



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.644>

Artículo

Valoración dasométrica y producción de biomasa en *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. establecida en plantaciones puras y mixtas

Mensuration assessment and biomass production in *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. established in pure and mixed stands

Bayron Alexander Ruiz-Blandon¹, Efrén Hernández-Álvarez², Ramón Rodríguez-Macias¹ y Eduardo Salcedo-Pérez^{1*}

Abstract:

Gmelina arborea (melina) is a forest species highly appreciated for its fast growth, moreover, it is considered multipurpose because of the many uses of wood. The establishment of the species in pure stands (PS) has led to various biomass and mensuration studies; therefore, mixed plantations (PM) have also been established as an alternative in Mexico, although they have been little documented. The aim of the study was to evaluate and compare the total height (H), diameter (DBH), basimetric area (BA), volume (V) and biomass of *G. arborea* established in 15-year old PP and PM in the state of Nayarit. Within the plantations, three 1 000 m² plots were established, in which DBH , H , V were measured as well as tree biomass and AB were estimated. Within the sampling units, soil samples were collected. The *G. arborea* in PM increased in 5.8 cm in DBH , 0.04 m² in AB , 12.2 % in leaf biomass, 8.8 % in branches, 7.7 % in stem, 10 % in root and 7.6 % in total biomass per tree which was corroborated by ANOVA and Tukey's test. The difference in density between the plantations indicated a higher yield in biomass of the PP (17.9 %). Improved mensuration parameters and biomass production were associated to soils with pH > 6 and C:N ratio > 20. The optimal yield of *G. arborea* will depend on the forest arrangement, management and soil characteristics.

Key words: Growth, allometric equations, *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm., mean annual increase, soil properties, volume.

Resumen:

Gmelina arborea (melina) es una especie forestal muy apreciada por su rápido crecimiento, además es de multipropósito por los diversos usos de su madera. El establecimiento de melina en plantaciones puras (PP) ha propiciado la realización de estudios dasométricos y de biomasa; por ende, en México también se han implementado, como alternativa, las plantaciones mixtas (PM); aunque estas están poco documentadas. Los objetivos del presente estudio fueron evaluar y comparar la altura total (H), diámetro (DAP), área basal estimada (AB), volumen (V) y biomasa de *G. arborea* en PP y PM de 15 años, ubicadas en el estado de Nayarit. Se consideraron tres parcelas de 1 000 m², en las que se midieron a los individuos de la especie de interés el DAP , H , V y biomasa; asimismo, se recolectaron muestras de suelo. Los árboles de *G. arborea* en PM pesentó incrementos de 5.8 cm en el DAP , 0.04 m² en AB , 12.2 % en la biomasa de hojas, 8.8 % en la de ramas, 7.7 % en fuste, 10 % en raíz y 7.6 % en la biomasa total por árbol; lo cual se corroboró con el análisis de ANOVA y la prueba de Tukey. La diferencia en densidad entre las plantaciones indicó un mayor rendimiento en biomasa para la PP (17.9 %). Mejores parámetros dasométricos y producción de biomasa, se asociaron a suelos con pH > 6 y relación C/N > 20. El óptimo rendimiento de *G. arborea* dependerá del arreglo forestal, el manejo y las características edáficas.

Palabras clave: Crecimiento, ecuaciones alométricas, *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm., incremento medio anual, propiedades del suelo, volumen.

Fecha de recepción/Reception date: 27 de agosto de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de marzo de 2020

¹ Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Botánica y Zoología, Universidad de Guadalajara. México.

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Producción Forestal, Universidad de Guadalajara. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: eduardo.salcedo@academicos.udg.mx

Introducción

Gmelina arborea Roxb ex Sm. (melina) pertenece a la familia Lamiaceae, se desarrolla en ecosistemas desde muy húmedos a secos y es originaria del sureste de Australia y Asia (Dhakulkar *et al.*, 2005; GRIN, 2019); además, por ser una especie de rápido crecimiento, tolerante a temperaturas entre 18 y 35 °C, a una precipitación hasta de 2 286 mm (fácil adaptación) y los múltiples usos de su madera es muy apreciada en los mercados forestales, lo cual ha propiciado su introducción en gran parte del mundo (Onyekwelu, 2004; Dudhane *et al.*, 2011).

En la última década, las plantaciones puras (PP) han sido muy documentadas, pero las mixtas (PM) carecen de información actualizada (Kaul *et al.*, 2010; López *et al.*, 2010). En algunas citas bibliográficas se indica que las PM propician la recuperación de suelos degradados, aunque son menos eficientes en la producción de biomasa (Chaturvedi y Raghubanshi, 2015). Además, ecológicamente son más importantes que las PP, ya que están constituidas por una mayor diversidad de especies arbóreas por unidad de superficie, pero sus rendimientos dependerán del grado de disturbio de los suelos (Forrester *et al.*, 2013).

En México, *G. arborea* fue introducida a mediados de 1999 en PP localizadas en los estados de Guerrero, Campeche, Tabasco, Veracruz, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Nayarit y Yucatán; en donde representaron 12.8 % de la superficie ocupada por especies tropicales en el país (aproximadamente 19 000 ha) (Conafor, 2012).

En suelos de textura franco-arcillosa y pH neutro, *G. arborea* alcanza 20.9 m de altura total (*H*), 26 cm de diámetro a la altura de pecho (*DAP*), un volumen (*V*) de 550.5 m³ ha⁻¹ y produce hasta 142.1 Mg ha⁻¹ de biomasa a la edad de 15 años (Sales *et al.*, 2005; Onyekwelu *et al.*, 2006).

