analysis of variance was performed and compared with the Tukey means test ($p < 0.05$). The results indicate that the increase in DAP was 0.75 cm and the height of 0.54 m in the measurement period (six months); the biomass is distributed in the trunk (72.54 %), branches (18.37 %) and root (9.09 %) of the trees. The carbon accumulated in the tree components showed significant statistical differences in the ages evaluated. After three years the carbon accumulated in the trunk was 6.07 t ha⁻¹, in the branches, 1.49 t ha⁻¹, at the root of 0.76 t ha⁻¹ and the total carbon accumulated, 8.31 t ha⁻¹. It is concluded that the managed values of the predictive variables in the equation adjusted to estimate the carbon accumulated in the plantation of *G. arborea* vary by factors such as age, edaphoclimatic conditions, silvicultural practices and woodland density.

Key words: Biomass, forest management, mathematical model, forest plantation, carbon sequestration, environmental services.

Resumen

Con base en la capacidad de almacenamiento de carbono de las especies forestales, se estimó el carbono acumulado en una plantación de 8 ha, de *Gmelina arborea* de diferentes edades, establecida en 2014, por medio de variables dasométricas y ecuaciones alométricas; dicha plantación se ubica en Tlatlaya, Estado de México, a 694 msnm, con una pendiente de 40 % y una densidad de 1 040 árboles ha⁻¹. Se trabajó en ocho parcelas permanentes de muestreo, circulares de 400 m² y un radio de 11.28 m, en las cuales se contabilizaron 207 árboles. Se realizó un análisis de varianza y se comparó con la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los resultados indican que el incremento del DAP fue de 0.75 cm y la altura de 0.54 m en el periodo de medición (seis meses); la biomasa se distribuye en el fuste (72.54 %), ramas (18.37 %) y raíz (9.09 %) del arbolado. El carbono acumulado en los componentes del árbol mostró diferencias estadísticas significativas en las edades evaluadas. A los tres años el carbono acumulado en el fuste fue de 6.07 t ha⁻¹, en las ramas, de 1.49 t ha⁻¹, en la raíz de 0.76 t ha⁻¹ y el carbono total acumulado, de 8.31 t ha⁻¹. Se concluye que los valores manejados de las variables predictoras en la ecuación ajustada para estimar el carbono acumulado en la plantación de *G. arborea* varían por factores como la edad, las condiciones edafoclimáticas, las prácticas silvícolas y la densidad del arbolado.

Palabras clave: Biomasa, manejo forestal, modelo matemático, plantación forestal, secuestro de carbono, servicios ambientales.

Fecha de recepción/Reception date: 13 de junio de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de agosto de 2019

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

*Autor para correspondencia: eduardoforestal@gmail.com

Introducción

Una de las opciones para mitigar el cambio climático es la captura y almacenamiento de carbono, por su alto potencial para reducir los gases de efecto invernadero de la atmósfera (Benea, 2017). El carbono es absorbido por la vegetación con la fotosíntesis y por el suelo de los ecosistemas por medio de la dinámica del carbono, que consta de los aportes de material vegetal muerto, su pérdida por mineralización y su acumulación por humificación; por lo tanto, este componente almacena la mayor cantidad del elemento (IPCC, 2015).

La importancia de la biomasa de las especies arbóreas en el almacenamiento de carbono ha sido reconocida desde hace varias décadas (Bohre *et al.*, 2013); en este contexto, las plantaciones forestales son particularmente valiosas (Rasineni *et al.*, 2011) y, más aún, cuando se incorporan *taxa* de rápido crecimiento (Norby *et al.*, 2005).

Existe un potencial de absorción de carbono en la biomasa que podría preservar el carbono durante decenios en la madera. Además, la utilización de la biomasa con fines energéticos, a partir de los subproductos de desecho de la madera o de las cosechas, o de árboles cultivados destinados expresamente a ese fin podría originar una reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero, si se reemplazara a los combustibles de origen fósil (IPCC, 2015).

México tiene una superficie con plantaciones forestales comerciales de 270 mil ha de las principales especies maderables, entre las cuales *Gmelina arborea* Roxb. ocupa 24 061 ha⁻¹ (Conafor, 2014).

