



Modelo para predecir biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.

Model for estimating *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. dry leaf biomass

Eulalia Edith Villavicencio-Gutiérrez^{1*}, Santiago Mendoza-Morales² y
Jorge Méndez González²

Abstract:

Litsea parvifolia is an ever-green shrub of the Lauraceae family whose foliar biomass is its main component. Its leaves are harvested and marketed in and around the southeastern region of Saltillo municipality, Coahuila State. Fresh, it has culinary and medicinal use; dry, it is used as condiment. In order to regulate its use and determining its stock, an allometric model was selected to estimate the dry foliar biomass and the elaboration of a production table of the standing shrubs was planned as well. Natural populations were evaluated, recording the total height (H , cm) and mean diameter (Dp , cm) of the shrub crown, considering all categories of height and cover of standing shrubs and dry leaf biomass (Bfs , g). Ten allometric models were evaluated using the PROC MODEL procedure in SAS, version 9.4. Dp and H are correlated with laurel Bfs . The Schumacher-Hall model in its non-linear form is statistically reliable ($p < 0.0001$) as it records the best statistics, with presence of heteroscedasticity, corrected effect with a weighted regression with variance structure $(Dp^2H)^{-0.5}$, obtaining an $R^2_{aj.}$ of 0.82, S_{xy} of 18.41 g and a CV of 44.93 %. The model can be used to estimate the production of Bfs in places with similar ecological characteristics to the study area.

Key words: Allometry, biomass, dry leaf, forest management, non-timber, weighted regression.

Resumen

Litsea parvifolia es un arbusto, perenne de la familia Lauraceae, cuya biomasa foliar es su componente principal. Sus hojas se aprovechan y comercializan en el sureste de Saltillo y alrededores. En fresco, tiene uso culinario y medicinal; en seco, como condimento. Con el propósito de generar información básica para la regulación de su aprovechamiento, se planteó seleccionar un modelo alométrico para predecir la biomasa foliar seca y elaborar una tabla de producción para arbustos en pie. Se evaluaron algunas poblaciones naturales, en las que se registró la altura total (H) y diámetro promedio (Dp) de todos los individuos en pie y se determinó la biomasa foliar seca (Bfs). Se probaron nueve modelos alométricos mediante el procedimiento PROC MODEL en SAS 9.4, para elegir aquel con el mayor coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{aj.}$); el valor más bajo en la raíz cuadrada media del error (RCME), en el coeficiente de variación (CV) y en la suma de cuadrados de los residuales (SCR); además de la significancia de sus parámetros ($P \leq 0.05$). El Dp y la H se correlacionaron con la Bfs . El modelo Schumacher-Hall no lineal es confiable estadísticamente ($p < 0.0001$), registra los mejores estadísticos, con presencia de heteroscedasticidad, efecto corregido con regresión ponderada con estructura de varianza $(Dp^2H)^{-0.5}$, una $R^2_{Aj.}$ de 0.82, S_{xy} de 18.41 g y un CV de 44.93 %. El modelo puede usarse para predecir la producción de Bfs en sitios con características ecológicas similares al área de estudio.

Palabras clave: Alometría, biomasa, hoja seca, manejo forestal, no maderable, regresión ponderada.

Fecha de recepción/Reception date: 12 de agosto de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 29 de enero de 2020

¹Campo Experimental Saltillo. CIR-Noreste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

²Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

Autor por correspondencia; correo-e: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

Introducción

Los productos forestales no maderables (PFNM) son de gran importancia como bienes y servicios, esencialmente en las comunidades rurales, pues tienen diferentes usos: alimenticio, cultural, medicinal e industrial; y, en general, son de alta demanda en el comercio extranjero (Chandrasekharan *et al.*, 1996).

El área de distribución nativa de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. (laurel) es el noreste de México, con siete especies reconocidas del género; habita en zonas húmedas, bosques de pino-encino y matorral semidesértico; se desarrolla en altitudes de 1 000 a 3 000 m, pero con distribución restringida en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Van Der Werff y Lorea, 1997; Jiménez-Pérez y Lorea-Hernández, 2009).

De acuerdo con la Comisión del “Código Alimentario” (*CODEX Alimentarius*) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-000-SCFI/SADER-2019, referente a Especias y Hierbas Culinarias o Aromáticas, las hojas secas del laurel, en forma entera, rota, quebrada o molida son de uso culinario por sus propiedades de sabor, aroma y aspecto visual, cuya función primaria es sazonar alimentos en forma fragante, aromática o pungente (CODEX, 2017).

Desde el punto de vista medicinal, se prepara en forma de infusión para aliviar problemas estomacales, como diarrea e indigestión; así como fiebre y el nerviosismo; además, el macerado en alcohol se usa para sanar el reumatismo. En algunos casos la planta se utiliza como ceremonial y ornamental (Jiménez-Pérez *et al.*, 2011).

La biomasa es la cantidad de materia orgánica viva presente en tallos, hojas y corteza (biomasa aérea), así como en las raíces (biomasa subterránea) (Brown, 1997). En el ámbito forestal, la biomasa se emplea para conocer el contenido de carbono por unidad de superficie y de esta manera calcular la capacidad de fijación por los ecosistemas (Ordóñez *et al.*, 2015).