En esta investigación se postuló como hipótesis que *G. arborea* en PM mejora algunos parámetros dasométricos y aumenta la producción de biomasa individual

por componente (hojas, ramas, fuste y raíz). En ese contexto, los objetivos del estudio fueron evaluar y comparar la *H*, *DAP*, área basal (*AB*), *V*, incrementos de las variables dasométricas y producción de biomasa en individuos de *G. arborea* establecidos en PP y PM a la edad de 15 años; además de las propiedades del suelo. La medición de la biomasa en campo, permitió la elaboración de ecuaciones alométricas que, facilitarán el inventario de la biomasa por la vía indirecta en estudios futuros de biomasa relacionados con melina.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las plantaciones evaluadas (PP y PM) se geoposicionan a 21°43'35.7" N; 105°06'47.1" O y 21°43'38.3" N; 105°06'46.4" O, dentro del municipio Santiago Ixcuintla, en el estado de Nayarit (Figura 1). Su establecimiento data de junio de 2001 y pertenecen a la empresa Agroforestales Nayarita. El área se caracteriza por presentar un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano, de humedad media [Aw_1 (w)], según la clasificación de Köppen modificada por García (1987); la temperatura media anual es de 24.4 °C, la máxima ocurre entre los meses de abril y julio (Inegi, 2017); con una precipitación total anual de 1 529 mm con variaciones entre el periodo más seco y el más lluvioso de 1 085 a 2 367 mm (Inegi, 2017). Altitudinalmente, se ubica entre 0 - 800 msnm.



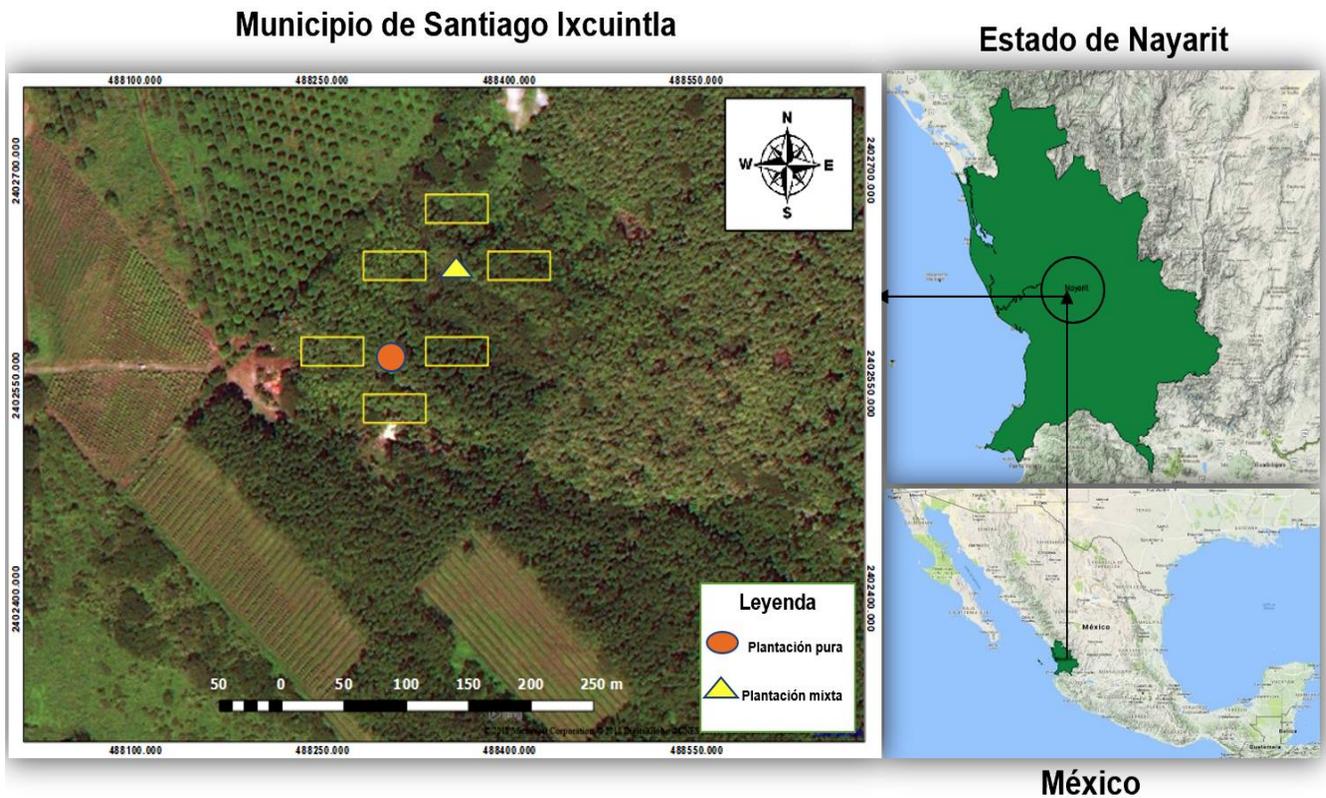


Figura 1. Geolocalización de las plantaciones comerciales puras y mixtas de *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. a la edad de 15 años en el estado de Nayarit, México.

En el preestablecimiento de las plantaciones (aprovechamiento de la vegetación existente, control de arvenses y quemas controladas) se hizo un análisis físico y químico de los suelos, a partir de 30 muestras recolectadas distribuidas en zigzag (10 m de distancia entre hoyo) a una profundidad de 30 cm en las parcelas de producción forestal. La textura determinada fue franco-arcillosa con un contenido de materia orgánica de 2.5 % y pH entre 5.7 - 6. En torno a la fertilidad, la concentración de N total (0.07 %), Mn (0.007 %) y Cu disponible (0.004 %) fue medio, muy bajo en P (0.001 %) y altas en K (5 %), Ca (69 %), Mg (0.9 %), Fe (0.06) disponible. Un mes antes de plantar, para compensar las deficiencias y aumentar la concentración de macronutrientes, se aplicaron 2 Mg ha⁻¹ de cal agrícola para neutralizar el pH, 2 Mg ha⁻¹ de gallinaza, fertilizantes 50-120-25 (NPK) mezclado con

250 kg de fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 20 kg de cloruro de potasio (KCl) y 24 kg de sulfato de potasio (K_2SO_4) .

En la presente investigación se consideró como tratamiento el tipo de plantación con una superficie de 12.8 ha para la PP y de 20.4 ha para la PM; la distancia entre ambas fue de 5 m.

Las plántulas utilizadas midieron 20 cm de altura y 8 mm de diámetro; el sistema de plantación fue el marco real a espaciamiento de 3×3 m entre plántulas, para una densidad de 1 111 árboles ha^{-1} . El número de árboles iniciales en la PM fue de 455 de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms (guayaquil), 356 de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (laurel) y 300 de *G. arborea*. Tanto en la PP como en la PM se practicaron cortas parciales: dos en la PP (5 y 10 años) y una en la PM (7 años). En el año 2016, la densidad final fue de 273 árboles ha^{-1} en la PP y de 250, 190 y 163 árboles ha^{-1} correspondientes a *P. guachapele*, *C. alliodora* y *G. arborea* en la PM.