A nivel internacional se han desarrollado diversos estudios orientados a la estimación del carbono almacenado en plantaciones de *G. arborea* con el uso de ecuaciones alométricas. En la India, Bohre *et al.* (2013) calcularon el carbono acumulado a partir del diámetro normal (1.30 m) y la altura total como variables predictoras. En Colombia, Melo (2015) con modelos basados en procesos como la radiación fotosintéticamente activa; la temperatura; la disponibilidad de agua en el suelo, entre otros, estimó el carbono almacenado. En ese mismo país años después, Patiño *et al.* (2018) estimaron el carbono almacenado en función del diámetro normal (1.30 m) en una plantación de cinco años de edad. En México, Cámara *et al.* (2013) determinaron el carbono almacenado en

plantaciones cuatro años de edad establecidas en Tabasco. Si bien, existen investigaciones que evalúan el carbono acumulado de *G. arborea* para algunas regiones, todavía falta evaluar el potencial de almacenamiento que representan las del Estado de México, con esta especie.

Por lo antes expuesto, el objetivo del estudio que se describe a continuación consistió en estimar el carbono acumulado a partir de variables dasométricas y ecuaciones alométricas en una plantación de *Gmelina arborea* Roxb. de diferentes edades, ubicada en Tlatlaya, Estado de México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la plantación forestal comercial (PFC) de *G. arborea* localizada en el predio Las Piñas, municipio Tlatlaya, Estado de México (Figura 1). La región forma parte de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y de la subprovincia Depresión del Balsas (INEGI, 2009). Las coordenadas geográficas del área de interés son $18^{\circ}22' N$ y $100^{\circ}04' O$; su altitud promedio es de 694 m y presenta una pendiente de 40 %.

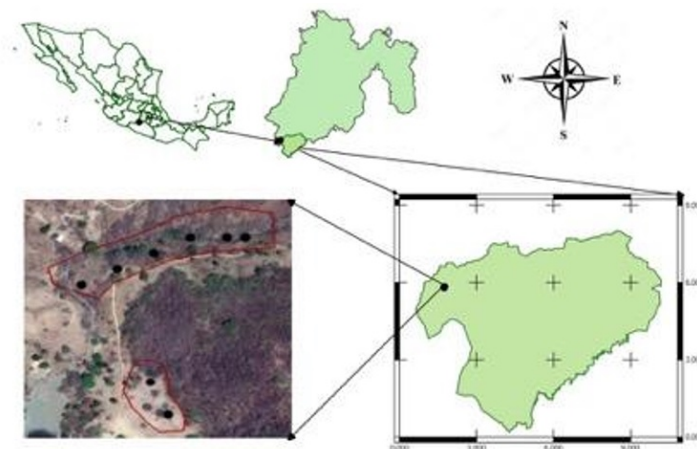


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de Tlatlaya, Estado de México.

Los árboles están plantados con un espaciamiento de 3.10 m × 3.10 m, que corresponde a una densidad de 1 040 árboles ha⁻¹, en una superficie de ocho hectáreas, establecida en el año 2014. Los tipos de suelo en el lugar son Phaeozem (37.34 %), Regosol (34.5 %), Leptosol (10.1 %), Luvisol (10.1 %), Cambisol (6.5 %), Vertisol (0.76 %) y Fluvisol (0.31 %) (INEGI, 2009).

El clima es del tipo Aw₁, cálido subhúmedo con lluvias en verano y humedad de 70.88 %; y del tipo Aw₂, cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (20.14 %), temperatura media anual de 18 °C a 28 °C y de precipitación anual 1 000 mm a 1 500 mm (INEGI, 2009).

Datos dasométricos

La toma de datos de campo se realizó en 2016 y 2017, a los 2.4, 2.6, 2.8 y 3 años de la plantación. Se utilizó un muestreo sistemático, mediante el cual se delimitaron ocho parcelas permanentes de muestreo, circulares con un radio de 11.28 m (400 m²) que en total formaron un área inventariada de 3 200 m², que corresponden a una intensidad de muestreo de 4 %. En total, se obtuvo un inventario de 207 árboles, de los cuales se registraron datos de DAP a 1.3 m (d_{1.3}) por medio de una forcípula *Haglof Sweden*[®], y la altura total con el hipsómetro *Nikon Forestry Pro*[®]. Con esas variables se obtuvieron datos relativos al área basal y volumen fustal con la ecuación de cubicación de Rodríguez y Castañeda (2014) (Ecuación 1), además de la biomasa de fuste, biomasa de ramas, biomasa de follaje, biomasa aérea total, carbono en fuste, carbono en ramas, carbono en follaje y carbono total del árbol, para estimar el carbono acumulado en la parte aérea de la plantación a los 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 años.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h \cdot ff \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen (m^3)