Los modelos alométricos son herramientas para predecir componentes de biomasa de la planta (hojas, ramas, raíces, etcétera), a partir de una o más variables de fácil medición (diámetro, altura) y así, expresar su contenido medio a nivel género o especie (Avery y Burkhart, 1983; Picard *et al.*, 2012; Gaillard *et al.*, 2013). Una tabla de producción resume estos cálculos; sin embargo, su aplicación se restringue a regiones con características ecológicas similares a donde se elaboró (Ramos-Uvilla *et al.*, 2014).

En las zonas áridas se han generado algunos modelos alométricos predictivos para la biomasa de árboles y arbustos como *Prosopis glandulosa* Torr. (Méndez *et al.*, 2012), *Acacia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Benth. (López-Merlín *et al.*, 2003), *Larrea tridentata* (DC.) Coville (Ludwig *et al.*, 1975), *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. var. *canescens* (Thomson *et al.*, 1998), *Lippia graveolens* Kunth (Villavicencio *et al.*, 2018); así como en especies productoras de fibra: *Yucca carnerosana* Trel. (Villavicencio y Franco, 1992), *Agave lechuguilla* Torr. (Berlanga *et al.*, 1992; Velasco *et al.*, 2009) y *Nolina cespitifera* Trel. (Sáenz y Castillo, 1992), incluso para predecir el peso del tallo o “piña”, en *Dasyliion cedrosanum* Trel. (Cano *et al.*, 2006).

Dado que las hojas de *L. parvifolia* son uno de los componentes más aprovechados y comercializados en las zonas áridas, el objetivo del presente estudio fue determinar la o las variables dasométricas de la planta que están correlacionadas directamente con la biomasa foliar seca de la hoja, a partir de la selección del modelo alométrico que mejor se ajuste para predecir el peso de hoja seca y con base en él elaborar una tabla de producción que sirva para evaluar las poblaciones naturales de laurel existentes en el municipio Saltillo, Coahuila, México.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila, ubicado en las coordenadas 25°17'3.61" N y 100°56'57.99" O (RAN, 2018) (Figura 1). El suelo es de tipo Leptosol (Inegi, 2006a); el clima corresponde al BS₁kw (Semiárido, templado); la temperatura media anual fluctúa entre 12 y 18 °C y la precipitación de 500 a 800 mm (Inegi, 2006b; Inegi, 2007; Inegi, 2008). La vegetación está compuesta por bosque de coníferas, matorral rosetófilo, matorral submontano y pastizales (Profauna, 2008).

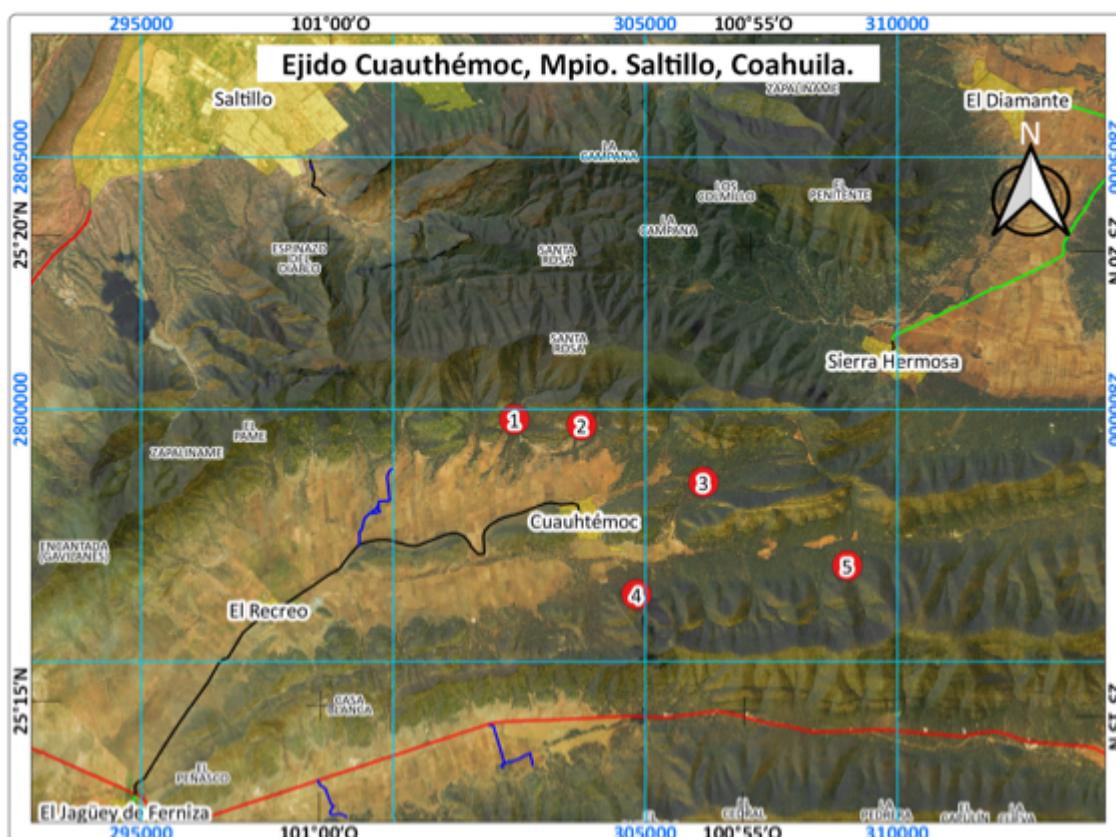


Figura 1. Distribución geográfica de las localidades donde se evaluaron poblaciones de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez., en el municipio Saltillo, Coahuila.