Medición de variables dasométricas, biomasa y recolecta de suelo

En los dos tipos de plantaciones evaluadas se delimitaron tres parcelas rectangulares de 40×25 m ($1\ 000\ \text{m}^2$) distribuidas en bloques aleatorios. En cada una de ellas se midió la altura de todos los árboles presentes con un hipsómetro Haga, y el DAP con una cinta diamétrica *Forestry Suppliers Inc.*, 800-647-5368. A partir de los datos de 15 árboles por unidad de muestreo se estimó el área basal (AB), con la ecuación (1):

$$AB = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 \quad (1)$$

Donde:

AB = Área basal (m^2)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm) (Arteaga y Castelán, 2008)

El volumen se estimó con los datos de 15 de árboles derribados en cada plantación. Se cubicó el fuste según *Smalian* (Cancino, 2006) y el cálculo se hizo con la ecuación (2):

$$V = \frac{A_b + A_s}{2L} \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen de la troza (m^3)

A_b = Diámetro basal (mayor) de la troza (cm)

A_s = Diámetro en el extremo menor de la troza (cm)

L = Longitud del tronco del sólido

$L = L_2 - L_1$ (m) (Cancino, 2006)

El incremento medio anual (*IMA*) de las variables medidas se obtuvo dividiendo su promedio con la edad de la plantación, mediante la fórmula (3):

$$IMA = \frac{DDV}{Edad} \quad (3)$$

Donde:

IMA = Incremento medio anual

DDV = Diámetro, altura total, área basal y volumen (cm, m, m² y m³)

Se derribaron 15 árboles de *G. arborea* en cada plantación, los cuales se seleccionaron aleatoriamente según el tamaño del diámetro, se pesó la biomasa de hojas, ramas, fuste y raíz con una báscula eléctrica colgante *Rhino BAC-300* de 300 kg ± 100 g de capacidad (Parada *et al.*, 2010). En cada una de las parcelas ubicadas en los dos tipos de plantaciones, se recolectaron nueve muestras de suelo distribuidas en zigzag (10 m de distancia entre hoyo) a una profundidad de 45 cm. Las mediciones y recolectas se realizaron en diciembre de 2016.

Procedimientos en laboratorio

Las hojas, ramas, fuste y raíz de *G. arborea* fueron secadas en un horno (*Terlab S.A. de C.V.*) a 70 ± 3 °C, hasta lograr un peso constante; posteriormente, se molieron y tamizaron con una malla del número 60. La biomasa seca se determinó mediante la ecuación (4):

$$BS = Pf - Ps \quad (4)$$

Donde:

BS = Biomasa seca (kg)

Pf = Peso fresco (kg)

Ps = Peso seco de la biomasa (kg) (Parada *et al.*, 2010)

Las ecuaciones alométricas se construyeron con base en los principios descritos por Segura y Andrade (2008). En función de la biomasa seca por componente ($n = 30$) se generaron ecuaciones alométricas de dos entradas, mediante modelos de regresión múltiple, en los cuales las variables predictoras fueron el *DAP* y la *H*.

Las propiedades físicas y químicas del suelo se determinaron siguiendo la norma NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002): textura (Hidrómetro de *Bouyoucos*), densidad aparente (*Da*) (método del terrón), pH en agua en relación 1:2 (potenciómetro *Orion Star A210*), capacidad de intercambio catiónico (*CIC*) (solución de Acetato de Amonio), conductividad eléctrica (*CE*) (conductimetría eléctrica), carbono orgánico por combustión a 900 °C (*Shimadzu TOC 5050-A*), materia orgánica (*MO*), multiplicando el porcentaje de C promedio por la *MO* (58 %), N total por combustión a 900 °C (analizador elemental *Leco TruSpec® Micro*) y la relación C/N del suelo como lo indica su expresión.

Las diferencias en *DAP*, *H*, *AB*, *V*, los incrementos y producción de biomasa por componente y total entre individuos y plantaciones, además de las propiedades físicas y químicas del suelo se analizaron mediante un ANOVA. La prueba de comparaciones de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) se utilizó para identificar las diferencias entre las medias de cada variable evaluada en la PP y PM. La normalidad de las medias se analizó mediante gráficos *P-P Plot*. El programa estadístico usado para los procedimientos fue SAS v9.0 (SAS Institute, 2009).

