

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AEREA EN CAFETALES Y OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN EN LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS

ESTIMATION OF AERIAL BIOMASS IN COFFEE PLANTATIONS AND OTHER TYPES OF VEGETATION IN THE SIERRA MADRE OF CHIAPAS

Fernando Paz Pellat^{1*}

¹GRENASER, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: ferpazpel@gmail.com

RESUMEN

La estimación de la biomasa aérea es una tarea necesaria para evaluar las emisiones de gases efecto invernadero en bosques y selvas. En el sur-sureste de México, las plantaciones de café son una actividad muy importante para los productores de la región por lo que la estimación de la biomasa aérea es necesaria para su caracterización en el contexto del cambio climático. El uso de ecuaciones alométricas ha sido propuesta para las estimaciones de la biomasa, generalmente con el uso del diámetro normal (D), la altura total (H) y la densidad de madera (ρ). Para la alometría se ha discutido el uso de modelos globales o locales. En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo alométrico global ajustado al caso local a través de factores de corrección con resultados aceptables ($R^2 > 0.92$), mejores que el uso de un modelo global. A partir del desarrollo de una base de datos de mediciones de D y H de sitios de muestreo en la Sierra Madre de Chiapas, el modelo alométrico generado fue aplicado en las estimaciones. Los resultados obtenidos de la biomasa aérea muestran alta dispersión que puede ser explicada por la inclusión de árboles de grandes diámetros. Al final, se discuten las estimaciones realizadas de la biomasa aérea.

Palabras clave: modelo alométrico global y local, estimaciones árbol por árbol, dispersión de valores de biomasa aérea, árboles de grandes diámetros.

SUMMARY

The estimation of aerial biomass is a necessary task to evaluate greenhouse gas emissions in forests and jungles. In the south-southeast of Mexico, coffee plantations are a very important activity for producers in the region, so the estimation of aerial biomass is necessary for its characterization in the context of climate change. The use of allometric equations has been proposed for biomass estimates, generally with the use of normal diameter (D), total height (H) and wood density (ρ). For allometry, the use of global or local models has been discussed. This work presents the development of a global allometric model adjusted to the local case through correction factors with acceptable results ($R^2 > 0.92$), better than the use of a global model. Based on the development of a database of D and H measurements from sampling sites in the Sierra Madre of Chiapas, the allometric model generated was applied in the estimates. The results obtained from the aerial biomass show high dispersion that can be explained by the inclusion of large diameter trees. At the end, the estimates made of the aboveground biomass are discussed.

Keywords: Global and local allometric model, tree-by-tree estimates, dispersion of aboveground biomass values, large diameter trees.

INTRODUCCIÓN

La producción de café en México es una actividad de alta importancia, especialmente en el sur-sureste. De los estados (15) de México donde se produce café, el estado de Chiapas es el principal productor de café arábigo (SAGARPA, 2017), principalmente café bajo sombra

arbórea y café orgánico. El estado de Chiapas y Veracruz representan alrededor de dos terceras partes de la producción nacional. En la región de la Sierra Madre de Chiapas se encuentra el 54 % de la superficie estatal de Chiapas del cultivo de café (CEDRSSA, 2019), siendo un medio de vida de alta importancia para los productores.

Los cafetales bajo sombra arbórea tienen altos contenidos de carbono que asemejan a los bosques y selvas naturales (Soto-Pinto *et al.*, 2015; Salas-Aguilar *et al.*, 2018; Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer, 2018). La deforestación y degradación forestal asociada a plagas y enfermedades, y precios bajos del café, ha provocado pérdidas de carbono (Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018; Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer, 2018; Paz-Pellat, 2020), emitiendo gases efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera.

Para evaluar los impactos del cambio climático en los bosques y selva es necesario conocer los contenidos de carbono de su biomasa aérea, entre otros almacenes. La evaluación de la biomasa aérea de bosques y selvas, y otros usos, se requiere de la destrucción y medición de los árboles, práctica de altos costos y tiempos. La opción indirecta es usar atributos dasométricos (diámetro y altura) para este objetivo a través de ecuaciones alométricas (Brown, 1997; Chave *et al.*, 2005). La selección de los modelos alométricos es una fuente importante de incertidumbre (Pelletier *et al.*, 2012; Picard *et al.*, 2015), por lo que requiere de especial atención este proceso. La práctica común es el desarrollo de una base de ecuaciones alométricas representativas de tipos de vegetación y regiones del país (Rojas-García *et al.*, 2015) para realizar estimaciones locales de la biomasa aérea. La alternativa es el uso de ecuaciones globales de alometría (Brown, 1997; Chave *et al.*, 2005) para su uso generalizado en los distintos tipos de vegetación y regiones. En relación al uso de variables dasométricas el diámetro normal (D) medido a una altura de 1.3 m del fuste de los árboles, la altura total (H) y la densidad de la madera (ρ) son las usadas principalmente. El uso conjunto de D, H y ρ , reduce la incertidumbre de las estimaciones (Chave *et al.*, 2014), por lo se recomienda en la construcción de ecuaciones alométricas. El uso de un modelo alométrico global con relación a los locales ha generado discusión (Martínez-Sánchez *et al.*, 2020), con mejores estimaciones realizadas con modelos locales (Basuki *et al.*, 2009; Henry *et al.*, 2011; Ngomanda *et al.*, 2014; Ploton *et al.*, 2016). No obstante, el uso de un modelo global que realice ajustes a escala local es prometedor (Paz-Pellat, 2021).