Diseño de muestreo y obtención de variables

Acorde a un muestreo dirigido, un total de 156 plantas de *L. parvifolia* fueron seleccionadas, considerando todas las categorías de altura y diámetro de copa. Las variables medidas fueron altura total desde el nivel del suelo (H , cm), diámetro mayor (DM) y menor de la copa (Dm), las cuales se hicieron con un flexómetro profesional Pretul® 21601. El diámetro promedio (Dp) de la cobertura foliar del arbusto se calculó en función de la medición de dos diámetros perpendiculares (DM y Dm) de cada arbusto, ambos expresados en centímetros (cm). Se aplicó un muestreo destructivo, en el que se cortaron los tallos y hojas de cada planta elegida. Las muestras se guardaron en bolsas de papel con su etiqueta correspondiente; posteriormente, se deshidrataron en el invernadero del Campo Experimental Saltillo del Centro de Investigación Regional Noreste del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, a temperatura ambiente durante cinco días; después, los tallos y las hojas secas se separaron. La biomasa foliar seca (Bfs) se determinó con una balanza analítica digital marca ADAM, con una precisión de 0.001 g. De esta manera la variable dependiente fue Bfs y las independientes H y Dp .

Análisis estadístico

Los datos de biomasa foliar seca y las variables altura y diámetro promedio se analizaron con el programa SAS (*Statistical Análisis System*) versión 9.4, mediante el procedimiento *PROC MODEL* (SAS, 2017), con regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO); se ajustaron nueve modelos alométricos, que previamente se han evaluado en estudios semejantes con orégano (Villavicencio et al., 2018), lechuguilla (Velasco et al., 2009), mezquite (Méndez et al., 2012) y acacias (López-Merlín et al., 2003) (Cuadro 1); estos modelos describen perfectamente la relación de variables dasométricas con la biomasa.

Cuadro 1. Modelos ajustados para predecir la biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo. Coahuila.

Modelo	Nombre	Ecuación
1	Alométrico	$Bfs = \beta_0(DpH)^{\beta_1}$
2	Coeficiente mórfico constante	$Bfs = \beta_1(Dp^2H)$
3	Australiano	$Bfs = \beta_0 + \beta_1(Dp^2) + \beta_2(H) + \beta_3(Dp^2H)$
4	Variable combinada lineal	$Bfs = \beta_0 + \beta_1(Dp^2H)$
5	Spurr	$Bfs = \beta_1(Dp^2H)^{\beta_2}$
6	<i>Schumacher-Hall</i>	$Bfs = \beta_0(Dp)^{\beta_1}(H)^{\beta_2}$
7	Potencia	$Bfs = \beta_0(Dp)^{\beta_1}$
8	<i>Takata</i>	$Bfs = (Dp^2H)/((\beta_0) + \beta_1Dp)$
9	<i>Thornber</i>	$Bfs = \beta_0(H/Dp)^{\beta_1}(Dp^2H)$

Fuente: Segura y Andrade (2008); Picard *et al.* (2012).

Bfs = Biomasa foliar seca (g); Dp = Diámetro promedio de la copa (cm); H = Altura total (cm); β_0, \dots, β_n = Coeficientes de regresión, Exp = Exponencial de la expresión.

Criterios de selección del modelo

Los parámetros estadísticos para la selección del mejor modelo fueron: valor mayor en el coeficiente de determinación ajustado ($R^2aj.$), valor más bajo en la raíz cuadrada media del error ($RCME$), coeficiente de variación (CV) y en la suma de cuadrados de los residuales (SCR); además de, la significancia de sus parámetros ($P \leq 0.05$) (Segura y Andrade, 2008; Picard *et al.*, 2012). Se aplicó la prueba *Shapiro-Wilk* para la verificación de normalidad de los residuales (Pedrosa *et al.*, 2015) y el estadístico (d) de *Durbin-Watson* para detectar la autocorrelación (Gujarati y Porter, 2010). La presencia de heteroscedasticidad se corrigió realizando una regresión ponderada, a partir del Dp y H en diferentes formas, como estructuras de ponderación (Schreuder y Williams, 1998). La capacidad predictiva del modelo se determinó a través del error medio porcentual (EMP) y de la diferencia agregada (DA) (Cruz y Uranga-Valencia, 2013):

$$EMP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - Y_{est})}{Y_{est}} \times 100$$

$$DA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{est})$$

Donde:

EMP = Error medio porcentual

Y_i = Valores observados

Y_{est} = Valores estimados

DA = Diferencia agregada

Resultados y Discusión

En el área de estudio, *L. parvifolia* promedió 40.99 g de biomasa foliar seca por planta, con una variación de 1.80 a 246.32 g; y se evidenció que la variación morfológica y factores como la competencia determinaron su producción (Foroughbakhch et al., 2009), además es indicadora de la productividad del ecosistema forestal como lo refieren Huff et al. (2018) (Cuadro 2).



Cuadro 2. Estadística descriptiva de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	S	CV
H (cm)	71.25	27.00	201.00	26.59	37.32
Dp (cm)	53.54	16.50	120.50	22.09	41.26
Bfs (g)	40.99	1.80	246.32	44.05	107.47

H = Altura total; Dp = Diámetro promedio de copa (DM + Dm) /2; Bfs = Biomasa foliar seca; S = Desviación estándar (g); CV = Coeficiente de variación (%).