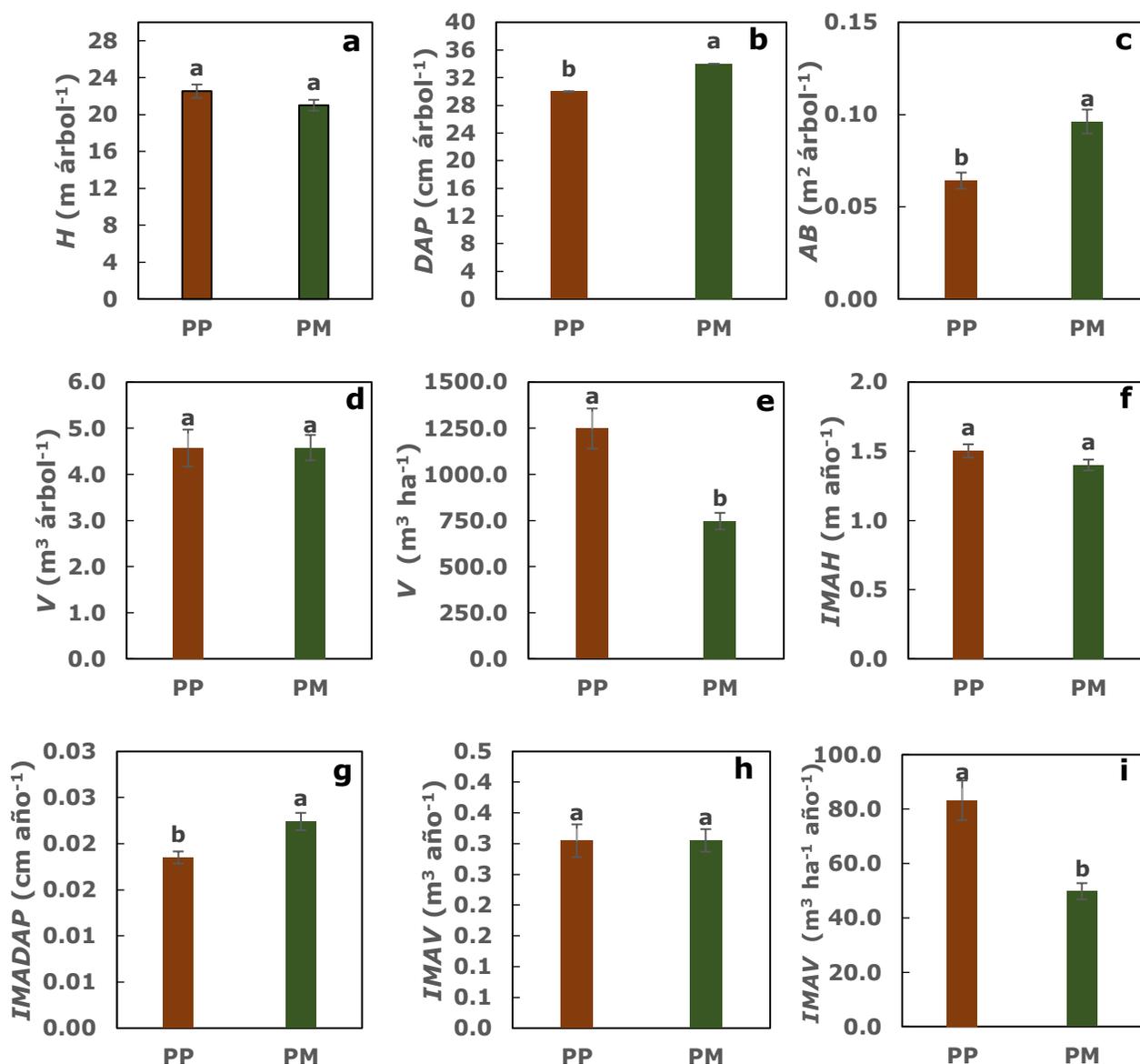


Resultados y Discusión

Crecimiento de *Gmelina arborea* en plantaciones puras y mixtas

En la Figura 2 se muestran las diferencias estadísticas de las variables contrastadas entre individuos y plantaciones. Aunque la *H* (Figura 2A; $p = 0.106$), *V* (Figura 2D; $p = 0.964$), *IMAH* (Figura 2F; $p = 0.124$) y *IMAV* (Figura 2H; $p = 0.873$). El promedio por árbol de *G. arborea* entre PP y PM fue estadísticamente similar; en la PM la especie se caracterizó por aumentar su *DAP* en $5.8 \text{ cm árbol}^{-1}$ (Figura 2B; $p = 0.0001$), el *AB* en $0.04 \text{ m}^2 \text{ árbol}^{-1}$ (Figura 2C; $p = 0.0001$) y su *IMADAP* en 0.01 cm año^{-1} (Figura 2G; $p = 0.002$). A nivel de conjunto, la productividad neta (Figura 2E; $p = 0.0001$) y el *IMAV* ha^{-1} (Figura 2I; $p = 0.0001$) entre individuos fue alrededor de 21 % superior en la PP, cuyo factor determinante fue la densidad de árboles de la especie por superficie.





Medias con distintas letras en cada barra (error estándar) son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). a) Altura total (H); b) diámetro a la altura del pecho (DAP); c) Área basal (AB); d) Volumen (V); e) Volumen por superficies (V); f) Incremento medio anual en altura total ($IMAH$); g) Incremento medio anual en diámetro ($IMADAP$); h) Incremento medio anual en volumen ($IMAV$); i) Incremento medio anual en volumen por superficie ($IMAV \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Figura 2. Crecimiento de *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. establecida en plantaciones puras y mixtas de 15 años en el estado de Nayarit.

Se evidenció que *G. arborea* al crecer en la PM mejora sus características dendrométricas asociadas con el diámetro; aunque la H , V e $IMAH$ y el $IMAV$ fueron estadísticamente similares, y en consecuencia la productividad en la PP fue mayor, principalmente por la densidad de árboles de la especie evaluada. No obstante, los resultados superan lo documentado por otros autores en plantaciones de igual edad. Onyekwelu *et al.* (2006) en Nigeria registran una $H = 20.9$ m árbol⁻¹, $DAP = 26.2$ cm árbol⁻¹, $AB = 50.5$ m² ha⁻¹ y $V = 550.5$ m³ ha⁻¹; y Espinoza-Durán y Moya (2013) en Costa Rica consignan una $H = 14.9$ m árbol⁻¹, $DAP = 30.9$ cm árbol⁻¹, $V = 240.1$ m³ ha⁻¹. En México, se han citado valores de 14.5 m árbol⁻¹, para la H ; DAP de 19.3 cm árbol⁻¹; 22.5 m² ha⁻¹ de AB ; y 270 m³ ha⁻¹ de V (Martínez-Zurimendi *et al.*, 2015).

Respecto al IMA de la productividad estimado en el presente estudio fue mayor a los obtenidos por Moya (2004) (40 m³ ha⁻¹ año⁻¹) en Costa Rica; Vanclay *et al.* (2008) en Filipinas (29 m³ ha⁻¹ año⁻¹) y Martínez-Zurimendi *et al.* (2015) en México (7.5 a 33.2 m³ ha⁻¹ año⁻¹).

Las prácticas silvícolas y condiciones de sitio tienen un papel importante en el crecimiento de *G. arborea*. El manejo oportuno de las plantaciones y buenas condiciones edáficas benefician el incremento dendrométrico y productividad de la especie (Swamy *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Martínez-Zurimendi *et al.*, 2015).

Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en *Gmelina arborea*

En el Cuadro 1 se muestran las ecuaciones generadas para la estimación de biomasa en *G. arborea*. Los análisis de regresión múltiple optimizados por transformaciones *Box-Cox* relacionaron el DAP y H ; a su vez, la medición directa de la biomasa también favoreció la obtención de valores de $R^2 \geq 0.9$ en hojas, ramas, fuste, raíz y biomasa total, con un error estándar ≤ 1 .

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. ($n = 30$).

Componente	Ecuaciones	R^2	Ee
Hojas	$BSh = 0.634708 * DAP(cm) - 0.148755 * H(m)$	0.937	0.597
Ramas	$BSr = 1.37109 * DAP(cm) - 0.105866 * H(m)$	0.970	0.212
Fuste	$BSf = 10.8605 * DAP(cm) - 2.56108 * H(m)$	0.996	0.508
Raíz	$BSra = 3.80779 * DAP(cm) - 0.186516 * H(m)$	0.994	0.197
Biomasa total	$BST = 15.5347 * DAP(cm) - 3.68531 * H(m)$	0.963	0.664

BS = Biomasa seca (kg árbol^{-1}); h = Hojas; r = Ramas; f = Fuste; ra = Raíz; T = Biomasa total; DAP = Diámetro a la altura del pecho; H = Altura total; Ee = Error estándar. Las ecuaciones alométricas consideraron un nivel de significancia de 0.05 % (Tukey, $p < 0.0001$).

Las ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en *G. arborea* tuvieron valores de R^2 similares a los señalados en la India por Swamy *et al.* (2003): hojas $R^2 = 0.97$, ramas $R^2 = 0.93$, fuste $R^2 = 0.98$, raíz $R^2 = 0.97$ y biomasa total $R^2 = 0.99$; Onyekwelu (2004) en Nigeria: hojas $R^2 = 0.97$, ramas $R^2 = 0.98$, fuste $R^2 = 0.98$ y biomasa total aérea $R^2 = 0.98$; y en Costa Rica, Arias *et al.* (2011) registran valores en hojas $R^2 = 0.97$, ramas $R^2 = 0.92$, fuste $R^2 = 0.99$ y biomasa total aérea $R^2 = 0.97$.

Basado en lo anterior, las mediciones de biomasa obtenidas por el método directo permitieron construir ecuaciones con mayores valores de ajuste que las generadas a

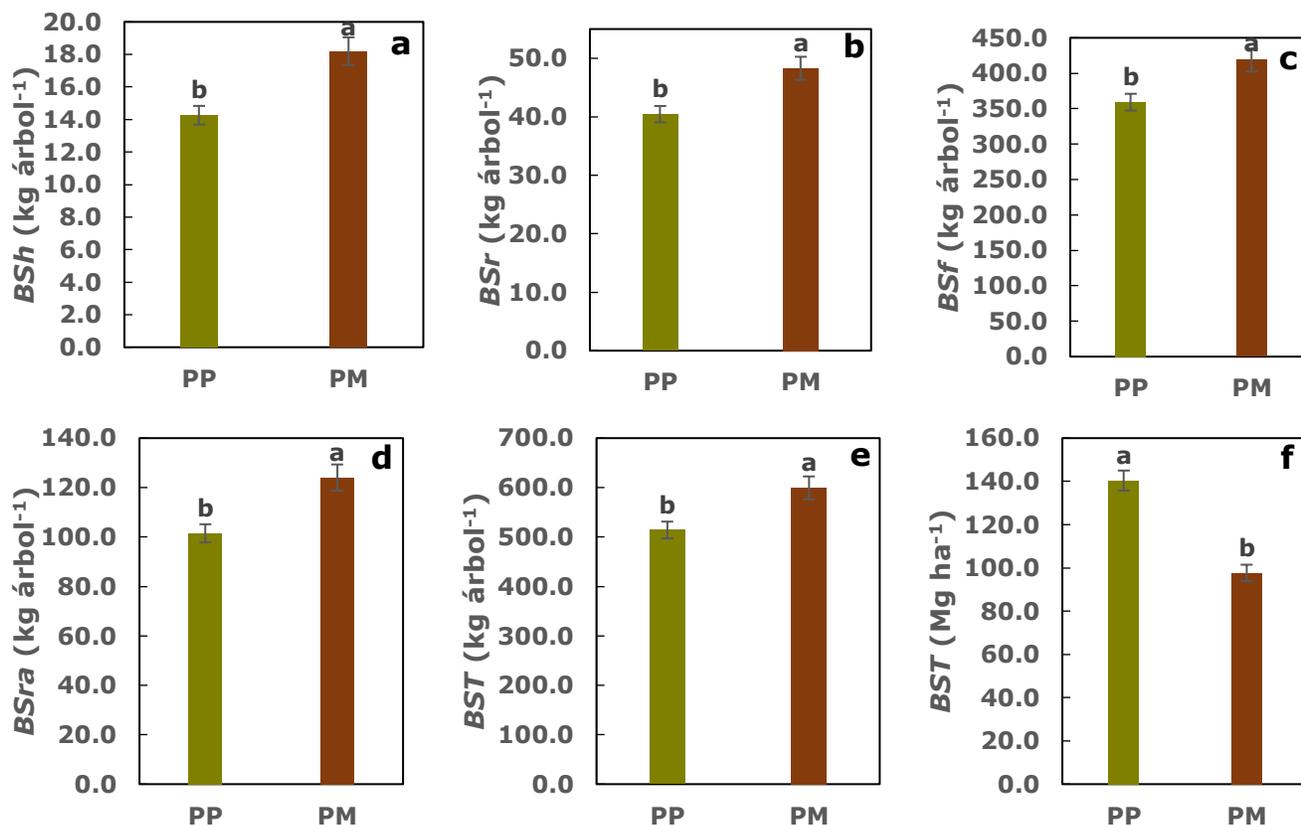
partir de las mediciones indirectas (Chaturvedi y Raghubanshi, 2015; Ruiz-Blandon *et al.*, 2019). Las expresiones propuestas se podrán utilizar para la estimación de biomasa en *G. arborea* en futuras investigaciones que se desarrollen en condiciones similares de clima y suelo asociadas al presente estudio.

Respecto a las ecuaciones alométricas por componente del árbol, éstas permitirán cuantificar con certeza la distribución de la biomasa en el árbol, así como la acumulación de la misma durante su crecimiento. Por otro lado, tener una ecuación para estimar el valor de la biomasa radicular y su impacto en la biomasa total constituye un importante aporte del presente estudio, ya que rara vez se considera la raíz en los inventarios forestales.