El Programa Mexicano del Carbono implementó en la región de Sierra Madre de Chiapas, en el 2016, la campaña “Una REDD+ para salvar la sombra de la Sierra Madre de Chiapas”, orientada a caracterizar los almacenes de carbono de los cafetales bajo sombra y la vegetación natural en la región, además de evaluar los impactos de la roya del café. Esta campaña fue la base para el proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas” (Bolaños *et al.*, 2021), actualmente financiado por el CONACYT, el cual tiene como objetivo caracterizar los almacenes de carbono de las componentes (biomasa viva aérea, carbono orgánico del suelo, mantillo, madera muerta, biomasa viva subterránea) de los cafetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Campaña de muestreo y geometría de los muestreos

Para evaluar los almacenes de carbono de los cafetales bajo sombra, y vegetación natural, se realizó una campaña de muestreo en el estado de Chiapas. La campaña de muestreo de la Sierra Madre de Chiapas fue realizada en el año 2022, La Figura 1 muestra la distribución de los sitios de muestreo de cafetales bajo sombra y otros tipos de vegetación.

En la campaña de muestreo se seleccionaron 78 sitios de muestreo, incluyendo milpas de maíz para su medición y caracterización.

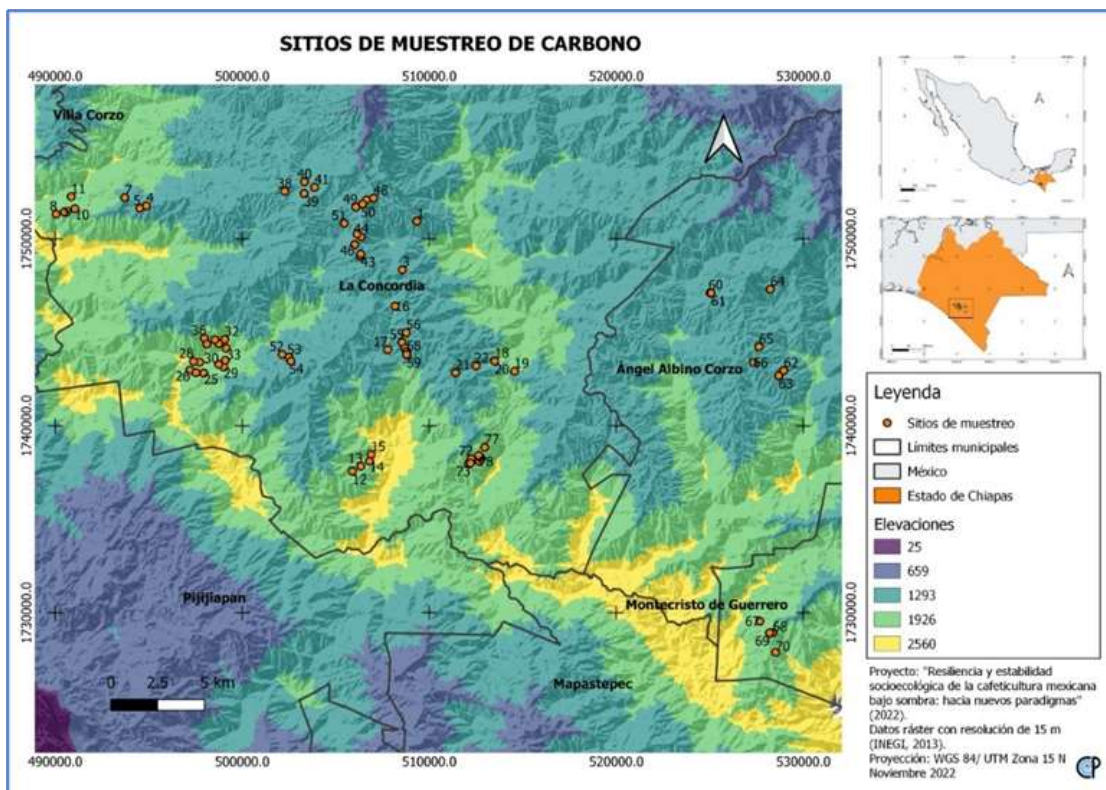


Figura 1. Distribución geográfica de los sitios de muestreo en Sierra Madre de Chiapas

La geometría de los sitios de muestreo esta mostrada en la Figura 2 y Cuadro 1.

