

## Estimación del carbono acumulado en la biomasa fustal de especies forestales tropicales en el norte de Veracruz, México

Estimation of carbon stock in stem wood biomass of several tropical forest species in northern Veracruz, Mexico

Melchor-Marroquín José Isidro<sup>1</sup>✉, Jorge Luis Chagoya-Fuentes<sup>1</sup> y Juan Sosa-Azuara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Ixtacuaco. INIFAP. Km. 4.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Veracruz, Méx. A. P. 162. <sup>2</sup>Asociación Regional de Silvicultores Sierra de Otontepec. Calle Benito Juárez No. 503, Chontla, Veracruz. C.P. 92200.

✉ Autor para correspondencia: [melchor.jose@inifap.gob.mx](mailto:melchor.jose@inifap.gob.mx)

**Recibido:** 02/01/2014

**Aceptado:** 13/07/2014

### RESUMEN

La Sierra de Otontepec carece de un programa de manejo razón por la cual no ha generado beneficios para sus poseedores. El pago por servicios ambientales, en particular la captura de carbono por especies arbóreas, es una opción que puede lograr ese propósito. Para ello es necesario cuantificar la biomasa maderable y estimar la cantidad de carbono fijado, lo cual fue el objetivo de este trabajo. Mediante un muestreo al azar y sobre una imagen satelital (1:50 mil) se trazó una cuadrícula sobre la superficie del ejido San Nicolasillo, Chontla, Ver., ubicando 24 parcelas de muestreo de 400 m<sup>2</sup>, donde se midió diámetro normal y altura fustal y total del arbolado adulto para obtener el volumen fustal de las tres especies más abundantes, con el cual se procesaron cuatro modelos matemáticos para predecir biomasa maderable mediante regresión no lineal con el programa Statística®, seleccionando aquel con mayor coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Se determinó que *Brosimum alicastrum* (Ojite), *Persea schiedeana* (Pagua) y *Quercus lancifolia* (Encino), tienen una biomasa fustal de 157.84, 95.2 y 149.48 m<sup>3</sup>, para un total de 402.5 m<sup>3</sup>. Los modelos de Schumacher ( $Y = \beta_0 * x_1^{\beta_1} * x_2^{\beta_2}$ ) y Fórmula Australiana ( $Y = \beta_0 + \beta_1 * x_1^2 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_1^2 * x_2$ ) tuvieron el mejor ajuste. Se estimó que en las 3000 ha de bosque en excelentes condiciones de conservación de la Sierra de Otontepec existen 628,906 ton de carbono almacenado en la biomasa fustal.

**Palabras clave:** *Brosimum alicastrum*, *Persea schiedeana*, *Quercus lancifolia*, modelo Schumacher.

## ABSTRACT

The Otontepec Mountain lacks a management program why has not generated profits for their owners. Payment for environmental services, such as carbon sequestration by trees, is an alternative that can achieve this goal. This requires quantifying woody biomass and estimate the amount of carbon fixed, which was the aim of this work. By random sampling on a satellite image (1:50,000) a grid was drawn on the surface of the ejido San Nicolasillo, Chontla, Ver, placing 24 sample plots of 400 m<sup>2</sup>, where normal diameter and total height were measured for all adult trees to estimate the stemwood volume for the three most abundant species. The volume was processed with four mathematical models for predicting woody biomass by nonlinear regression with the Statistica® program, selecting the model with the highest determination coefficient ( $r^2$ ). *Brosimum alicastrum* (Ojite), *Persea schiedeana* (Pagua) and *Quercus lancifolia* (Encino) have a stemwood biomass of 157.84, 149.48 and 95.2 m<sup>3</sup> for a total of 402.5 m<sup>3</sup>. The Schumacher ( $Y=\beta_0*x_1^{\beta_1}*x_2^{\beta_2}$ ) and Australian model's had the best fit. It is estimates that in 3000 ha of forest in excellent preservation conditions of the Otontepec Mountain are stored 628,906 tons of carbon in stemwood biomass.

**Keywords:** *Brosimum alicastrum*, *Persea schiedeana*, *Quercus lancifolia*, Schumacher model.

## INTRODUCCION

En la actualidad hay un consenso científico generalizado de que las emisiones de origen humano de Gases de Efecto Invernadero (GEI), están generando un calentamiento del planeta y una alteración climática global. El más importante de los GEI es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Mediante la fotosíntesis, el CO<sub>2</sub> es retirado de la atmósfera fijándose en los tejidos vegetales como compuestos orgánicos, siendo el mayor mecanismo de reducción de CO<sub>2</sub> atmosférico, por lo que la estimación de la biomasa de un bosque es importante para determinar los montos de CO<sub>2</sub> existente en sus componentes, que representan la cantidad potencial del CO<sub>2</sub> que puede ser fijado cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de los GEI.