Producción de biomasa en *Gmelina arborea*

La producción de biomasa en *G. arborea* por árbol y unidad de superficie fue diferente entre los sistemas de plantación. En PM incrementó en 12.2 % (Figura 3A; $p = 0.0001$) la biomasa de las hojas, 8.8 % (Figura 3B; $p = 0.002$) en ramas, 7.7 % (Figura 3C; $p = 0.004$) en fuste, 10 % (Figura 3D; $p = 0.0006$) en raíz, y 7.6 % (Figura 3E; $p = 0.002$) en biomasa total promedio por árbol, con respecto a la PP. La distribución de la biomasa presentó el siguiente orden: 3 % en hojas, 8 % en ramas, 69 % en fuste y 20 % en la raíz; lo cual indicó que el fuste es el componente que más biomasa (en peso) produjo y acumuló. Por consiguiente, un mayor número de árboles por hectárea de *G. arborea* en la PP (273 árboles ha^{-1}), le confiere 17.9 % (Figura 3F; $p < 0.0001$) más de rendimiento, que la producción total en la PM (163 árboles ha^{-1}).





*Medias con distintas letras en cada barra (error estándar) son estadísticamente diferentes (*Tukey*, $p \leq 0.05$). a) Biomasa seca de hojas (*BSh*); b) Biomasa seca de ramas (*BSr*); c) Biomasa seca del fuste (*BSf*); d) Biomasa seca de la raíz (*BSra*); e) Biomasa seca total (*BST*), y f) Biomasa seca total por superficie (*BST*).

Figura 3. Producción de biomasa por árbol y superficie en las plantaciones puras y mixtas de 15 años en Nayarit.

En la presente investigación se corroboró que cuando *G. arborea* crece en PM produce mayor biomasa por componente (hojas, ramas, fuste, raíz y biomasa total), en comparación con lo que sucede en una PP; sin embargo, por número de árboles por hectárea resulta ser la PP más productiva. No obstante, estos valores difieren significativamente de los registrados en plantaciones de 15 años establecidas en

Filipinas y Nigeria en 142.1 y 233.7 Mg ha⁻¹, respectivamente (Sales *et al.*, 2005; Onyekwelu *et al.*, 2006).

La producción de biomasa en plantaciones de *G. arborea* suele afectarse por aspectos fisiológicos de la planta (adaptación), el manejo silvícola, sistema de plantación y la edad (Rasineni *et al.*, 2011; Verma *et al.*, 2017). Independientemente, del tipo de plantación, pura o mixta, el fuste de *G. arborea* es el componente con mayor producción de biomasa, que coincide con lo documentado en otros estudios (Arias *et al.*, 2011; Cook *et al.*, 2014; Goussanou *et al.*, 2018).

Es factible que un mal manejo y el arreglo de las especies dentro de las PM afecten los rendimientos de biomasa en este tipo de sistemas, debido a la sobrepoblación de árboles por unidad de superficie (Redondo-Brenes y Montagnini, 2006). Esto explica la menor producción en volumen total de *G. arborea* en la PM, en contraste con lo registrado en la PP. Por lo anterior, es importante considerar en las PM un arreglo silvícola estratégico que permita contar con un mayor número de árboles de la especie al momento de asociarla con otros taxones; con ello se obtendrán mejores resultados en biomasa y el incremento de la productividad del sistema.

Propiedades físicas y químicas de los suelos en plantaciones puras y mixtas de *Gmelina arborea*

Los suelos donde se establecieron las plantaciones de *G. arborea* presentaron igual textura (franco-arcillosa), *Da* de 1.1 g cm⁻³ ($p = 0.081$), *CE* de 0.04 dS m⁻¹ ($p = 0.804$), concentración de N total de 0.8 mg g⁻¹ ($p = 0.105$), similar concentración de *MO* (alrededor de 3 %, $p = 0.663$), y C entre 19 – 20 mg g⁻¹ ($p = 0.849$). A pesar de ello, los mejores pH (6.3; $p = 0.011$) y relación C/N (25; $p = 0.028$) se registraron en la PM; la CIC fue superior en los suelos de la PP (41.7 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹; $p = 0.040$) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos donde crece la *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. establecida en plantaciones puras y mixtas en el estado de Nayarit, México.

Propiedades físicas y químicas	Plantación pura	Plantación mixta
Profundidad	0-45 cm	0-45 cm
Textura	<i>Fr</i>	<i>Fr</i>
<i>Da</i> (g cm ⁻³)	1.1 a ± 0.01	1.1 a ± 0.01
pH	5.9 b ± 0.04	6.3 a ± 0.02
<i>CIC</i> (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	41.7 a ± 1.1	39.8 b ± 0.9
<i>CE</i> (dS m ⁻¹)	0.04 a ± 0.003	0.04 a ± 0.001
<i>MO</i> (%)	3.2 a ± 0.01	3.4 a ± 0.04
C (mg g ⁻¹)	19 a ± 1.1	20 a ± 3.5
N (mg g ⁻¹)	0.8 a ± 0.1	0.8 a ± 0.4
C/N	19 b ± 2.2	25 a ± 3.7

Fr = Franco arcilloso, *Da* = Densidad aparente; *CIC* = Capacidad de intercambio catiónico; *CE* = Conductividad eléctrica; C = Carbono; N = Nitrógeno, C/N = Relación carbono-nitrógeno. Los valores de medias (± error estándar) (*n* = 6) con letras distintas en cada fila son estadísticamente significativos (*Tukey*, *p* ≤ 0.05).

En las condiciones del presente estudio, las propiedades edáficas que determinaron la diferencia entre los suelos de las PP y PM fueron el pH y la relación C/N.