Acorde a los resultados de los nueve modelos ajustados: siete tuvieron una R^2_{aj} mayor a 0.70, lo cual indica que la variabilidad de biomasa foliar seca de *L. parvifolia* es explicable 70 % a partir del diámetro de copa promedio y la altura total de la planta. El S_{xy} varió de 17.56 a 25.81 g y el CV fue de 42.84 a 62.96 % g (Cuadro 3). De acuerdo con los criterios de selección, el modelo de *Schumacher-Hall* (6) fue el que mejor estimó la biomasa foliar de *L. parvifolia*.



Cuadro 3. Coeficientes de regresión y estadísticos de bondad de ajuste de los modelos para predecir biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Modelo	Coeficiente	Estimado	Valor de P	R^2_{aj}	S_{xy}	CV	SCR
1	β_0	0.0070	0.062	0.6568	25.81	62.96	93243.4
	β_1	1.0482	<0.0001				
2	β_1	0.0001	<0.0001	0.6794	24.94	60.86	87731.7
	β_0	-15.4778	0.0116				
3	β_1	0.0119	<0.0001	0.8391	17.67	43.11	43090.8
	β_2	0.1977	0.0206				
	β_3	0.0000	0.4754				
4	β_0	11.6173	<0.0001	0.7206	23.28	56.80	75898.5
	β_1	0.0001	<0.0001				
5	β_1	0.0039	0.0266	0.7754	20.95	51.11	61452.8
	β_2	0.7516	<0.0001				
6	β_0	0.0029	0.0174	0.8411	17.56	42.84	42853.1
	β_1	2.0836	<0.0001				
	β_2	0.2512	0.0006				
7	β_0	0.0043	0.0196	0.8275	18.29	44.63	46857.4
	β_1	2.2459	<0.0001				
8	β_0	3767.9430	<0.0001	0.7163	23.46	57.24	77069.7
	β_1	44.1444	<0.0001				
9	β_0	0.000138	<0.0001	0.7915	20.1176	49.08	56660.5
	β_1	-0.704540	<0.0001				

R^2_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado; S_{xy} = Error estándar del modelo (g);

CV = Coeficiente de variación (%); SCR = Suma cuadrada de los residuales.

El modelo *Schumacher-Hall* por su simplicidad y por su buen ajuste es de amplio uso para predecir el volumen, contenido de carbono (Cruz et al., 2016) y biomasa foliar en taxones arbustivos (Villavicencio et al., 2018). En modelos generados para especies aromáticas como orégano (Villavicencio et al., 2018) y tomillo (Belmonte y López, 2003), las variables altura y diámetro también son las mejores predictoras de la biomasa, como ocurrió con *L. parvifolia*.

El estadístico (d) de *Durbin-Watson* (2.03) con una n de 142, $k = 3$, $\alpha = 0.05$, $d_L = 1.6$ (límite inferior) y $d_U = 1.7$ (límite superior) demostró que los residuales del modelo *Schumacher-Hall* no presentaron autocorrelación, lo que no sucedió con la normalidad, ni con la homogeneidad de varianza (Cuadro 4); por lo que se procedió a realizar una regresión ponderada con este mismo modelo de acuerdo a lo propuesto por Walpole *et al.* (2012).

Cuadro 4. Factores de ponderación para el modelo de *Schumacher-Hall*, pruebas de homocedasticidad y de normalidad de los residuales.

F. P	Variable	S _{xy}	R ² aj.	DW	Heteroscedasticidad		Normalidad	
					X ²	p > X ²	W	p > W
Dp ^c	Bfs	17.75	0.8376	2.15	53.39	<0.0001	0.96	0.0006
	Resid.	0.97						
(Dp * H) ^c	Bfs	17.83	0.8361	2.25	55.45	<0.0001	0.96	0.0002
	Resid.	0.98						
k * Dp ^c	Bfs	18.82	0.8174	1.81	5.69	0.7702	0.95	<0.0001
	Resid.	1.02						
k * (Dp * H) ^c	Bfs	19.26	0.8089	1.95	14.81	0.0962	0.94	<0.0001
	Resid.	1.02						
Dp	Bfs	17.63	0.8399	2.19	61.28	<0.0001	0.96	0.0002
	Resid.	2.01						
Dp * H	Bfs	18.04	0.8324	2.19	40.90	<0.0001	0.96	0.0008
	Resid.	0.23						
Dp ² * H	Bfs	18.42	0.8252	2.03	16.20	0.0629	0.97	0.0011
	Resid.	0.03						
(Dp ² * H) ^c	Bfs	17.79	0.8368	2.22	54.88	<0.0001	0.96	0.0004
	Resid.	0.98						
k * (Dp ² * H) ^c	Bfs	19.23	0.8094	1.87	6.42	0.6977	0.94	<0.0001
	Resid.	1.02						

F. P. = Factor de ponderación; Dp = Diámetro promedio de cobertura foliar del arbusto; H = Altura total; c y k = Parámetros del modelo de varianza; Resid. = Residuales; Bfs = Biomasa foliar seca.

Regresión ponderada con estructura de varianza

Para corregir la heteroscedasticidad del modelo de *Schumacher-Hall* se probaron varios factores de ponderación de acuerdo con Álvarez-González (2007), Gómez-García (2013) y Pedrosa *et al.*, (2015); para ello se emplearon las variables (D_p y H) como factor de ponderación (*F.P.*) con la herramienta PROC MODEL del programa SAS, y se demostró que el término ($D_p^2 * H$) corrige satisfactoriamente la heteroscedasticidad del modelo. El R^2_{aj} y S_{xy} , fueron similares con y sin ponderación (cuadros 3 y 4). El estadístico W aumentó al ponderarse, lo cual sugirió que los residuales se acercan más a una distribución normal (Cuadro 4). Los residuales muestran heteroscedasticidad cuando el modelo no es ponderado (Figura 2c) y homoscedasticidad, si lo es (Figura 2d).