D = Diámetro (m)

h = Altura total (m)

ff = Factor de forma (0.46)

Estimación de biomasa aérea (fuste y ramas) y carbono acumulado

Se cuantificó la biomasa con un muestreo no destructivo en los componentes de cada árbol de *Gmelina* que integran la plantación (fuste y ramas) (Ordóñez *et al.*, 2001; López *et al.*, 2016). Para la biomasa aérea se trabajó con las ecuaciones propuestas por Arias *et al.* (2011) para plantaciones de la misma especie en Costa Rica (ecuaciones 2 y 3):

$$B_{fuste} = 0.075 \cdot (d)^{2.4167} \quad (2)$$

$$B_{ramas} = 0.1001 \cdot (d)^{1.662} \quad (3)$$

Donde:

d = Diámetro normal (cm)

B_{fuste} = Biomasa de fuste (kg)

B_{ramas} = Biomasa de ramas (kg)

Relación biomasa radical/biomasa total (R/T)

Fonseca *et al.* (2009) utilizaron el valor de 0.10 de Mac Dicken (1997), que es un valor conservador para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en Costa Rica.

Factor de conversión (FC)

Factor de conversión de tonelada de biomasa (materia seca) a tonelada de carbono (tC). Es el porcentaje de carbono en masa que tiene la madera; carbono 50 %; oxígeno 41 %; hidrógeno 6 %; nitrógeno 1 % y cenizas 2 %, por lo que la cantidad de carbono por tonelada de biomasa (materia seca) se aproxima a 500 kg (50 %) (Norverto, 2006). Para el presente estudio se consideró el valor de 0.4, que coincide con lo referido para plantaciones jóvenes de *Gmelina* (entre 4 y 15 años) por Cubero y Rojas (1999) quienes calcularon un intervalo entre 0.32 y 0.4.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (Anova) y comparación de medias de *Tukey* (<0.05) con el programa estadístico *Statistica* (Guisande *et al.*, 2013) para determinar la diferencia estadística en la PFC de *G. arborea* a diferentes edades.

Resultados

Con base en los inventarios forestales realizados en diciembre de 2016, febrero, abril y junio de 2017, la PFC está establecida en una superficie de 8 ha, con las siguientes características:

Variables dasométricas

El análisis de varianza evidenció una alta diferencia significativa en las variables diámetro normal y altura total en las edades consideradas de la PFC, con una probabilidad ($p < 0.005$). La comparación de medias de *Tukey* mostró que el diámetro de la plantación en las distintas edades fue estadísticamente diferente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de medias de las variables dasométricas de *Gmelina arborea* Roxb. establecida en Tlatlaya, Estado de México.

Edad (años)	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	Volumen fustal ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
2.4	7.89 a	5.68 a	5.43 a	15.09 a
2.6	8.12 b	5.80 b	5.74 b	16.31 b
2.8	8.33 c	5.92 c	6.04 c	17.54 c
3.0	8.64 d	6.22 d	6.46 d	19.63 d

*Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

El incremento de diámetro normal en la PFC entre los 2.4 y los 3.0 años fue de 0.75 cm, con diferencia significativa (Cuadro 1).

La altura total del arbolado también presentó diferencias significativas en las edades de medición, con un incremento de 0.54 m (Cuadro 1).

Con respecto al área basal, además de las diferencias significativas en las edades, registró un incremento de $1.03 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ de los 2.4 a los 3.0 años de la plantación.

El volumen fustal exhibió diferencias significativas ($p \leq 0.00$), con una probabilidad de ($p < 0.05$) en el análisis de varianza. La prueba de comparación de medias de *Tukey*, indicó diferencia estadística significativa en las edades y un incremento de $4.55 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$.

