



DOI: 10.29298/rmcf.v15i84.1440

Artículo de investigación

Ecuaciones de volumen fustal-total y ahusamiento para especies maderables del ecosistema templado en Puebla, México

Total-stem volume and taper equations for commercial species in the temperate ecosystem of the state of Puebla, Mexico

José Carlos Monárrez-González^{1*}, Marco Antonio Márquez-Linares², Juan Antonio López Hernández³, Gustavo Pérez Verdín², Gerónimo Quiñonez Barraza¹, Xavier García Cuevas¹

Fecha de recepción/Reception date: 12 de septiembre de 2023

Fecha de aceptación/Acceptance date: 25 de marzo del 2024

¹Campo Experimental Valle de Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. México.

³Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Sede Tepehuanaes Durango. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: monarrez.jose@inifap.gob.mx

*Corresponding author; e-mail: monarrez.jose@inifap.gob.mx

Resumen

En silvicultura, la estimación precisa del volumen maderable es fundamental para el manejo forestal en bosques templados. El objetivo de la presente investigación fue generar ecuaciones de volumen total árbol (V_{ta}), volumen fustal (V_f) y perfil del fuste para *Pinus ayacahuite*, *Pinus leiophylla*, *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, *Abies religiosa* y *Quercus* sp. en paisajes productivos de un ecosistema templado en Puebla, México. Mediante un muestreo destructivo se recolectó una muestra de 1 676 árboles. Con base en el tipo dendrométrico se obtuvo el V_f , V_{ta} y volumen de copa (V_c). Con un xilómetro y el modelo no lineal de *Berkhout* se estimó el volumen de ramas y ramillas con diámetros menores a 5 cm. Para V_{ta} y V_f se ajustó el modelo *Schumacher-Hall* con regresión ponderada para corregir la heterocedasticidad. La función de *Biging* se usó para describir el perfil fustal, ajustado con mínimos cuadrados generalizados no lineales para corregir la autocorrelación. La bondad de ajuste de las ecuaciones fue superior a 96 % y un sesgo menor a 0.04 m³. Los resultados estadísticos muestran que el sistema de ecuaciones diferenciado predice con certidumbre el V_{ta} , V_f y ahusamiento de las especies maderables comerciales en los bosques templados de Puebla, México.

Palabras clave: Ahusamiento, ecuaciones alométricas, perfil fustal, *Pinus* spp., volumen fustal, volumen total árbol.

Abstract

In forestry, accurate estimation of timber volume is essential for forest management in temperate forests. The objective of the present research was to generate equations of the total tree volume (V_{tt}), stem volume (V_s), and stem profile for *Pinus ayacahuite*, *Pinus leiophylla*, *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, *Abies religiosa* and *Quercus* sp. in productive landscapes of a temperate ecosystem in the state of *Puebla*, Mexico. A sample of 1 676 trees was collected by destructive sampling. Based on the dendrometric type, the V_s , V_{tt} , and crown volume (V_c) were obtained. The volume of branches and twigs with diameters less than 5 cm was estimated using a xylometer and the Berkhout nonlinear model. The Schumacher-Hall model was fitted for the V_{tt} and the V_s with weighted regression in order to correct for heteroscedasticity. The Biging function was used to describe the stem profile, fitted with nonlinear generalized least squares to correct for autocorrelation. The goodness of fit of the equations are above 96 %, and the bias is below 0.04 m³. The statistical results show that the differential equation system predicts with certainty the V_{tt} , V_s , as well as the taper of commercial species in the temperate forests of *Puebla*, Mexico.

Key words: Taper, allometric equations, stem profile, *Pinus* spp., stem volume, total tree volume.

Introducción

Los volúmenes fustales o totales, generalmente se estiman a partir de funciones lineales y no lineales. Algunas ecuaciones alométricas citadas en la literatura incluyen: Variable combinada, *Korsun*, *Schumacher-Hall*, *Australiana*, *Meyer* modificada, *Naslund*, *Takata*, *Comprensible*, Logarítmica, *Thornber*, *Berkhout*, *Honer* y *Wenk* (Clutter *et al.*, 1983; Romahn *et al.*, 1994; Prodan *et al.*, 1997). Dada su precisión y sencillez, el modelo de *Schumacher-Hall* es uno de los más utilizados (Corral-Rivas y Návar-Cháidez, 2009; Vargas-Larreta *et al.*, 2018).

De acuerdo con Burkhart y Tomé (2012), existen varias ecuaciones para describir el perfil fustal de un árbol. Las ecuaciones más usadas son las siguientes: Bruce *et al.* (1968), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), Max y Burkhart (1976), Cao *et al.* (1980), Clutter (1980), Biging (1984), Kozak (1998), Rentería-Anima y Ramírez-Maldonado (1998), Bi (2000), Fang *et al.* (2000), Sharma y Oderwald (2001), entre otras.

Durante las últimas dos décadas, en México se han generado ajustes de funciones

de ahusamiento y volumen comercial para el ecosistema templado en diversas especies de árboles: *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en varias regiones del país (Guzmán-Santiago *et al.*, 2022); *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en Hidalgo (Hernández-Ramos *et al.*, 2017); *Quercus sideroxyla* Bonpl. en Durango (Quiñonez-Barraza *et al.*, 2019); *Quercus* sp. en Puebla (Tamarit *et al.*, 2017); *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León (Flores *et al.*, 2021); *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. y *Pinus douglasiana* Martínez en Durango (López *et al.*, 2015); *Pinus teocote* Schltdl. & Cham. en Nuevo León (Tapia y Návar, 1998); *Pinus cooperi* C. E. Blanco, *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus engelmannii* Carrière, *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus herrerae* Martínez, *Pinus ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltdl., *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus teocote* en Durango (Corral *et al.*, 1999; Quiñonez-Barraza *et al.*, 2014); *Pinus ayacahuite* en Oaxaca (Ramírez-Martínez *et al.*, 2018); *Pinus cooperi* en Durango (Cruz-Cobos *et al.*, 2008), entre otros.