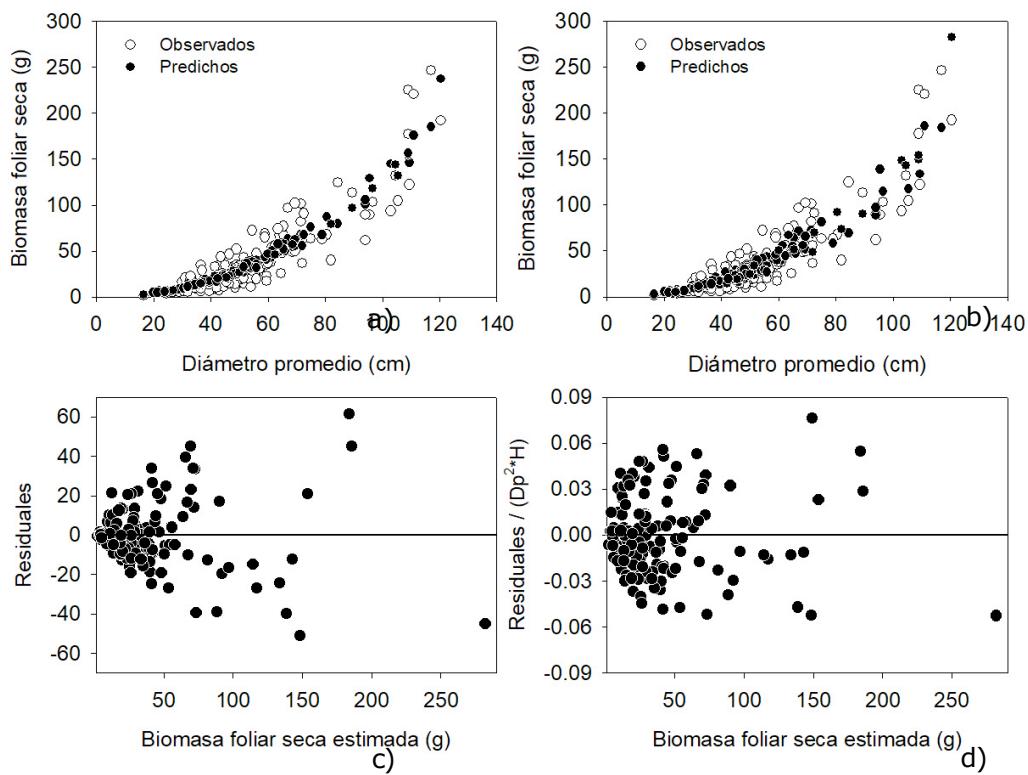


Figura 2. Biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. estimada sin ponderación (a) y con ponderación (b); residuales calculados sin ponderación (c) y con factor de ponderación (d).

Se observaron diferencias entre los valores predichos ponderados y sin ponderar, en términos absolutos (observados menos predichos). El primero sobreestima en 9.5 g; mientras que el segundo solo en 6.3 g, menos de 0.10 % de la biomasa foliar total. No obstante, el cumplimiento de los supuestos de los modelos de regresión (para el caso del modelo ponderado) es preferible, puesto que asegura que las predicciones sean eficientes. Dado que el modelo *Schumacher-Hall* corrige totalmente la heteroscedasticidad y es confiable estadísticamente ($P < 0.0001$), puede ser usado para predecir la producción de biomasa foliar seca de *L. parvifolia*.

Los estadísticos de bondad de ajuste corregidos fueron: $R^2_{aj.}$ de 0.8252, error de estimación de 18.42 g (Cuadro 4) y significancia estadística en todos los parámetros ($P \leq 0.05$). Estos resultados se ajustan a lo requerido por Picard *et al.* (2012) para la selección de un modelo; además, están dentro del intervalo citado por Návar *et al.* (2002) y Návar *et al.* (2004) para 18 especies arbustivas del matorral tamaulipeco, en donde se generaron modelos de predicción de biomasa foliar con una R^2 de 0.56 a 0.93, error entre 0.026 a 0.396 kg y C.V. de 14 a 81 %. Valores similares también se han documentado para taxones arbustivos de uso forrajero, leña y medicinal, en los que la R^2 varía de 0.45 a 0.99 (Foroughbakhch *et al.*, 2005; Foroughbakhch *et al.*, 2009). Huff *et al.* (2018) consignan una S_{xy} de 33.2 a 441.9 g para arbustos. En la mayoría de los casos, el diámetro y cobertura fueron las variables independientes utilizadas para predecir la producción de biomasa foliar; en el presente estudio se corrigió la heteroscedasticidad con la inclusión de la variable altura.

Ante la falta de normalidad y presencia de heteroscedasticidad, como se presentó en *L. parvifolia*, autores como Gómez-García (2013) realizaron una regresión ponderada con modelo de varianza, a partir del diámetro, la altura (D^2) y $(D^2H)^{-c}$ en *Betula pubescens* Ehrh. y *Quercus robur* L. Flores *et al.* (2018) utilizaron la altura (H) y *FP* en *Arbutus arizonic* (A.Gray) Sarg.; Schreuder y Williams, (1998) sugirieron utilizar en especies arbóreas indistintamente las variables diámetro y altura [D^2 y (D^2H)], ya que proporcionan resultados similares. En plantas arbustivas aromáticas, como orégano (*Lippia graveolens*), Villavicencio *et al.* (2018) usaron el diámetro y la altura ($Dp * At$).