Biomasa de fuste, ramas, raíz y total

La biomasa de fuste tuvo diferencias significativas en las edades de medición; este componente representa 72.10 %, 72.41 %, 72.67 % y 73 % de la biomasa a los 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 años, respectivamente; además mostró un incremento de 2.85 t ha⁻¹ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de las medias de la biomasa de fuste, ramas, raíz y total de *Gmelina arborea* Roxb. establecida en Tlatlaya, Estado de México.

Edad (años)	Biomasa fuste (t ha ⁻¹)	Biomasa ramas (t ha ⁻¹)	Biomasa aérea (t ha ⁻¹)	Biomasa raíz (t ha ⁻¹)	Biomasa total (t ha ⁻¹)
2.4	12.32 a	3.21 a	15.53 a	1.55 a	17.09 a
2.6	13.19 b	3.37 b	16.56 b	1.66 b	18.21 a
2.8	14.00 c	3.51 c	17.51 c	1.75 c	19.27 c
3.0	15.17 d	3.72 d	18.89 d	1.89 d	20.78 d

*Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

La biomasa de ramas registró diferencias significativas en las distintas edades, lo cual representa 18.81 %, 18.50 %, 18.24 % y 17.91 % de biomasa a los 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 años respectivamente (Cuadro 2).

La biomasa de raíz, que constituyó 9.09% de la biomasa total del arbolado, también registró diferencias significativas (Cuadro 2).

En general, los componentes de la biomasa total (fuste, ramas y raíz) evidenciaron una distribución similar en las diferentes edades estudiadas (Figura 2).



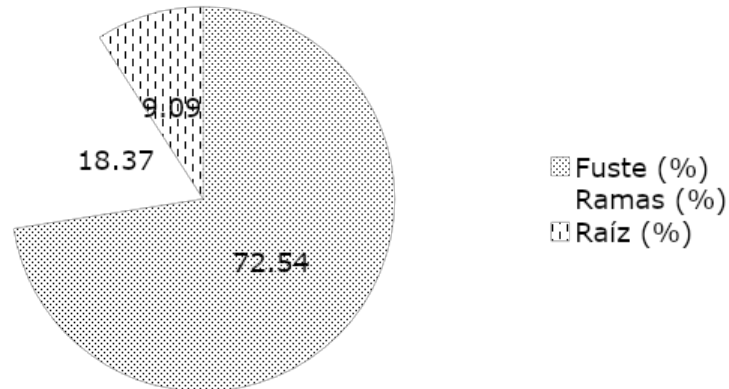


Figura 2. Distribución de los componentes de biomasa total de árboles de *Gmelina arborea* Roxb. de la PFC establecida en Tlatlaya, Estado de México.

Carbono de fuste, ramas, raíz y total

El resultado de la prueba de medias de *Tukey* para el carbono acumulado en los componentes del arbolado (fuste, ramas, aéreo y total) en las cuatro edades de medición presentó diferencias significativas, a excepción del carbono acumulado en la raíz a los 2.6 y 2.8 años, que no demostró diferencias significativas (Cuadro 3). El fuste reunió 73.86 % de carbono acumulado en las distintas edades, seguido por las ramas con 18.71 % y la raíz que acumuló carbono en menor proporción (7.43 %). Se observó que la acumulación de carbono en los componentes (fuste, ramas y raíz) exhibió una distribución similar en las diferentes edades de medición de los árboles de *G. arborea* (Figura 3).



Cuadro 3. Comparación de medias de carbono acumulado total, en fuste, ramas y raíz de *Gmelina arborea* Roxb. establecida en Tlatlaya, Estado de México.

Edad (años)	Fuste (t ha⁻¹)	Ramas (t ha⁻¹)	Aéreo (t ha⁻¹)	Raíz (t ha⁻¹)	Total (t ha⁻¹)
2.4	4.93 a	1.29 a	6.21 a	0.16 b	6.37 a
2.6	5.28 b	1.35 b	6.62 b	0.66 a	7.29 b
2.8	5.60 c	1.41 c	7.01 c	0.70 a	7.71 c
3.0	6.07 d	1.49 d	7.56 d	0.76 c	8.31 d

*Letras diferentes en las columnas señalan diferencia significativa ($p < 0.05$).