Los resultados obtenidos con la ecuación de *Biging* (Biging, 1984) y *Fang* (Fang *et al.*, 2000) han sido muy precisos para describir el perfil del fuste (Corral-Rivas y Návar-Cháidez, 2009; Pompa *et al.*, 2009). La ecuación de *Biging* (Biging, 1984) tiene la ventaja de presentar solo dos parámetros, en contraste con otras funciones. La comprensión y cuantificación del volumen maderable resulta fundamental para planificar y ejecutar un manejo forestal sustentable (Ramírez-Martínez *et al.*, 2018; Flores *et al.*, 2021). El volumen del árbol se puede estimar en partes, o el total que incluye el fuste, ramas y ramillas (Vargas-Larreta *et al.*, 2018). El volumen fustal se refiere al volumen de la parte recta y cilíndrica del tronco, o bien, puede limitarse a una porción determinada del fuste. Este último se determina utilizando funciones de ahusamiento, las cuales predicen el perfil de los fustes de los árboles a diferentes alturas.

En 2013, la Comisión Nacional Forestal y diversas instituciones de México generaron el proyecto: "Desarrollo de un sistema biométrico para la planeación del manejo

forestal de los ecosistemas con potencial maderable en México” que se desarrolló para Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Durango, Oaxaca, Michoacán, Puebla, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz y Quintana Roo; en el cual se generaron 6 414 ecuaciones para estimar volumen, ahusamiento y calidad de sitio (Vargas-Larreta *et al.*, 2018). Para las ecuaciones de volumen fustal se utilizó el modelo de *Schumacher y Hall* (Schumacher, 1933), y para ahusamiento y volumen comercial el modelo compatible de *Fang* (Fang *et al.*, 2000). Este sistema biométrico, al estimar volumen total árbol, consideró para el volumen de copa solamente el volumen de las ramas y ramillas con diámetros mayores a 5 cm y no se generó la ecuación fustal y total árbol de forma separada que, si bien a través de ecuaciones aditivas se cubren dichas estimaciones, en la aplicación práctica corresponde a la comercialización; y en el manejo técnico tradicional que se aplica en Puebla, las ecuaciones diferenciadas son de mayor uso e importancia operativa, además de considerar el volumen de ramas y ramillas con diámetros menores a 5 cm.

Santos (2023) menciona que en Puebla siguen usando las funciones volumen total rollo por grupo de especies, generadas como parte del Inventario Nacional Forestal de hace más de 40 años. Por lo anterior, el objetivo fue generar ecuaciones de volumen total árbol, volumen fustal y perfil fustal en forma diferenciada y simplificada para *Pinus ayacahuite*, *P. hartwegii* Lindl., *P. leiophylla*, *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schltdl. & Cham., *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *Abies religiosa* y *Quercus* sp., principales especies maderables comerciales del ecosistema templado de Puebla, México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en áreas con aprovechamiento forestal maderable de Puebla, México, específicamente en las Unidades de Manejo Forestal (Umafor): 2101 "Izta Popo" (642 676 ha), 2103 "Teziutlán" (324 329 ha), 2105 "Centro y Pico de Orizaba" (414 817 ha) y 2108 "Chignahuapan-Zacatlán" (271 853 ha) (Conafor, 2023). Estas se localizan entre los 97°10' y 98°45' longitud oeste y 18°10' y 20°15' latitud norte (Figura 1). En interacciones, mediante cursos de capacitación y captación de demandas, con prestadores de servicios técnicos forestales, productores y funcionarios de gobierno se identificaron las especies de importancia forestal maderable para Puebla: *Pinus ayacahuite*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *Abies religiosa* y *Quercus* sp.

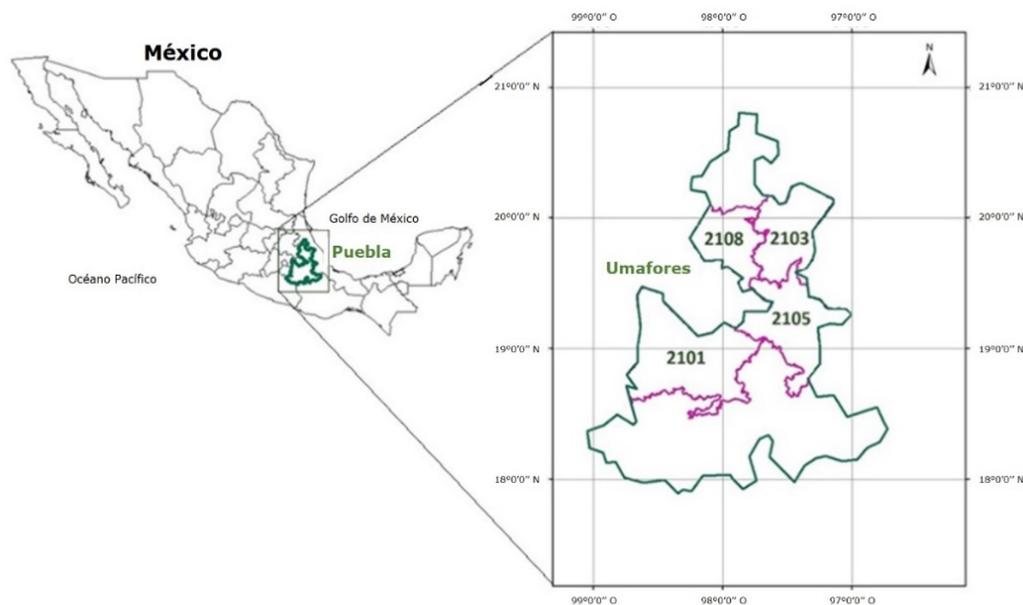


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Toma de datos y variables medidas