Modelo para predecir biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez.

Modelo *Schumacher-Hall* sin ponderación:

$$Bfs = 0.002887(Dp)^{2.083566}(H)^{0.251239} \quad 1)$$

Modelo *Schumacher-Hall* corregido por factor de ponderación:

$$Bfs = 0.00147(Dp)^{1.993821}(H)^{0.492306} \quad 2)$$

Los resultados evidenciaron una diferencia agregada (*DA*) de 0.06 g de error promedio en la estimación de la biomasa foliar seca por planta, con un error medio porcentual (*EMP*) de 0.16 %. De acuerdo con Prodan *et al.* (1997) una *EMP* menor a 1 % asegura la validez del modelo; por lo que el Modelo *Schumacher-Hall* es adecuado para el intervalo de valores observados, y cumple estadísticamente para predecir la biomasa foliar seca de *L. parvifolia*.

A partir de las variables seleccionadas en el modelo *Schumacher-Hall* se construyó una tabla de doble entrada, cuyo intervalo de operación es de 5 a 120 cm, para ambas variables independientes (*H* y *Dp*). Dentro de este existen intervalos cada 5 cm, en los que es factible predecir la biomasa foliar seca (*Bfs*) (g) de plantas en pie de *L. parvifolia* (Cuadro 5). Dicha tabla de predicción facilita la cuantificación en el campo y es de fácil uso.



Cuadro 5. Biomasa foliar seca (g) *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. para rodales naturales del ejido Cuauhtémoc, municipio Saltillo, Coahuila, México.

Diámetro (cm)	Altura (cm)																						
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2																		
10	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8																	
15	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7																	
20		2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.5																
25		3.9	4.4	4.8	5.2	5.5	5.9																
30		6.3	6.9	7.5	8.0	8.4	8.9	9.3	9.7	10.1													
35		9.4	10.1	10.8	11.5	12.1	12.7	13.2	13.8	14.3	14.8	15.2											
40		12.3	13.2	14.1	15.0	15.8	16.5	17.3	17.9	18.6	19.3	19.9	20.5	21.1									
45		15.5	16.7	17.9	18.9	19.9	20.9	21.8	22.7	23.5	24.4	25.1	25.9	26.6	27.4	28.1							
50		20.6	22.1	23.4	24.6	25.8	26.9	28.0	29.0	30.1	31.0	32.0	32.9	33.8	34.6	35.5	36.3	37.1	37.9				
55		25.0	26.7	28.3	29.8	31.2	32.6	33.9	35.1	36.3	37.5	38.7	39.8	40.8	41.9	42.9	43.9	44.9	45.8				
60		31.7	33.6	35.4	37.1	38.7	40.3	41.8	43.2	44.6	46.0	47.3	48.6	49.8	51.0	52.2	53.3	54.5					
65		39.4	41.5	43.5	45.4	47.3	49.0	50.7	52.3	53.9	55.5	57.0	58.4	59.8	61.2	62.6	63.9						
70		45.7	48.1	50.5	52.7	54.8	56.8	58.8	60.7	62.5	64.3	66.0	67.7	69.4	71.0	72.5	74.1						
75		52.4	55.2	57.9	60.4	62.9	65.2	67.4	69.6	71.7	73.8	75.8	77.7	79.6	81.4	83.2	85.0						
80		59.7	62.8	65.8	68.7	71.5	74.1	76.7	79.2	81.6	83.9	86.2	88.4	90.5	92.6	94.7	96.7						
85		70.9	74.3	77.6	80.7	83.7	86.6	89.4	92.1	94.7	97.2	99.7	102.2	104.5	106.8	109.1							
90		83.3	86.9	90.4	93.8	97.0	100.1	103.2	106.1	109.0	111.8	114.5	117.1	119.7	122.3								
95		96.8	100.7	104.4	108.1	111.5	114.9	118.2	121.4	124.5	127.5	130.5	133.4	136.2									
100						115.7	119.7	123.6	127.3	130.9	134.5	137.9	141.3	144.5	147.7	150.9							
105							136.2	140.3	144.3	148.2	152.0	155.7	159.3	162.8	166.3								
110								153.9	158.3	162.6	166.8	170.8	174.8	178.6	182.4								
115									177.7	182.2	186.6	191.0	195.2	199.3									
120										198.4	203.2	207.9	212.5	217.0									

Conclusiones

El modelo de *Schumacher-Hall* es el que mejor predice la biomasa foliar seca de los arbustos en pie de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez., a partir mediciones sencillas de variables como el diámetro promedio de la copa y altura total del arbusto. La tabla de predicción de doble entrada generada es aplicable en zonas que posean plantas de esta especie con estructuras de diámetro, altura y condiciones climáticas similares a las observadas en este estudio.