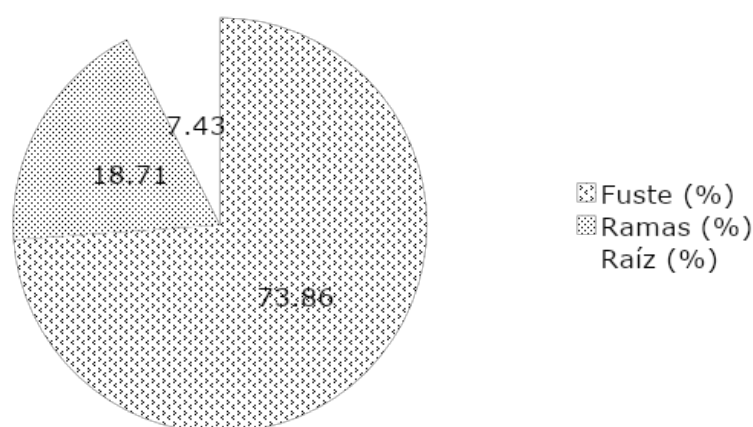


Figura 3. Distribución de los componentes de carbono total acumulado en árboles de *Gmelina arborea* Roxb. de la PFC establecida en Tlatlaya, Estado de México.

Discusión

Con base en los resultados se estimó que los árboles *G. arborea* de la PFC presentaron un incremento en diámetro normal de 0.75 cm y un incremento en altura de 0.54 m, en un período de seis meses, con diferencias significativas; la altura total fue de 6.22 m y el DAP promedio de 8.64 cm a los 3.0 años, con una densidad de 1 040 árboles ha⁻¹; Cámara *et al.* (2013) describieron una altura total de 5.96 m y un DAP promedio

de 11.04 cm en una plantación de *G. arborea* de cuatro años, a una densidad de 906 árboles ha⁻¹, establecida a 20 msnm en el estado de Tabasco; concluyeron que la altura total y el DAP influyeron en la cantidad de biomasa y de carbono acumulado en el arbolado. Estos resultados difieren de los obtenidos para *G. arborea* establecida a 694 m; Jiménez (2016) recomienda hacer el primer aclareo en plantaciones de dicha especie bajo una intensidad de 50 al 25 % a los tres o cuatro años, e indica que el objetivo es favorecer a los árboles más vigorosos, con buena forma, los cuales se dejarán para la cosecha final a la edad de 10 a 12 años con una densidad de 277 a 416 árboles ha⁻¹, respectivamente.

La biomasa del componente fuste fue de 72.54 %, el de ramas 18.37 % y de la raíz 9.09 % en la plantación en las diferentes edades evaluadas, valores que concuerdan con los datos de Emanuelli y Milla (2014), quienes indicaron que el componente fuste aporta de 55 a 70 %, y el de las hojas entre 10-37 %. La distribución de biomasa por componentes en el arbolado de *G. arborea* coincide con lo citado por López *et al.* (2016), autores que obtuvieron un promedio de 70.20 % en el componente fuste y 29.83 % en ramas, y registran diferencias estadísticas significativas en plantaciones de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müell. Arg. de diferentes edades y establecidas en Tabasco, México.

El carbono acumulado en los componentes del arbolado de la plantación de *G. arborea* a los tres años fue de 6.07 t ha⁻¹ en el fuste, 1.49 t ha⁻¹ en las ramas, 0.76 t ha⁻¹ en las raíces y 8.31 t ha⁻¹ de carbono total acumulado; este resultado es inferior al de Cámara *et al.* (2013), quienes determinaron que el carbono almacenado es de 15.54 t ha⁻¹ en plantaciones de *G. arborea* de cuatro años, con una densidad de 906 árboles ha⁻¹ en Tabasco; asimismo difiere con lo consignado por Melo (2015), quien estimó con ecuaciones alométricas y modelos basados en procesos (radiación fotosintéticamente activa, temperatura, disponibilidad de agua en el suelo, etcétera) que la plantación forestal de *G. arborea* con una densidad de arbolado de 1 100 árboles ha⁻¹ de seis años establecida en Colombia a una altitud de 595 m almacena 24.39 t ha⁻¹; Patiño *et al.* (2018) calcularon la captura de carbono en la biomasa de *G. arborea* en una plantación colombiana, a una altitud de 250 m, con una densidad de 1 111 árboles ha⁻¹; su variable

predictora fue el DAP en el ajuste de ecuaciones alométricas y determinaron que a la edad de cinco años, el carbono almacenado es de 41.6 t ha^{-1} .