La Sierra de Otontepec carece de un programa de manejo, razón por la cual no ha generado beneficios para sus poseedores. El pago por servicios ambientales, en particular la captura de carbono por especies arbóreas, es una opción que puede lograr ese propósito. Para ello es necesario cuantificar la biomasa

maderable y estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado, para que en el futuro se pueda ingresar al mercado de pago por servicios ambientales en la modalidad de captura de carbono. Para cuantificar la biomasa maderable del estrato arbóreo y posteriormente estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado, existen los modelos de biomasa que son ecuaciones matemáticas que relacionan dicha variable con dimensiones del arbolado (altura comercial y total, diámetro normal, etc.) (Araújo *et al.*, 1999; Brown, 1997; MacDiken, 1997). Estos modelos pueden ser construidos y ajustados mediante un muestreo destructivo, usando un mínimo de 30 árboles bien seleccionados (MacDiken 1997). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue estimar la biomasa aérea fustal y el carbono fijado en la misma, en las especies dominantes del Ejido San Nicolasillo, de la Sierra de Otontepec, Ver.

## MATERIALES Y METODOS.

La Sierra de Otontepec, se ubica entre las coordenadas 21°19'19" y 21°09'34" LN y 97°58'30" y 97°48'00" LW. El clima es A (w<sup>2</sup>) Trópico sub-húmedo, con dos estaciones de lluvia bien marcadas y una precipitación

promedio de 1200 mm. La altitud varía de 350 a 900 msnm. Los suelos en la parte alta son Andisoles y Cambisoles. La vegetación es bosque bajo caducifolio y bosque de Encino. Mediante un diseño de muestro al azar simple y sobre una imagen satelital (1:50 mil) se trazó una cuadrícula sobre la superficie del ejido San Nicolasillo, donde se ubicaron 24 parcelas de muestreo de 400 m<sup>2</sup>, ahí se midió diámetro normal (DN); altura fustal y total y estado sanitario del arbolado adulto. El volumen individual se calculó mediante la fórmula  $V_{oli} = AB * H * F$ , donde  $V_{oli}$  = volumen por árbol, m<sup>3</sup> árbol<sup>-1</sup>; AB = área basal, m<sup>2</sup> a 1.30m de altura; H = altura, en m; F= coeficiente de forma. Los volúmenes obtenidos se procesaron con cuatro modelos matemáticos con el procedimiento de regresión no lineal del programa Statistica® v10, para evaluar cual de ellos estima mejor la biomasa maderable, con base en el coeficiente de determinación y error

estándar de los parámetros estimados. Finalmente el almacén de la biomasa maderable se transformó a almacén de carbono aplicando el factor de conversión de 0.5 (IPCC, 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estimó que *Brosimum alicastrum* (Ojite), *Persea schiedeana* (Pagua) y *Quercus lancifolia* (Encino), tienen un volumen de 157.84, 95.2 y 149.48 m<sup>3</sup>, respectivamente, para una biomasa maderable fustal de 402.5 m<sup>3</sup> en la superficie muestreada (9,600 m<sup>2</sup>) (Cuadro 1), pudiéndose inferir que en la superficie total del ejido San Nicolasillo (422.5 ha) existe una biomasa maderable fustal de 177,141.9 m<sup>3</sup>, en las tres especies estudiadas. Por otra parte, los estadísticos descriptivos presentan valores aceptables indicando que hay homogeneidad en los volúmenes estimados a partir de las variables de diámetro y altura.

**Cuadro 1.** Volumen (m<sup>3</sup>) y estadísticos para tres especies forestales en el Ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec, Ver.

Especie	Vol (m <sup>3</sup> )	Media	DE	CV
Ojite ( <i>Brosimum alicastrum</i> )	157.846	0.450	1.053	5.46
Pagua ( <i>Persea schiedeana</i> )	95.2	1.013	1.207	1.81
Encino ( <i>Quercus lancifolia</i> )	149.486	3.25	3.87	1.37
<b>TOTAL</b>	<b>402.532</b>	-	-	-

Respecto a los modelos evaluados, en general se encontró que todos tuvieron buen ajuste con  $r^2$  superior a 0.9, además de ser altamente significativos y obtener parámetros

diferentes de cero, indicando que contribuyen de forma importante en la predicción de los modelos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Análisis de varianza de la regresión no lineal para modelos de predicción de biomasa maderable en el ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec, Ver.