Investigaciones realizadas en Nigeria y Costa Rica demostraron un mayor crecimiento y producción de biomasa en PP de *G. arborea*, cuando la textura fue franco-arcillosa, el pH entre 5 – 7.5 y D_a superior a 1 g cm^{-3} (Nwoboshi, 2000; Onyekwelu, 2001; Rojas *et al.*, 2004; Onyekwelu *et al.*, 2006; Adekunle *et al.*, 2011). Si las condiciones del suelo son adversas, sus individuos crecen de manera defectuosa: fustes torcidos, poca altura, muy ramificados y aspecto arbustivo; por ello, se recomienda plantarla en suelos profundos, húmedos, de buen drenaje y sin obstáculos que interfieran en el desarrollo radicular (Rojas *et al.*, 2004). Lo anterior coincide con los valores que aquí se consignan para la PM; no obstante, es indispensable resaltar que, el pH tiene una relación positiva con la disponibilidad de nutrientes, ya que ejerce una gran influencia en el equilibrio del cambio iónico del suelo debido a sus efectos sobre la erosión, la mineralización de la materia orgánica y la movilización de nutrientes (Adekunle *et al.*, 2011), lo cual sustenta los valores obtenidos en los suelos estudiados. Asimismo, se cita que el intervalo de pH que favorece el vigor de *G. arborea* varía entre 6.47 y 7.47, ya que en esos valores se presenta la mayoría de los nutrimentos indispensables para el crecimiento de las plantas, especialmente el N (Onyekwelu, 2001).

Una alta concentración de N edáfico (incorporación natural o sintética) garantiza el crecimiento vigoroso de *G. arborea* (Rojas *et al.*, 2004); sin embargo, la relación C/N de los suelos evaluados fue muy alta. Cuando dicha relación > 11.5 , se considera que hay exceso de C y energía, lo cual indica la inmovilización del N por parte de los microorganismos, que a su vez impide su aprovechamiento por las plantas (Gamarra *et al.*, 2018; Salcedo-Pérez *et al.*, 2019). Además, en este tipo de suelos la liberación de nitrógeno es muy alta, lo que explica el mayor rendimiento de biomasa registrado en el presente estudio, debido, posiblemente, a que dicho elemento esté concentrado en la biomasa de la especie, de manera particular en las hojas donde adquiere mayor preponderancia.

Conclusiones

El crecimiento de *Gmelina arborea* se ve favorecido cuando se desarrolla en sistemas de producción mixto (Agroforestal) con especies forestales diferentes. Ésta condición, mejora su incremento en diámetro y producción de biomasa por componente arbóreo, debido al efecto y presión que ejercen los árboles asociados y que disminuyen la competencia intraespecífica en la plantación mixta (PM) en comparación de una plantación pura (PP), por lo tanto se acepta la hipótesis.

Las ecuaciones alométricas de doble vía propuestas para la estimación de la biomasa en *G. arborea*, son pertinentes para ser usadas en futuros inventarios forestales, debido a los valores de ajuste y al error estándar obtenido.

La producción de biomasa en *G. arborea* depende de las condiciones del sitio, de un buen arreglo forestal y de un manejo silvícola oportuno. Los incrementos se asociaron a suelos con pH más cercano a la neutralidad (> 6) y a una relación C/N (> 20).

Las diferencias dasométricas y de producción de biomasa de la *G. arborea* por superficie, cuando se comparan ambos tipos de plantación; se debe a un mayor número de árboles de la especie por área en la PP.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Licenciado Álvaro Navarro Esquivel, propietario de la empresa Agroforestal Nayarita S.A, y colaboradores por permitir la ejecución del proyecto en sus plantaciones de *G. arborea*; al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por financiar los estudios doctorales del autor principal; a La Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); a la Universidad de Guadalajara por la convocatoria CGCI/2052-2/2017 Estancias académicas internacionales de especialización 2017 B; a Lorenn Z. G. L., y Lovren A. R. G. H., por ser parte indirecta del proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Bayron Alexander Ruiz-Blandon: diseño del proyecto, trabajo de campo, laboratorio, análisis e interpretación de datos y redacción del documento; Efrén Hernández-Álvarez: financiación del trabajo de campo además de su implementación y revisión del documento final; Ramón Rodríguez-Macías: aportación económica y revisión del documento en diferentes fases; Eduardo Salcedo-Pérez: líder del proyecto, aportación económica, interpretación de resultados para el componente suelo, redacción y revisión del documento final.

Referencias

Adekunle, V. A., A. A. Alo and F. O. Adekayode. 2011. Yields and nutrient pools in soils cultivated with *Tectona grandis* and *Gmelina arborea* in Nigerian rainforest ecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 10 (2): 127-135. Doi:10.1016/j.jssas.2011.05.001.

Arias, D., J. Calvo-Alvarado, D. D. 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. Doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.009.

Arteaga, M. B. y L.M. Castelán. 2008. Evaluación dasométrica temprana de una plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el municipio de Huehuetla, Hidalgo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14 (2): 105-111.

- Cancino, J .2006. Dendrometría Básica. Proyecto de Desarrollo de la Docencia. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 171 p.
- Chaturvedi, R. K and A. S. Raghubanshi. 2015. Assessment of carbon density and accumulation in mono-and multi-specific stands in Teak and Sal forests of a tropical dry region in India. *Forest Ecology and Management* 339: 11-21.
Doi:10.1016/j.foreco.2014.12.002.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2012. Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 Años de su Creación. Zapopan, Jal., México. 152 p.
- Cook, R. L., D. Binkley, J. C. Mendes and J. L. Stape. 2014. Soil carbon stocks and forest biomass following conversion of pasture to broadleaf and conifer plantations in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 324: 37-45.
Doi:10.1016/j.foreco.2014.03.019.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Diario Oficial de la Federación (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México. 85 p.
- Dhakulkar, S., T. R. Ganapathi, S. Bhargava and V. A. Bapat. 2005. Induction of hairy roots in *Gmelina arborea* Roxb. and production of verbascoside in hairy roots. *Plant science* 169 (5): 812-818. Doi:10.1016/j.plantsci.2005.05.014.
- Dudhane, M. P., M. Y. Borde and P. K. Jite. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and antioxidant activity in *Gmelina arborea* Roxb. under salt stress condition. *Notulae Scientia Biologicae* 3 (4): 71-78. Doi:10.15835/nsb346230.