La toma de datos se llevó a cabo en 1 676 árboles seleccionados aleatoriamente, a través de un muestreo destructivo que incluyó el derribo y troceo de los ejemplares. En la selección se consideró la distribución diamétrica y de alturas. Para las mediciones y cálculo de volumen, cada árbol fue dividido en fuste y copa. El fuste, inicialmente, se cortó a una altura de 0.30 m sobre el nivel del suelo. Además, se realizaron mediciones en dos secciones de 0.30 m ubicadas justo encima del tocón, hasta alcanzar la altura de diámetro normal (1.3 m). Posteriormente, se continuó con mediciones del fuste en intervalos de 2 m de longitud, hasta llegar a la punta del árbol. La última sección se procuró no fuera mayor a 1.3 m de longitud.

La copa se dividió en dos partes: (a) ramas con diámetros en su sección menor >5 cm y con longitudes no mayores a 2 m, y (b) puntas de ramas y ramillas con diámetros en su sección <5 cm. Las ramas y ramillas con diámetros menores a 5 cm fueron pesadas con báscula comercial de 40 kg *Pretul*[®] modelo 29966 y se obtuvieron tres muestras (parte alta, media y baja de la copa); su volumen se estimó con un xilómetro (tambo de agua, previamente calibrado para medir volumen). La medición se realizó con una cinta diamétrica *Forestry Suppliers*[®] modelo 283D, flexómetro de 30 m *Trupper*[®] modelo TP30M y los cortes se hicieron con motosierra a gasolina 51cc 2.7 hp *Trupper*[®] (Modelo MOT-5120).

Las variables registradas fueron: diámetro normal (*DN*, cm), altura total (*AT*, m), altura de tocón (*ATOC*, m), diámetro con corteza para cada sección (*DCC*, cm), longitudes de sección (*LONG*, m), grosor de corteza (*GCC*, mm), diámetro con corteza para cada sección de rama (*DB*, cm), longitud de sección en ramas con

diámetros mayores a 5 cm (*LONGR*, m), peso total de copa (*PT*, kg), peso de muestra (*PM*, kg) y volumen de muestra de rama (*V*, cm³).

Cálculo de volúmenes

El volumen de cada sección se calculó con base en el tipo dendrométrico correspondiente (Cuadro 1), a excepción del volumen de ramas y ramillas con diámetro menor a 5 cm, el cual se estimó mediante una relación peso/volumen para después ajustar un modelo de regresión. El volumen total del árbol con corteza (*V_{ta}*) se estimó sumando el *volumen de tocón+volumen de tronco+volumen de punta+volumen de copa en ramas con diámetros mayores a 5 cm+volumen de ramas y ramillas con diámetros menores a 5 cm*. El volumen fustal con corteza (*V_f*) se obtuvo sumando *volumen de tocón+volumen de tronco+volumen de punta*.

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas en la cubicación de los árboles derribados.

Parte del árbol	Tipo dendrométrico	Fórmula
Punta	Paraboloide apolónico	$V = \frac{A_0}{2} L$
Secciones y ramas	Truncado de paraboloide apolónico	$V = \left(\frac{A_0 + A_1}{2} \right) l$
Tocón	Truncado de neiloide	$V = \frac{l}{4} \left(A_0 + A_1 + \sqrt[3]{A_0 A_1} \left(\sqrt[3]{A_0} + \sqrt[3]{A_1} \right) \right)$

V = Volumen (m³); *A₀* = Área de la sección menor (m²); *A₁* = Área de la sección mayor (m²); *A₀* y *A₁* = Área mayor y menor; *l* = Longitud (m). Fuente: Romahn *et al.* (1994).

Previo al análisis estadístico, se revisaron datos atípicos y se creó una base de datos con el programa Excel de Microsoft Office (Pérez, 2006).

Ajuste de ecuaciones de volumen total árbol y volumen fustal

Para la estimación del volumen de ramas y ramillas menores a 5 cm se ajustó la ecuación alométrica de *Berkhout* ajustada (Prodan *et al.*, 1997) (Ecuación 1). Este componente de volumen se determinó a nivel género por lo complicado de la medición y la mínima aportación proporcional en volumen total árbol. Se usó una base de datos de 31 árboles para el género *Abies*, 134 para *Pinus* y siete para *Quercus*.

$$V_r = \beta_0 DN^{\beta_1} \quad (1)$$

Donde:

V_r = Volumen de ramas y ramillas (m³)

β_i = Coeficientes

DN = Diámetro normal con corteza (cm)

Para la estimación del volumen total árbol y fustal por especie se ajustó la expresión de *Schumacher-Hall* (Schumacher, 1933) (Ecuación 2).

$$V = \beta_0 DN^{\beta_1} AT^{\beta_2} \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen (m^3)

β_i = Coeficientes de regresión a estimar

DN = Diámetro normal con corteza (cm)

AT = Altura total (m)

Además, se verificó la independencia y distribución homogénea de los errores con media cero y varianza constante: multicolinealidad, autocorrelación y heterocedasticidad. El análisis gráfico de residuos frente a estimados mostró problemas de heterocedasticidad en todas las especies; por ello, se utilizó una regresión ponderada con un peso igual a la inversa de la varianza de cada observación. Para evaluar el ajuste se estimaron los estadísticos del Error Estándar del Estimador ($STDE$) y Coeficiente de Determinación o R^2 ajustada (R^2_{ADJ}).