Se han realizado diversas investigaciones tendientes a estimar el carbono acumulado mediante el ajuste de ecuaciones alométricas para diferentes especies, de entre los que destacan lo realizado por Díaz *et al.* (2007), autores que ajustaron una ecuación de dos parámetros, en la cual emplearon como variable predictora el diámetro normal para estimar carbono en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., concluyeron que el carbono almacenado en los componentes del arbolado se distribuye en el fuste con 78.82 %, y en el componente ramas y follaje con 16.11 %; dicha distribución de es similar a lo obtenido en la plantación de *G. arborea* estudiada, pues el fuste almacena 73.86 % y el follaje 18.71 %.

Cámara *et al.* (2013) trabajaron con ecuaciones para cuantificar el carbono almacenado en plantaciones de *Eucalyptus europhylla* S. T. Blake localizadas en Tabasco, de cuatro años, con una densidad de $954 \text{ árboles ha}^{-1}$, y en sabana de *Quercus oleoides* Schltdl. et Cham con una densidad de $258 \text{ árboles ha}^{-1}$; determinaron que el carbono almacenado es de 14.75 t ha^{-1} y de 68.29 t ha^{-1} , respectivamente.

Las características edafoclimáticas del área de estudio son algunos de los factores que condicionan la capacidad de almacenar carbono. *G. arborea* establecida en Tlatlaya, Estado de México a una altitud de 694 m, con una pendiente de 40 %, y con una densidad de $1\ 040 \text{ árboles ha}^{-1}$, cuyo suelo dominante es Phaeozem y la precipitación promedio de 1 000 mm.

Douterlungne *et al.* (2013) registran que los mejores predictores son el DAP y el diámetro de la base en el ajuste de ecuaciones para estimar biomasa y carbono en plantaciones con fines de restauración de *Guazuma ulmifolia* Lam., *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill., *Inga vera* Wild. y *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urb., con densidades de $1\ 600 \text{ árboles ha}^{-1}$ establecidas en Chiapas. Concluyen que las plantaciones de *T. mexicanum* y *G. ulmifolia* son más eficientes como sumideros de carbono, y que las tasas de acumulación no son extrapolables para cuantificar el carbono almacenado a largo plazo, como lo indican Lugo *et al.* (2004); dichos autores

aseveran que la tasa anual de acumulación de biomasa y carbono declina con la edad de la plantación, al aumentar la competencia entre los árboles.

Kongsager *et al.* (2013) estiman el carbono almacenado en plantaciones de *Theobroma cacao* L. de 21 años, con una densidad de 1 097 árboles ha⁻¹; *Elaeis guineensis* Jacq de siete años de edad, con una densidad de 144 árboles ha⁻¹; *H. brasiliensis* de 12 años; y *Citrus sinensis* L. de 25 años con 266 árboles ha⁻¹ establecidas en Ghana a una altitud de 114 m; para lo cual utilizan ecuaciones alométricas en las que el DAP y el diámetro de la base son las variables predictoras, y concluyen que la plantación de *H. brasiliensis* presenta el mayor potencial para almacenar carbono (214 ton ha⁻¹), seguida de *T. cacao* con 65 t ha⁻¹ de carbono. Dichos resultados son superiores a los obtenidos en *G. arborea* de tres años establecida en Tlatlaya, Estado de México, y representa un potencial para almacenar carbono con manejo y prácticas silvícolas adecuadas.

López *et al.* (2016) determinaron el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de *H. brasiliensis* establecidas en Tabasco de distintas edades, con el ajuste de ecuaciones alométricas y refieren que el carbono varía para cada edad. Ante ello, estimaron que, en la plantación de cinco años, el carbono almacenado era de 26.28 t ha⁻¹, con una densidad de 491 árboles ha⁻¹, resultado que difiere de lo obtenido para *G. arborea* en Tlatlaya, que almacena 8.31 t ha⁻¹ a los tres años.

Conclusiones

El carbono acumulado en la plantación de *G. arborea* establecida en Tlatlaya, Estado de México a los tres años es de 8.31 t ha⁻¹, con una densidad de 1 040 árboles ha⁻¹.