Agradecimientos

Al fondo Sectorial Conafor-Conacyt por el apoyo al proyecto con registro SIGI: 13271734312 titulado: "Desarrollo e implementación de dos sistemas de procesamiento para a) extracción de aceites esenciales y b) extracción de fibra de ixtle: generación de productos de alta calidad". Al Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP por el apoyo complementario para la realización del mismo y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por la facilidad para la formación de recursos humanos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Eulalia Edith Villavicencio-Gutiérrez: toma de datos campo, elaboración del escrito, análisis de los resultados, revisión y corrección del documento; Santiago Mendoza-Morales: investigación bibliográfica y modelación de los resultados; Jorge Méndez González: análisis de resultados, revisión y corrección del documento.

Referencias

- Avery, T. E. and H. E. Burkhart. 1983. Forest Measurement. McGraw-Hill. New York, NY, USA. 458 p.
- Álvarez-González, J. G.; R. Rodríguez-Soalleiro. y A. Rojo-Alboreca. 2007. Resolución de problemas del ajuste simultáneo de sistemas de ecuaciones: heterocedasticidad y variables dependientes con distinto número de observaciones. Sociedad Española de Ciencias Forestales 23: 35-42.
Doi:10.31167/csef.v0i23.9603.
- Belmonte S., F. y F. López B. 2003. Estimación de la biomasa de una especie vegetal mediterránea (tomillo *Thymus vulgaris*) a partir de algunos parámetros de medición sencilla. Ecología (17): 145-151.
<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/87016> (4 de febrero de 2019).
- Berlanga R., C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Técnico Núm. 1. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coah., México. 22 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). FAO. Rome, Italy. 55 p.
- Cano P., A., O. Martínez B., C. A. Berlanga R., E. E. Villavicencio G. y D. Castillo Q. 2006. Guía para la evaluación de existencias de sotol (*Daylirion cedrosanum* Trel.) en poblaciones naturales del Estado de Coahuila. Folleto Técnico Núm. 43. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coah., México. 20 p.
- Chandrasekharan, C., T. Frisk. y J. Campos R. 1996. Desarrollo de productos forestales no maderables en América Latina y el Caribe. Serie Forestal Núm. 5. Dirección de productos forestales, FAO. Roma para m'rica Latina y El Caribe. Santiago, Chile. 63 p. <http://www.fao.org/3/a-t2360s.pdf> (20 de febrero de 2019).

Comisión del CODEX *Alimentarius* (CODEX). 2017. Programa conjunto sobre normas alimentarias de la FAO/OMS. Informe de la 3^a. sesión del Comité del CODEX sobre especias y hierbas culinarias. 44^a. sesión CICG. Ginebra, Suiza. pp. 17-22. [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-736-\(03%252FReport%252FFinal%252520Report%252FREP17_SCHs.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-736-(03%252FReport%252FFinal%252520Report%252FREP17_SCHs.pdf) (2 de julio de 2017).

Cruz de L., G. and L. P. Uranga-Valencia. 2013. Theoretical evaluation of Huber and Smalian methods applied to tree stem classical geometries. Bosque 33(3): 311-317. Doi: 10.4067/S0717-92002013000300007.

Cruz C., F., R. Mendía S., A. A. Jiménez F., J. A. Nájera L. y F. Cruz G. 2016. Ecuaciones de volumen para *Arbutus* spp. (madroño) en la región de Pueblo Nuevo, Durango. Investigación y Ciencia 24(68): 41-47. <http://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67448742006/html/index.html> (13 de noviembre de 2019).

Flores M., F., D. J. Vega-Nieva, J. J. Corral-Rivas, J. G. Álvarez-González, A. D. Ruiz-González, C. A. López-Sánchez y A. Carillo P. 2018. Desarrollo de ecuaciones alométricas de biomasa para la regeneración de cuatro especies en Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(46): 157-185. Doi: 10.29298/rmcf.v9i46.119.

Foroughbakhch, R., G. Reyes, M. A. Alvarado V., J. Hernández P. and A. Rocha E. 2005. Use of quantitative methods to determine leaf biomass on 15 woody shrub species in northeastern Mexico. Forest Ecology and Management 216(1/3): 359-366. Doi: 10.1016/j.foreco.2005.05.046.

Foroughbakhch, R., J. Hernández-Piñero, M. A. Alvarado-Vázquez, E. Céspedes-Cabriales, A. Rocha-Estrada and M. L. Cárdenas-Ávila. 2009. Leaf biomass determination on woody shrub species in semiarid zones. Agroforestry Systems 77(3): 181-192. Doi: 10.1007 / s10457-008-9194-6.

Gaillard B., C., M. Pece, M. Juárez d. G., G. Gómez. y M. Zárate. 2013. Modelización de funciones para estimar biomasa aérea individual de piquillín (*Condalia microphylla* Cav, Ramnacea) y tala chiquito (*Celtis pallida* Torr, Celtidacea) en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Revista de Ciencias Forestales - Quebracho 21(1-2): 46-57.

https://www.researchgate.net/publication/262434949_Modelizacion_de_funciones_para_estimar_biomasa_aerea_individual_de_piquillin_Condalia_microphylla_Cav_Ramnacea_y_tala_chiquito_Celtis_pallida_Torr_Celtidacea_en_la_provincia_de_Santiago_del_Estero_Arg (7 de marzo de 2019).

Gómez-García, E., F. Crecente-Campo y U. Diéguez-Aranda. 2013. Tarifas de biomasa aérea para abedul (*Betula pubescens* Ehrh.) y roble (*Quercus robur* L.) en el noroeste de España. Madera y Bosques 19(1): 71-91. Doi: 10.21829/myb.2013.191348.

Gujarati, D. G. y D. C. Porter. 2010. Econometría. McGraw-Hill. México, D.F., México. 921 p.