Ajuste de la ecuación de ahusamiento

Para modelar y describir el perfil fustal se ajustó la ecuación de *Biging* (Biging, 1984). Esta expresión parte de la base de la forma integral de la ecuación de *Bertalanffy-Richards* con dos parámetros (Biging, 1984) (Ecuación 3).

$$d = DN(\beta_1 + \beta_2 \ln \left(1 - (h/H)^{\frac{1}{m}} \left(1 - \exp \frac{-\beta_1}{\beta_2} \right) \right)) \quad (3)$$

Donde:

d = Diámetro a diferentes alturas del fuste (cm)

DN = Diámetro normal (cm)

β_i = Parámetros del modelo

\ln = Base de los logaritmos neperianos

h = Altura para cada sección con respecto al suelo (m)

H = Altura total (m)

\exp = Función exponencial

m = Valor constante de 3 (Corral *et al.*, 1999)

Dado que se detectó correlación en las observaciones, lo cual quebranta el principio de independencia de los errores, se aplicó el método de Mínimos Cuadrados Generalizados no Lineales (Huang *et al.*, 2000); el término del error se expandió mediante un modelo autorregresivo continuo de orden x [$CAR(x)$] (Ecuación 4).

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{k=x} l_k \rho_k^{h_{ij} - h_{ij-k}} e_{ij-k} + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Donde:

e_{ij} = j -ésimo residuo ordinario del i -ésimo árbol

e_{ij-k} = j -ésimo residuo ordinario del $i-k$ -ésimo árbol

$l_k = 1$ para $j > k$ y es cero para $j \leq k$

ρ_k = Parámetro autorregresivo de orden k a ser estimado

$h_{ij} - h_{ij-k}$ = Distancia que separa la j -ésimo- k -ésimo observación dentro de cada árbol con $h_{ij} > h_{ij-k}$

ε_{ij} = Término del error bajo la condición de independencia

La estructura del error referida se ajustó simultáneamente con la expresión de ahusamiento de *Biging* y de volumen de *Schumacher-Hall*.

Para aumentar la eficacia en la detección de datos atípicos en el ahusamiento, se realizó un ajuste local cuadrático no paramétrico (asumiendo una distribución normal de los errores) para cada una de las especies mediante regresión local *LOESS*, con un parámetro de suavizado de 0.3 para cada especie (Pompa *et al.*, 2009). El ajuste de las ecuaciones de volumen y ahusamiento por especie se llevó a cabo con el procedimiento *MODEL* y *NLIN* de SAS (SAS Institute Inc., 2015), el cual permite una actualización dinámica de los residuos.

Resultados

Los estadísticos descriptivos por especie para las variables diámetro y altura se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de la base de datos analizada.

Especie	Número de árboles	Diámetro mínimo (cm)	Diámetro máximo (cm)	Altura total mínima (m)	Altura total máxima (m)
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltl.	141	8.3	97.4	8.58	49.3
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	78	10.2	77	4.4	37.8
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltl. & Cham.	52	11	70	7.74	34.49
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	304	2	89.3	1.54	49.25
<i>Pinus patula</i> Schltl. & Cham.	230	2.1	89	7.55	40.6
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	308	4.4	123	3.8	43
<i>Pinus teocote</i> Schltl. & Cham.	160	8	75	5.85	40.05
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltl. & Cham.	225	5.5	96	5.65	45
<i>Quercus</i> sp.	124	8.9	71	5.62	32.15
Total general	1 676				

El ajuste del modelo *Berkhout* para estimar el volumen de ramas y ramillas por género con diámetro ≤ 5 cm fue bueno; los parámetros significativos y altos valores en el R^2_{ADJ} se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros estadísticos de la ecuación para estimar volumen en ramas y ramillas menores e iguales a 5 cm por género.

Género	Modelo	β_0	β_1	Valor de P	R^2_{ADJ}
<i>Pinus</i> L.	$Vr = 0.000296 \times DN^{1.7416}$	0.000296	1.7416	<0.0001	0.886
<i>Abies</i> Mill.	$Vr = 0.000781 \times DN^{1.562}$	0.000781	1.5620	<0.0001	0.946
<i>Quercus</i> L.	$Vr = 0.00004 \times DN^{2.2197}$	0.00004	2.2197	<0.0001	0.950

Vr = Volumen en ramas y ramillas (m^3); DN = Diámetro normal con corteza (cm);

β_i = Coeficientes; R^2_{ADJ} = Coeficiente de determinación.

El ajuste del modelo de *Schumacher-Hall* para Vf y Vta por especie registró un sesgo bajo y parámetros significativos (cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Parámetros y estadísticos de las ecuaciones para estimar volumen fustal.

Especie	Parámetros estimados							R^2_{ADJ}
	β_0	β_1	B_2	$STDB_0$	$STDB_1$	$STDB_2$	Sesgo	
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltl.	0.00011	1.81574	0.84786	1.39E-05	0.04238	0.07566	0.01279	0.98
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	0.00011	2.25105	0.40620	1.63E-05	0.07674	0.09383	0.04255	0.96
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltl. & Cham.	0.00005	1.87382	1.03134	1.37E-05	0.06596	0.10189	-0.00145	0.98
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	0.00011	2.07621	0.60168	1.03E-05	0.03776	0.05006	-0.0011	0.98
<i>Pinus patula</i> Schltl. & Cham.	0.00005	1.86843	1.00634	6.79E-06	0.03290	0.05841	0.00352	0.97
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	0.00014	1.98365	0.63166	1.04E-05	0.02596	0.03924	0.02769	0.96
<i>Pinus teocote</i> Schltl. & Cham.	0.00011	1.86733	0.84149	1.04E-05	0.03728	0.04905	0.00324	0.97
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltl. & Cham.	0.00012	1.79730	0.87374	1.19E-05	0.03264	0.05682	0.00668	0.99
<i>Quercus</i> sp.	0.00017	1.92302	0.56380	1.98E-05	0.04811	0.07370	0.00429	0.97

β_i = Parámetros estimados; $STDB_i$ = Error estándar del estimador;

R^2_{ADJ} = Coeficiente de determinación ajustado.