La distribución de la biomasa y el carbono acumulado en los componentes de los árboles de la plantación de *G. arborea* presentan diferencia estadística significativa para las distintas edades de medición.

Los valores utilizados de las variables predictoras en la ecuación ajustada para estimar el carbono acumulado en la plantación de *G. arborea* pueden variar por factores extrínsecos e intrínsecos, como la edad y la densidad forestal.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de Posgrado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Ricardo Telles Antonio y Eduardo Alanís Rodríguez: planeación y desarrollo del trabajo de campo, procesamiento y análisis de datos, diseño y redacción del manuscrito; Javier Jiménez Pérez: análisis y procesamiento de la información, estructura y revisión del manuscrito; Oscar Alberto Aguirre Calderón y Eduardo Javier Treviño Garza: estructura y revisión del manuscrito.

Referencias

Arias, D., J. Calvo A., B.Richter and A.Dohrenbusch. 2011. Productivity, aboveground biomass, nutrient uptake and carbon content in fast-growing tree plantations of native and introduced species in the Southern Region of Costa Rica. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 1779-1788.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.009> (10 de febrero de 2019).

Benea, L. M. 2017. Capture and storage of Carbon dioxide: a method for countering climatic changes. *In*: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 163(1): 012045. Doi:10.1088/1757-899X/163/1/012045.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/163/1/012045/pdf>
(20 de enero de 2019).

Bohre, P., O. P. Chaubey and P. K. Singhal. 2013. Biomass accumulation and carbon sequestration in *Tectona grandis* Linn. f. and *Gmelina arborea* Roxb. *International Journal of Bio-science and Bio-technology* 5(3): 153-174.

<https://www.earticle.net/Article/A207142> (5 de marzo de 2019).

Cámara, C. L. del C., C. Arias M., J. L. Martínez S. y O. Castillo A. 2013. Carbono almacenado en selva mediana de *Quercus oleoides* y plantaciones de *Eucalyptus urophylla* y *Gmelina arborea* en Huamanguillo, Tabasco. *In*: Pellat, F. P., W. G. Julio, B. Maira y V. Saynes (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2013. Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Texcoco, Estado de México. 702 p.

[https://www.researchgate.net/profile/Xochitl_Cruz-](https://www.researchgate.net/profile/Xochitl_Cruz-Nunez2/publication/263043104_42_Incendios_forestales_carbono_negro_y_carbono_organico_en_Mexico_2000_-_2012/links/0f3175399dd7314471000000/42-Incendios-forestales-carbono-negro-y-carbono-organico-en-Mexico-2000-2012.pdf)

[Nunez2/publication/263043104_42_Incendios_forestales_carbono_negro_y_carbono_organico_en_Mexico_2000_-_2012/links/0f3175399dd7314471000000/42-](https://www.researchgate.net/profile/Xochitl_Cruz-Nunez2/publication/263043104_42_Incendios_forestales_carbono_negro_y_carbono_organico_en_Mexico_2000_-_2012/links/0f3175399dd7314471000000/42-Incendios-forestales-carbono-negro-y-carbono-organico-en-Mexico-2000-2012.pdf)

[Incendios-forestales-carbono-negro-y-carbono-organico-en-Mexico-2000-2012.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Xochitl_Cruz-Nunez2/publication/263043104_42_Incendios_forestales_carbono_negro_y_carbono_organico_en_Mexico_2000_-_2012/links/0f3175399dd7314471000000/42-Incendios-forestales-carbono-negro-y-carbono-organico-en-Mexico-2000-2012.pdf)
(10 de febrero de 2019).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2014. Principales especies maderables establecidas en PFC por entidad federativa en el periodo 2000-2014. Coordinación General de Producción y Productividad. Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6019Principales%20especies%20maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20Entidad%20Federativa%20en%202000%20-%202014.pdf> (18 de enero de 2019).

Cubero, J. y S. Rojas, 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L. f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. <http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:taRWtUkKV4QJ:cglobal.imn.ac.cr/Pdf/mitigacion/Estudio%2520sobre%2520Fijación%2520de%2520Crbono%2520en%2520Plantaciones.pdf> (15 de enero de 2019).

Díaz F., R., M. Acosta-M., F. Carrillo A., E. Buendía R., E. Flores A. y J. D. Etchevers B. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2007.1311233> (12 de febrero de 2019).