Modelo Maderas Tropicales: $Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \ln(x_1) - \beta_2 (\ln(x_1))^2)$			
Estadístico	Ojite	Pagua	Encino
$r^2$	0.939797	0.938181	0.939410
EE	0.259335	0.303419	0.974471
Modelo Schumacher: $Y = \beta_0 * x_1 \beta_1 * x_2^{\beta_2}$			
$r^2$	0.999492	0.999732	0.999784
EE	0.023806	0.019955	0.058163
Modelo Variable Combinada Logarítmica: $Y = \beta_0 * ((x_1^{2\beta_1} * x_2)^{\beta_2})^{\beta_3}$			
$r^2$	0.999468	0.999453	0.999784
EE	2.433027	2.837E-02	5.750E-02
Modelo Formula Australiana: $Y = \beta_0 + \beta_1 * x_1^2 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_1^2 * x_2$			
$r^2$	0.999039	0.998809	0.999812
EE	3.276E-02	4.210E-02	5.423E-02

$r^2$ = Coeficiente de determinación. EE= Error estándar. Y= volumen fustal ( $m^3$ ).  $X_1$ = Diámetro normal (m).  $X_2$ = Altura total (m).  $\beta_{0,1,2}$ = Parámetros a estimar.

Con excepción del modelo de Maderas Tropicales, los demás involucran al diámetro normal y la altura como variables predictivas, proporcionando mayor robustez para un mejor ajuste en la estimación de la biomasa maderable. Para Ojite y Encino, el mejor modelo fue la Formula Australiana, mientras que para Pagua fue el de Schumacher, ya que el estadístico  $r^2$  explica el 99.9% de la varianza asociada a los valores predichos de los

volumenes para las especies. Por lo que no se incumplen las hipótesis estructurales del análisis de regresión (Fig. 1).

Finalmente, se estimó que en las 3000 ha de bosque en excelentes condiciones de conservación de la Sierra de Otontepec existen 628,906 ton de carbono almacenado en la biomasa fustal.

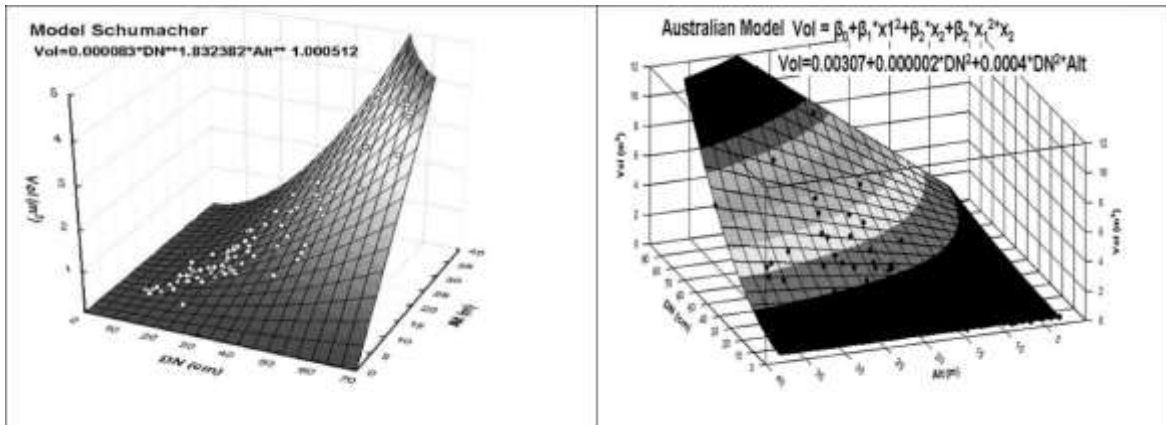


Figura 1. Representación gráfica de los modelos de Schumacher y Formula Australiana.

## CONCLUSIONES

En general se observó que los datos de las variables dasométricas son consistentes y que el diámetro normal tiene mayor peso para la estimación de la biomasa maderable. Los modelos de Schumacher y Formula Australiana son lo más adecuados para predecir la biomasa maderable de las especies estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Asociación Regional de Silvicultores Sierra de Otontepec las facilidades y la información para la elaboración de este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Araújo, T. M., Higuchi, N., De Carvalho, Jr. J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 117: 43-52.  
[https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(98\)00470-8](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(98)00470-8)
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Roma. 55 p.
- MacDiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- IPCC. 2001. Climate change 2001: The scientific basis. Intergovernmental Panel for Climatic Change. Summary for policymakers. Cambridge University Press. United Kingdom. 20 p.

Copyright (c) 2014 José Isidro Melchor Marroquin, Jorge Luis Chagoya Fuentes y Juan Sosa Azuara



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)