Cuadro 5. Parámetros y estadísticos de las ecuaciones para estimar volumen total árbol.

Especie	Parámetros estimados							R^2_{ADJ}
	β_0	β_1	B_2	$STDB_0$	$STDB_1$	$STDB_2$	Sesgo	
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltl.	0.00018	1.88174	0.670551	2.23E-05	0.04051	0.07261	0.00996	0.98
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	0.00017	2.30160	0.268374	2.3E-05	0.07104	0.08776	0.04185	0.96
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltl. & Cham.	0.00010	1.92276	0.825071	2.19E-05	0.06696	0.09493	-0.0016	0.98
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	0.00017	2.09435	0.507474	1.43E-05	0.03960	0.05104	0.00575	0.98
<i>Pinus patula</i> Schltl. & Cham.	0.00008	1.95963	0.813863	1.14E-05	0.03635	0.06156	0.00072	0.97
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	0.00024	2.01848	0.464369	1.49E-05	0.02464	0.03519	0.04171	0.97
<i>Pinus teocote</i> Schltl. & Cham.	0.00017	1.92822	0.672886	1.47E-05	0.03423	0.04437	0.00631	0.97
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltl. & Cham.	0.00022	1.81572	0.735886	2.15E-05	0.03126	0.05476	0.00461	0.99
<i>Quercus</i> sp.	0.00020	2.08321	0.378606	1.99E-05	0.04313	0.06461	0.00669	0.97

β_i = Parámetros estimados; $STDB_i$ = Error estándar del estimador;

R^2_{ADJ} = Coeficiente de determinación ajustado.

Las ecuaciones de *Vf* ajustadas para las ocho especies maderables y una a nivel género resultaron ser precisas. El modelo de *Vf* para *A. religiosa*, *P. ayacahuite*, *P. leiophylla* y *P. montezumae* tuvieron los valores más bajos del error estándar y sesgo, así como el valor más alto del Coeficiente de Determinación.

El ajuste de ecuaciones de *Vta* muestra coeficientes de determinación y error estándar adecuados para las ocho especies y para *Quercus*. La ecuación de *Vta* para *A. religiosa*, *P. ayacahuite*, *P. leiophylla* y *P. montezumae* registraron los valores más bajos del error estándar, sesgo y mejor ajuste. En el Cuadro 6 se exhiben las ecuaciones finales para estimar el *Vf* y *Vta* por especie.

Cuadro 6. Ecuaciones volumétricas determinadas para las especies maderables del ecosistema templado de Puebla, México.

Especie	Volumen fustal	Volumen total árbol
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltldl	$Vf = 0.000115DN^{1.615744}AT^{-0.647865}$	$Vta = 0.000185DN^{1.661747}AT^{-0.670331}$
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	$Vf = 0.000110DN^{1.667331}AT^{-0.641404}$	$Vta = 0.000172DN^{1.928221}AT^{-0.672826}$
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltldl. & Cham.	$Vf = 0.0000587DN^{1.673824}AT^{-1.031340}$	$Vta = 0.000109DN^{1.922763}AT^{-0.623071}$
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	$Vf = 0.000117DN^{2.076216}AT^{-0.601681}$	$Vta = 0.000174DN^{2.094332}AT^{-0.607474}$
<i>Pinus patula</i> Schltldl. & Cham.	$Vf = 0.000058DN^{1.688435}AT^{-1.006343}$	$Vta = 0.000088DN^{1.929633}AT^{-0.613263}$
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	$Vf = 0.000142DN^{1.962631}AT^{-0.631666}$	$Vta = 0.000246DN^{2.016458}AT^{-0.644369}$
<i>Pinus teocote</i> Schltldl. & Cham.	$Vf = 0.000114DN^{2.231031}AT^{-0.406208}$	$Vta = 0.000170DN^{2.301601}AT^{-0.268374}$
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltldl. & Cham.	$Vf = 0.000128DN^{1.797302}AT^{-0.672743}$	$Vta = 0.000221DN^{1.615725}AT^{-0.732826}$
<i>Quercus</i> sp.	$Vf = 0.000172DN^{1.923027}AT^{-0.563203}$	$Vta = 0.000204DN^{2.063216}AT^{-0.378906}$

Vf = Volumen fustal (m³); *DN* = Diámetro normal con corteza (cm); *AT* = Altura total (m); *Vta* = Volumen total árbol (m³).

En el Cuadro 7 se muestran los parámetros de las funciones de ahusamiento por especie. Se revisaron los residuales y los valores de los estadísticos Raíz del Error Cuadrático Medio (*RMSE*) y el Coeficiente de Determinación Ajustado (*R*²_{*ADJ*}).

Cuadro 7. Parámetros y estadísticos de ajuste de la ecuación de ahusamiento de *Biging*.