Douterlungne, D., A. M. Herrera G., B. G. Ferguson, I. Siddique y L. Soto P. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia* 47(4): 385-397. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n4/v47n4a7.pdf> (12 de febrero de 2019).

Emanuelli A., P. y F. Milla A. 2014. Construcción de funciones de volumen. Volumen, Biomasa y Carbono Forestal. Nota Técnica Núm. 4: http://www.reddccadgiz.org/monitoreoforestal/docs/mrv_2099067706.pdf (12 de febrero de 2019).

Fonseca G., W., F. Alice G. y J. M. Rey B. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002009000100006> (12 de febrero de 2019).

Guisande G., C., A. Vaamonde L. y A. Barreiro F. 2013. Tratamiento de datos con R, Estadística y SPSS. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 997 p. <http://blog.utp.edu.co/estadistica/files/2017/09/TRATAMIENTO-DE-DATOS-CON-R-ESTADISTICA-Y-SPSS.pdf> (18 de enero de 2019).

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2015. Cambio climático 2014 Informe de síntesis. *In:* Pachauri, R. K. y L. A. Meyers (eds.). Contribución de los Grupos de trabajo I, II Y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra Suiza: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf (15 de enero de 2019).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Inegi). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tlatlaya, Estado de México. Clave geoestadística 15105. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15105.pdf (20 de enero de 2019).

Jiménez P., L. P. 2016. El cultivo de la Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en el trópico. 125 p Editorial Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/11687> (12 de febrero de 2019).

Kongsager, R., J. Napier and O. Mertz. 2013. The carbon sequestration potential of tree crop plantations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(8): 1197-1213. Doi 10.1007/s11027-012-9417-z.

López R., L. Y., M. Domínguez D., P. Martínez Z., J. Zavala C., A. Gómez G. y S. Posada C. 2016. Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg) de diferentes edades. *Madera y Bosques* 22 (3): 49–60. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2016.2231456> (12 de febrero de 2019).

Lugo, A. E., W. L. Silver and S. Molina C. 2004. Biomass and nutrient dynamics of restored neotropical forests. *In:* Wieder, R. K., M. Novák and M. A. Vile. (eds.). *Biogeochemical Investigations of Terrestrial, Freshwater, and Wetland Ecosystems across the Globe*. Springer, Dordrecht. pp. 731-746. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-0952-2_50 (20 de febrero de 2019).

Mac Dicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI).

<http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html> (17 de enero de 2019).

Melo C., A. O. 2015. Modelación del crecimiento, acumulación de biomasa y captura de carbono en árboles de *Gmelina arborea* Roxb., asociados a sistemas agroforestales y plantaciones homogéneas en Colombia. Tesis de Doctorado Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, Colombia. 166 pp. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50068> (25 de febrero de 2019).

Norby, R. J., E. H. DeLucia, B. Gielen, C. Calfapietra, C. P Giardina, J. S King and P. De Angelis. 2005. Forest response to elevated CO₂ is conserved across a broad range of productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(50): 18052-18056. <https://doi.org/10.1073/pnas.0509478102> (25 de febrero de 2019).

Norverto, C. A. 2006. La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina. 13 p. Editorial GRAM. Buenos Aires, Argentina. 13 p.

Ordóñez, J. A., B. H. J de Jong y O. Maser, 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7 (2): 27-47. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.721310> (10 de febrero de 2019).

Patiño F., S. L. N. Suárez S., H. J. Andrade C., y M. A Segura M. 2018. Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 9 (2). <https://doi.org/10.22490/issn.2145-6453> (12 de febrero de 2019).

Rasineni, G. K., A. Guha and A. R. Reddy. 2011. Responses of *Gmelina arborea*, a tropical deciduous tree species, to elevated atmospheric CO₂: growth, biomass productivity and carbon sequestration efficacy. *Plant Science* 181(4): 428-438. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.07.005> (18 de enero de 2019).

Rodríguez A., L. G. and A. M. Castañeda G. 2014. Carbon capture in three forest species in Meta Department. *Revista Científica Guarracuco*, 18(29). http://revistas.unimeta.edu.co/index.php/rc_es_guarracuco/article/view/67/277 (05 de marzo de 2019).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.