Huff, S., K. P. Poudel, M. Ritchie and H. Temesgen. 2018. Quantifying above ground biomass for common shrubs in northeastern California using nonlinear mixed effect models. Forest Ecology and Management (424): 154–163.
Doi:10.1016/j.foreco.2018.04.043.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2006a. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1:250 000 serie II. Continuo Nacional (Monterrey). <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182> (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2006b. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Precipitación media anual.
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182> (7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2007. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Temperatura media anual.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182>
(7 de septiembre de 2018).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182>
(7 de septiembre de 2018).

Jiménez-Pérez, N. D. C. and F. G. Lorea-Hernández. 2009. Identity and delimitation of the American species of *Litsea* Lam. (Lauraceae): a morphological approach. *Plant Systematics and Evolution* 283(1-2): 19-32. Doi: 10.1007 / s00606-009-0218-0.

Jiménez-Pérez, N. D. C., F. Lorea-Hernández, C. K. Jankowski and R. Reyes-Chilpa. 2011. Essential oils in mexican bays (*Litsea* spp., Lauraceae): Taxonomic assortment and ethnobotanical implications. *Economic Botany* 65(2): 178–189. Doi:10.1007/s12231-011-9160-5.

López-Merlín D., L. Soto-Pinto, G. Jiménez-Ferrer y S. Hernández-Daumás. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmiflora* en dos comunidades del norte de Chiapas. *Interciencia*. 8:334-339.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000600005&lng=es&nrm=iso (21 de octubre de 2019).

Ludwig J. A., J. F. Reynolds and P. D. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan Desert shrubs. *The American Midland Naturalist*. 94 (2): 451-461. Doi: 10.2307/2424437.

Méndez G., J., O. A. Turlan M., J. C. Ríos S., y J. A. Nájera L. 2012. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(13): 57-72.
Doi: 10.29298/rmcf.v3i13.489.

Návar, J., J. Nájera and E. Jurado. 2002. Biomass estimation equations in the Tamaulipan thornscrub of north-eastern México. Journal of Arid Environments 52(2): 167-179. Doi:10.1006/jare.2001.0819.

Návar, J., E. Méndez, J. Graciano, V. Dale and B. Parresol. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of North-eastern México. Journal of Arid Environments 59(4): 657–674. Doi:10.1016/j.jaridenv.2004.02.010.

Ordóñez D., J. A. B., R. Rivera V., M. E. Tapia M. y L. R. Ahedo H. 2015. Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(32): 7–16.
Doi: 10.29298/rmcf.v6i32.95.

Pedrosa, I., J. Juarros-Basterretxea, A. Robles-Fernández, J. Basteiro y E. García-Cueto. 2015. Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? Universitas Psychologica 14(1): 245-254.
Doi:10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad.

Picard, N., L. Saint-André y M. Henry. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, Rome. 223 p.

Prodan, M., R. Peters, F. Cox. y P. Real. 1997. Mensura Forestal. Agroamerica. San José, Costa Rica. 586 p.

Protección de la Fauna Mexicana A.C. (Profauna). 2008. Zona Sujeta a Conservación Ecológica Serra de Zapalinamé. PROFAUNA. Saltillo, Coah., México. 87 p.

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

Doi: 10.29298/rmcf.v5i23.344.

Registro Agrario Nacional (RAN). 2018. Perimetrales núcleos agrarios SHAPE Entidad Federativa Coahuila.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182>
(7 de septiembre de 2018).

Sáenz R., J. T. y D. Castillo Q. 1992. Guía para la evaluación de cortadillo en el estado de Coahuila. Folleto Técnico Núm. 3. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coah., México. 13 p.

Schreuder, H. T. and M. S. Williams. 1998. Weighted linear regression using D^2H and D^2 as the independent variables. USDA Forest Service. Fort Collins, CO, USA. 10 p.

Segura, M. y H. J. Andrade C. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Agroforestería en las Américas (46): 89-96.

Statistical Analysis System (SAS). 2017. SAS/ETS® 14.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.

Schreuder, H. T. and M. S. Williams. 1998. Weighted Linear Regression Using $D2H$ and $D2$ as the Independent Variables. USDA Forest Service. Fort Collins, CO, USA. 10 p.

Thomson, E. F., S. N. Mirza and J. Afzal. 1998. Predicting the components of aerial biomass of fourwing saltbush from shrub high and volume. Journal of Range Management 51: 323-235. Doi: 10.2307/4003418.

Van Der Werff, H. y F. Lorea. 1997. Flora del bajío y regiones adyacentes. Fascículo 56. familia: Lauraceae. INECOL. Xalapa, Ver., México. 58 p.

Velasco B., E., A. Arredondo G., M. C. Zamora-Martínez y F. Moreno S. 2009. Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2. CENID-COMEF. INIFAP. México, D.F., México. 56 p.

Villavicencio G., E. E. y H. Franco L. 1992. Guía para la evaluación de existencias de palma samandoca (*Yucca carnerosana* Trel.) en el estado de Coahuila. Folleto Técnico Núm. 2. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coah., México. 18 p.

Villavicencio G., E. E., A. Hernández R., C. N. Aguilar G. y X. García C. 2018. Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(45): 187-207. Doi: 10.29298/rmcf.v9i45.139.

Walpole, R. E., R. H. Myers., S. L. Myers. y K. Ye. 2012. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 9^a edición. Pearson Educación de México. Naucalpan, Edo. de Méx., México. 816 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)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.