Especie	Parámetros estimados y estadísticos de ajuste					
	β_0	β_1	$STD\beta_0$	$STD\beta_1$	RMSE	R^2_{ADJ}
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltld.	1.15806	0.347976	0.003756	0.000679	5.554092	0.9650
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	1.20949	0.363995	0.005875	0.007064	3.663492	0.9740
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	1.22164	0.431578	0.005959	0.008369	2.478267	0.9847
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	1.19754	0.343313	0.002736	0.002917	3.33656	0.9808
<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham.	1.27765	0.493181	0.004102	0.007389	3.991821	0.9683
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	1.24541	0.402689	0.003365	0.004399	3.760633	0.9711
<i>Pinus teocote</i> Schltld. & Cham.	1.19086	0.326769	0.004327	0.002046	3.225456	0.9745
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltld. & Cham.	1.30039	0.597817	0.004206	0.01028	4.840787	0.9674
<i>Quercus</i> sp.	1.24943	0.639853	0.005285	0.014327	2.729923	0.9754

β_i = Parámetros de los estimadores; $STD\beta_i$ = Error estándar del estimador; $RMSE$ = Raíz del Error Cuadrático Medio; R^2_{ADJ} = Coeficiente de determinación ajustado.

De acuerdo con los valores de los estadísticos de ajuste y significancia de los parámetros, las ecuaciones explicaron de manera adecuada el perfil del fuste para cada especie (Cuadro 8).

Cuadro 8. Ecuaciones de perfil fustal para las especies maderables del ecosistema templado de Puebla, México.

Especie	Función de perfil fustal
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltld.	$dm = DN(1.1580 + 0.34797 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} (1 - \exp^{\frac{-1.1580}{0.34797}}) \right))$
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	$dm = DN(1.2094 + 0.36399 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} (1 - \exp^{\frac{-1.2094}{0.36399}}) \right))$
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	$dm = DN(1.2216 + 0.43157 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} (1 - \exp^{\frac{-1.2216}{0.43157}}) \right))$

Pinus montezumae Lamb.

$$dm = DN(1.19754 + 0.34331 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-1.19754}{0.34331}} \right) \right))$$

Pinus patula Schltldl. & Cham.

$$dm = DN(1.2776 + 0.49318 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-1.2776}{0.49318}} \right) \right))$$

Pinus pseudostrobus Lindl.

$$dm = DN(1.2454 + 0.40268 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-1.2454}{0.40268}} \right) \right))$$

Pinus teocote Schltldl. & Cham.

$$dm = DN(1.9086 + 0.32676 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-1.9086}{0.32676}} \right) \right))$$

Abies religiosa (Kunth) Schltldl. & Cham.

$$dm = DN(1.3003 + 0.59781 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-1.3003}{0.59781}} \right) \right))$$

Quercus sp.

$$dm = DN(1.2494 + 0.63985 \ln \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-1.2494}{0.63985}} \right) \right))$$

dm = Diámetro a una altura determinada del fuste (cm); DN = Diámetro normal con corteza (cm); H = Altura total (m); h = Altura determinada para estimación con respecto al suelo (m); exp = Constante exponencial; ln = Base de los logaritmos neperianos.

Discusión

En este estudio, se ajustaron ecuaciones de V_f y V_{ta} con el modelo de *Schumacher-Hall* (Schumacher, 1933) y de perfil del fuste con el modelo de *Biging* (Biging, 1984) para ocho coníferas maderables comerciales, además de *Quercus* sp. del ecosistema templado en Puebla, México. En total se obtuvieron 27 ecuaciones, los resultados presentan similitudes con Ramírez-Martínez *et al.* (2018) quienes

ajustaron varios modelos para estimar volumen total en *P. ayacahuite*, y concluyeron que el modelo de *Schumacher-Hall* fue el de menor sesgo (Sesgo=0.026 m³). Por su parte, Tapia y Návar (2011) ajustaron y validaron ocho ecuaciones de volumen para *P. pseudostrobus* y el modelo de *Schumacher-Hall* resultó ser preciso con un alto nivel de confiabilidad ($R^2_{ADJ}=0.96$).

Ramos-Uvilla *et al.* (2014) generaron ecuaciones de volumen para *Pinus lawsonii* Roetzl ex Gordon y *P. oocarpa*, los autores evaluaron cinco modelos, y el de mejor ajuste fue el de *Schumacher-Hall* ($R^2_{ADJ}=0.99$). Corral-Rivas y Návar-Cháidez (2009) evaluaron siete modelos para estimar volumen fustal en *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. herrerae* de Durango; nuevamente, el modelo de *Schumacher-Hall* presentó los coeficientes de determinación más altos, los errores estándar más bajos y errores distribuidos normalmente. Rodríguez-Flores *et al.* (2019) utilizaron el modelo de *Schumacher-Hall* linealizado para estimar los componentes de volumen de nueve especies o grupos de taxones comunes de los bosques templados del Noroeste de México, sus conclusiones evidenciaron que dicho modelo se ajustó adecuadamente a los datos.

Guzmán-Santiago *et al.* (2022) refieren que la ecuación de *Schumacher-Hall* en la estimación de rollo total árbol para *Abies religiosa* en el estado de Puebla fue la de mayor precisión. Vargas-Larreta *et al.* (2018) aplicaron el modelo *Schumacher-Hall* para estimar el volumen fustal en especies maderables de Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Durango, Oaxaca, Michoacán, Puebla, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz y Quintana Roo, sus ecuaciones fueron agrupadas en el Sistema Biométrico Forestal (Sibifor).

El modelo de *Biging* (Biging, 1984) ha sido ampliamente usado en el manejo forestal para describir el perfil fustal en función del diámetro normal. Rentería-Anima y Ramírez-Maldonado (1998) evaluaron diez ecuaciones de ahusamiento para *P. cooperi* en Durango, y observaron que los modelos mostraban problemas en la

predicción del diámetro del tocón (0.3 m). Corral *et al.* (1999) validaron seis modelos de ahusamiento para *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. herrerae* en la región forestal de El Salto, Durango; sus pruebas estadísticas mostraron que el modelo de *Biging* (Biging, 1984) predijo con buen ajuste el perfil diamétrico.