- Espinoza-Durán, J. y R. Moya. 2013. Aprovechamiento e industrialización de dos plantaciones de *Gmelina arborea* de 15 años de edad en diferentes condiciones de pendiente. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 19 (2): 237-248. Doi:10.5154/r.rchscfa.2011.09.067.
- Forrester, D. I., A. Pares, C. O'hara, P. K. Khanna and J. Bausch. 2013. Soil organic carbon is increased in mixed-species plantations of Eucalyptus and nitrogen-fixing Acacia. *Ecosystems* 16 (1): 123-132. Doi:10.1007/s10021-012-9600-9.
- Gamarra, L. C., M. I. Lezcano, M. V. de Ortíz, M. D. Galeano y A. J. Cardús. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (46): 4-26. Doi:10.29298/rmcf.v9i46.134.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª. Ed. Offset Larrios. México, D.F., México. 219 p.
- Goussanou, C. A., S. Guendehou, A. E. Assogbadjo and B. Sinsin. 2018. Application of site-specific biomass models to quantify spatial distribution of stocks and historical emissions from deforestation in a tropical forest ecosystem. *Journal of Forestry Research* 29 (1): 205-213. Doi:10.1007/s11676-017-0411-x.
- Germplasm Resources Information Network (GRIN). 2019. National Plant Germplasm System: Taxonomy for plants resources. Information network. Taxon: *Gmelina arborea* Roxb. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?id=17827> (15 de junio 2019).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Nayarit. Aguascalientes, Ags., México. 469 p.

Kaul, M., G. M Mohren and V. K. Dadhwal. 2010. Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15: 489–510. Doi:10.1007/s11027-010-9230-5.

López A., J. L., V. Sánchez M. y E. Hernández M. 2010. Crecimiento inicial de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1 (2): 65-79. Doi: 10.29298/rmcf.v1i2.638.

Martínez-Zurimendi, P., M. Domínguez-Domínguez, A. Juárez-García, L.M. López-López, V. De la Cruz-Arias y J. Álvarez-Martínez. 2015. Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 415–425.

Moya, R. 2004. *Gmelina arborea* au Costa Rica. *Bois & Forets Des Tropiques* 279(279): 47-57. Doi:10.19182/bft2004.279.a20248.

Nwoboshi, L. C. 2000. *The Nutrient Factor in Sustainable Forestry*. Ibadan University Press. Ibadan, Nigeria. 303 p.

Onyekwelu, J. C. 2004. Above-ground biomass production and biomass equations for even-aged *Gmelina arborea* (ROXB) plantations in south-western Nigeria. *Biomass and Bioenergy* 26 (1): 39-46. Doi:10.1016/S0961-9534(03)00100-4.

Onyekwelu, J. C. 2001. *Growth characteristics and management scenarios for plantation-grown Gmelina and Nauclea in SW Nigeria*. Hieronymus Verlag. Munich, Germany. 196 p.

Onyekwelu, J. C., R. Mosandl and B. Stimm. 2006. Productivity, site evaluation and state of nutrition of *Gmelina arborea* plantations in Oluwa and Omo forest reserves, Nigeria. *Forest Ecology and Management* 229 (1-3): 214-227. Doi:10.1016/j.foreco.2006.04.002.

Parada, S. B., R. A. Gallégos, M. A. Velázquez y Á. E. Hernández. 2010. Guía para la medición de biomasa en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L.f.) y cedro (*Cedrela odorata* L.) para determinar su potencial de captura de carbono. CUCBA. Departamento Forestal. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 52 p.

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. Doi:10.1016/j.plantsci.2011.07.005.

Redondo-Brenes, A. and F. Montagnini. 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232 (1-3): 168-178. Doi:10.1016/j.foreco.2006.05.067.

Rojas, F., D. Arias, R. Moya, A. Meza, O. Murillo y M. Arguedas. 2004. Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica: Botánica y ecología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 83 p.

Ruiz-Blandon, B. A., E. Hernández-Álvarez, E. Salcedo-Pérez, R. Rodríguez-Macías, A. Gallegos-Rodríguez, E. Valdés-Velarde y R. Sánchez-Hernández. 2019. Almacenamiento de carbono y caracterización lignocelulósica de plantaciones comerciales de *Tectona grandis* L.f. en México. *Colombia Forestal* 22(2): 15-29. Doi:10.14483/2256201X.13874.

Salcedo-Pérez, E., B. A. Ruiz-Blandon, E. Hernández-Álvarez, R. González-Cruz, A. Bernabé-Antonio, E. Orozco-Guareño, C. B. Ramírez-López, J. A. Hernández and E. Delgado-Fornué. 2019. Soil properties and nitrogen as indicators of growth in teak commercial stands. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10 (52): 33-54. Doi:10.29298/rmcf.v10i52.398.

- Sales, R. F., R. D Lasco and M. R. Banaticla. 2005. Carbon storage and sequestration potential of smallholder tree farms on Leyte Island, the Philippines. *In: Harrison, S., J. Herbohn, E. Mangaoang and J. Vanclay. (eds.). ACIAR Smallholder Forestry Project-Redevelopment of a Timber Industry Following Extensive Land Clearing: Proceedings from the End-of-Project Workshop. Ormoc, The Philippines. 129-141 p.*
- Segura, M. y H. Andrade. 2008. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas 46: 89–96.*
- Statistical Analysis System (SAS). 2009. SAS. Version 9.0. Raleigh, NC USA. n/p.
- Swamy, S. L., S. Puri and A.K Singh. 2003. Growth, biomass, carbon storage and nutrient distribution in *Gmelina arborea* Roxb. stands on red lateritic soils in central India. *Bioresource technology 90 (2): 109-126. Doi:10.1016/S0960-8524(03)00120-2.*
- Vanclay, J. K., J. Baynes and E. Cedamon. 2008. Site index equation for smallholder plantations of *Gmelina arborea* in Leyte Province, the Philippines. *Small-scale Forestry 7 (1): 87-93. Doi:10.1007/s11842-008-9042-6.*
- Verma, P., A. Bijalwan, A. K. Shankhwar, M. J Dobriyal, V. Jacob and S. K. Rathaude. 2017. Scaling up an Indigenous Tree (*Gmelina arborea*) Based Agroforestry Systems in India. *International Journal of Science and Qualitative Analysis 3 (6): 73-77. Doi:10.11648/j.fem.20170306.11.*



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.