De igual manera, Pompa *et al.* (2009) compararon modelos de ahusamiento y determinaron para *P. arizonica* en la región Suroeste de Chihuahua que el modelo *Biging* (Biging, 1984) tenía la mayor capacidad de predicción y permitía diseñar una ecuación compatible a volumen. Corral-Rivas y Návar-Cháidez (2009) determinaron que la función de ahusamiento de *Biging* para *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. herrerae* en Durango provee volúmenes comparables a nivel del árbol o rodal con las ecuaciones de volumen convencionales (*Smalian*, *Huber* o *Newton*). Tamarit *et al.* (2017) generaron un sistema de cubicación para el género *Quercus* sp. en Puebla mediante el modelo segmentado de Fang *et al.* (2000), con muy buena predicción.

Conclusiones

Las ecuaciones ajustadas basadas en la expresión de *Schumacher-Hall* a nivel de especie proporcionan estimaciones confiables y precisas para determinar el volumen fustal y volumen total árbol de las especies *Pinus ayacahuite*, *P. leiophylla*, *P. hartwegii*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *Abies religiosa* y *Quercus* sp. en bosques templados de Puebla, México. Para modelar el ahusamiento de las mismas especies se generaron ecuaciones que se basan en el modelo de *Biging*.

Dado el manejo técnico y el aprovechamiento maderable que actualmente se realiza en Puebla, se considera conveniente el uso de las ecuaciones generadas para que sustituyan las desarrolladas hace 46 años por la entonces Subsecretaría Forestal perteneciente a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; por ello se recomienda su implementación en la elaboración y ejecución de los programas de manejo para aprovechamiento maderable en esta entidad federativa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión Nacional Forestal, a la Secretaría de Desarrollo Rural, Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial del Gobierno de Puebla y a los prestadores de servicios técnicos forestales, dueños y poseedores del recurso forestal por el apoyo para el desarrollo del presente estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses. Los doctores José Carlos Monárrez-González y Gerónimo Quiñones Barraza declaran no haber participado en ninguna etapa del proceso editorial del presente artículo.

Contribución por autor

José Carlos Monárrez-González: conceptualización de la investigación, toma de datos, análisis estadístico, redacción; Marco Antonio Márquez-Linares: revisión, análisis estadístico y corrección del manuscrito; Juan Antonio López Hernández:

toma de datos en campo y corrección del manuscrito; Gustavo Pérez Verdín y Gerónimo Quiñones Barraza: redacción y análisis estadístico; Xavier García Cuevas: redacción y corrección del manuscrito.

Referencias

- Bi, H. 2000. Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalyptus. *Forest Science* 46(3):397-409. Doi: 10.1093/forestscience/46.3.397.
- Biging, G. S. 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *Forest Science* 30(4):1103-1117. Doi: 10.1093/forestscience/30.4.1103.
- Bruce, D., R. O. Curtis and C. Vancoevering. 1968. Development of a system of taper and volume tables for red alder. *Forest Science* 14(3):339-350. Doi: 10.1093/forestscience/14.3.339.
- Burkhart, H. E. and M. Tomé. 2012. *Modeling forest trees and stands*. Springer Dordrecht. Berlin, Bel., Germany. 458 p.
- Cao, Q. V., H. E. Burkhart and T. A. Max. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of Loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science* 26(1):71-80. Doi: 10.1093/forestscience/26.1.71.
- Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *Forest Science* 26(1):117-120. Doi: 10.1093/forestscience/26.1.117.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. Wiley. New York, NY, United States of America. 333 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2023. Memorias de estudios Regionales de Puebla, México (2101, 2103, 2105, 2108). Conafor. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/default.aspx?grupo=9&tema=164>. (13 de enero de 2023).

- Corral R., S., J. de J. Nívar C. y F. Fernández S. 1999. Ajuste de funciones de ahusamiento a los perfiles fustales de cinco Pináceas de la región de El Salto, Durango. *Madera y Bosques* 5(2):53-65. Doi: 10.21829/myb.1999.521347.
- Corral-Rivas, S. y J. de J. Nívar-Cháidez. 2009. Comparación de técnicas de estimación de volumen fustal total para cinco especies de pino de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1):5-13. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v15n1/v15n1a1.pdf>. (13 de agosto de 2023).
- Cruz-Cobos, F., H. M. De los Santos-Posadas y J. R. Valdez-Lazalde. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia* 42(4):473-485. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952008000400010&script=sci_arttext. (13 de agosto de 2023).
- Demaerschalk, J. P. 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science* 18(3):241-245. Doi: 10.1093/forestscience/18.3.241.
- Fang, Z., B. E. Borders and R. L. Bailey. 2000. Compatible volume-taper models for Loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science* 46(1):1-12. Doi: 10.1093/forestscience/46.1.1.
- Flores M., E. A., A. C. Rodríguez A., O. A. Aguirre C., E. Alanís R. y G. Quiñonez B. 2021. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el ejido Corona del Rosal, Nuevo León, México. *Madera y Bosques* 27(2):1-12. Doi: 10.21829/myb.2021.2722130.
- Guzmán-Santiago, J. C., B. Vargas-Larreta, M. Gómez-Cárdenas y G. Quiñonez-Barraza. 2022. Función ahusamiento-volumen comercial de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en varias regiones de México. *Colombia Forestal* 25(1):77-94. Doi: 10.14483/2256201x.17814.
- Hernández-Ramos, J., A. Hernández-Ramos, J. de J. García-Magaña, X. García-Cuevas, ... y E. H. Olvera-Delgadillo. 2017. Sistema compatible de ahusamiento-volumen comercial para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. en Hidalgo, México. *Revista Mexicana de*

- Ciencias Forestales 8(39):59-70. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322017000100059&script=sci_arttext. (13 de agosto de 2023).
- Huang, S., D. Price and S. J. Titus. 2000. Development of ecoregion-based-height-diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management* 129(1-3):125-141. Doi: 10.1016/S0378-1127(99)00151-6.
- Kozak, A. 1998. Effects of upper stem measurements on the predictive ability of a variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research* 28(7):1078-1083. Doi: 10.1139/x98-120.
- López M., J. C., F. Cruz C., J. A. Nájera L. y F. J. Hernández. 2015. Modelos de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus oocarpa* y *Pinus douglasiana* en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia* 23(64):47-53. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67441039007.pdf>. (13 de agosto de 2023).
- Max, T. A. and H. E. Burkhart. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science* 22(3):283-289. Doi: 10.1093/forestscience/22.3.283.
- Ormerod, D. W. 1973. A simple bole model. *The Forestry Chronicle* 49:136-138. Doi: 10.5558/tfc49136-3.
- Pérez G., L. O. 2006. Microsoft Excel: una herramienta para la investigación. *MediSur* 4(3):68-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180019873015>. (23 de agosto de 2023).
- Pompa G., M., J. J. Corral R., M. A. Díaz V. y M. Martínez S. 2009. Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. en el Suroeste de Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal en México* 34(105):119-136. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000100006. (23 de agosto de 2023).
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox. y P. Real. 1997. *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y Deutsche Gesellschaft

für Technische Zusammenarbeit (GTZ). San José, SJ, Costa Rica. 561 p.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/15038>. (23 de agosto de 2022).

Quiñonez-Barraza, G., D. Zhao, H. M. de los Santos-Posadas, W. Santiago-García, J. C. Tamarit-Urias and J. A. Nájera-Luna. 2019. Compatible taper, volume, green weight, biomass and carbon concentration system for *Quercus sideroxyla* Bonpl. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 25(1):49-69. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.06.050.

Quiñonez-Barraza, G., H. M. De los Santos-Posadas, J. G. Álvarez-González y A. Velázquez-Martínez. 2014. Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial para las principales especies de *Pinus* en Durango, México. Agrociencia 48(5):553-567. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1102/1102>. (23 de agosto de 2023).

Ramírez-Martínez, A., W. Santiago-García, G. Quiñonez-Barraza, F. Ruiz-Aquino y P. Antúnez. 2018. Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren. Madera y Bosques 24(2):1-15. Doi: 10.21829/myb.2018.2421496.

Ramos-Uvilla, J. A., J. J. García-Magaña, J. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas, ... y G. G. García E. 2014. Ecuaciones y tablas de volumen para dos especies de *Pinus* de la Sierra Purépecha, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(23):92-109.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000300008. (25 de agosto de 2023).

Rentería-Anima, J. B. y H. Ramírez-Maldonado. 1998. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* Blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 4(2):315-321. <https://backup.chapingo-cori.mx/articulosPDF-rchscfa/revista/articulos/rchscfaIV2146.pdf>. (25 de agosto de 2023).

Rodríguez-Flores, F. de J., P. A. Domínguez-Calleros and J. Návar. 2019. Estimating tree volume components for temperate forests of northwestern México. Foresta Veracruzana 21(1):1-10.

<https://www.redalyc.org/journal/497/49759430001/49759430001.pdf>. (24 de agosto de 2023).

Romahn de la V., C. F., H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. Méx., México. 353 p.

Santos de J., A. Z. 2023. SIBIFOR vs INF: Comparaciones informadas de modelos de cubicación para programas de manejo en la sierra norte de Puebla. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. Méx., México. 68 p.

http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/5115/Santos_Jesus_AZ_MC_Ciencias_Forestales_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (10 de febrero de 2024).

SAS Institute Inc. 2015. SAS/STAT® 14.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, United States of America. 10380 p. <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/68162/PDF/default/statug.pdf>. (10 de septiembre de 2022).

Schumacher, H. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal Agricultural Research* 47:719-734. [https://www.semanticscholar.org/paper/Logarithmic-expression-of-timber-tree-volume-](https://www.semanticscholar.org/paper/Logarithmic-expression-of-timber-tree-volume-Schumacher/919a9aceffc6e12e6702a10a07c6722301543545)

[Schumacher/919a9aceffc6e12e6702a10a07c6722301543545](https://www.semanticscholar.org/paper/Logarithmic-expression-of-timber-tree-volume-Schumacher/919a9aceffc6e12e6702a10a07c6722301543545). (13 de agosto de 2023).

Sharma, M. and R. G. Oderwald. 2001. Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research* 31(5):797-803. Doi: 10.1139/cjfr-31-5-797.

Tamarit U., J. C., E. Rojas D., G. Quiñonez B., C. Ordoñez P. y J. C. Monárrez G. 2017. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Quercus* sp. en bosques bajo manejo de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(40):69-88. Doi: 10.29298/rmcf.v8i40.37.

Tapia, J. y J. Návar. 1998. Ajuste de modelos de volumen y funciones ahusamiento para *Pinus teocote* en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental.

Ciencia e investigación Forestal 12(1):5-23.
<https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/20.500.12978/25736>. (22 de agosto de 2023).

Tapia, J. y J. Návar. 2011. Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana* 13(2):19-28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49721457004>. (20 de agosto de 2023).

Vargas-Larreta, B., O. A. Aguirre-Calderón, C. G. Aguirre-Calderón, F. J. Zamudio-Sánchez, ... y J. O. López-Martínez. 2018. Manual del Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor): Herramientas para el manejo de los bosques templados y tropicales de México. Comisión Nacional Forestal (Conafor). Zapopan, Jal., México. 89 p.



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 \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.