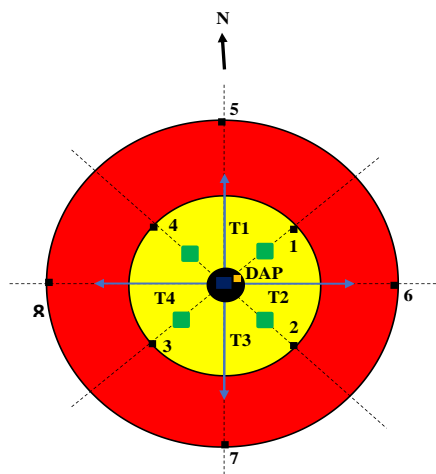







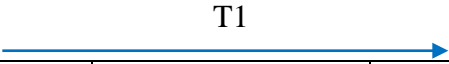


Figura 2. Geometría de los sitios de muestre

Cuadro 1. Características de la geometría del sitio de muestreo.

Círculo	Color				
	Radio (m)	17.85		11.28	2.00
	Área (m ²)	1000		400	12.56
	Almacén de Carbono	Árboles con $DN \geq 40$ cm. Sólo en el área entre círculos.		Árboles con $D \geq 7.5$ cm y arbustos.	Renuevos de árboles y arbustos con $D < 7.5$ cm y altura ≥ 50 cm.
Cuadro	Color				
	Largo m	1.00	1.00	0.30	0.30
	Área (m ²)	1.00	1.00	0.09	0.09
	Almacén de Carbono	Hierbas, helechos, musgos y líquenes	Herbáceo	Mantillo y suelo	DAP
Transecto	Símbolo				
	Largo (m)	15			
	Almacén de Carbono		Biomasa muerta sobre el suelo (combustibles)		

La parcela de medición es de forma circular. Cubre una superficie de 1000 m².

El círculo rojo cubre la superficie total de la parcela (1000 m²), el radio del círculo mide 17.85 m, este círculo es utilizado en los inventarios de Carbono. El círculo amarillo cubre una superficie de 400 m², el radio del círculo mide 11.28 m y es utilizado en los inventarios de Carbono. El círculo negro abarca un área de 12.56 m², tiene un radio de 2.0 m y es utilizado en el inventario de Carbono.

Las mediciones de variables asociadas a la biomasa (D y H), además de otros datos, son tomadas en todos los arboles con $D \geq 7.5$ cm en el círculo de 400 m². Para el área comprendida entre el círculo de 1000 m² y el de 400 m² solo se miden los árboles que cumplan $D \geq 40$ cm. Además de la biomasa aérea de los arboles se realizan mediciones para estimar el carbono de los otros almacenes para complementar los inventarios. Los otros almacenes son: herbáceas, renuevos, arbustos, suelo, material leñoso caído y mantillo, principalmente.

Modelo alométrico global y local

El desarrollo de un modelo global que compita con modelos locales es un gran reto que requiere de un replanteamiento del problema de estimación, el cual es explorado en esta sección. El autor Paz-Pellat (2021) muestra la metodología utilizada, aunque su propuesta del uso de un modelo estadístico multivariado para el factor de corrección tiene errores.

Las unidades de medición utilizadas son B en kg, D en cm, H en m y ρ en g cm⁻³.

Como referencia al desarrollo de modelos alométricos se utilizó la base de datos de Chave *et al.* (2014), la cual consiste de 4004 mediciones de 58 sitios en diferentes partes del mundo, donde 53 sitios son de vegetación no perturbada. La densidad de la madera fue medida en el 58 % de los datos y estimada en el resto usando información disponible (Chave *et al.*, 2009; Zanne *et al.*, 2009)

El modelo alométrico global de Chave *et al.* (2014) usado para la base de datos de mediciones de D, H y ρ , establece un estándar de comparación para el resto de los modelos. El modelo para la biomasa (B) está definido por:

$$B = 0.0673(\rho D^2 H)^{0.976} \quad (1)$$

La Figura 3 muestra el ajuste estadístico del modelo de Chave *et al.* (2014), que tiene un ajuste aceptable ($R^2 > 0.9$) para la base de datos analizada.

Para un modelo global alternativo se realizó una modelación minimizando el error absoluto ($|Y_i' - \hat{Y}_i'|$, donde \hat{Y}_i' es el valor estimado y Y_i' el valor medido) en vez del error de estimación, como normalmente se realiza. El modelo ajustado fue:

$$B = 0.0595(\rho D^2 H) \quad (2)$$

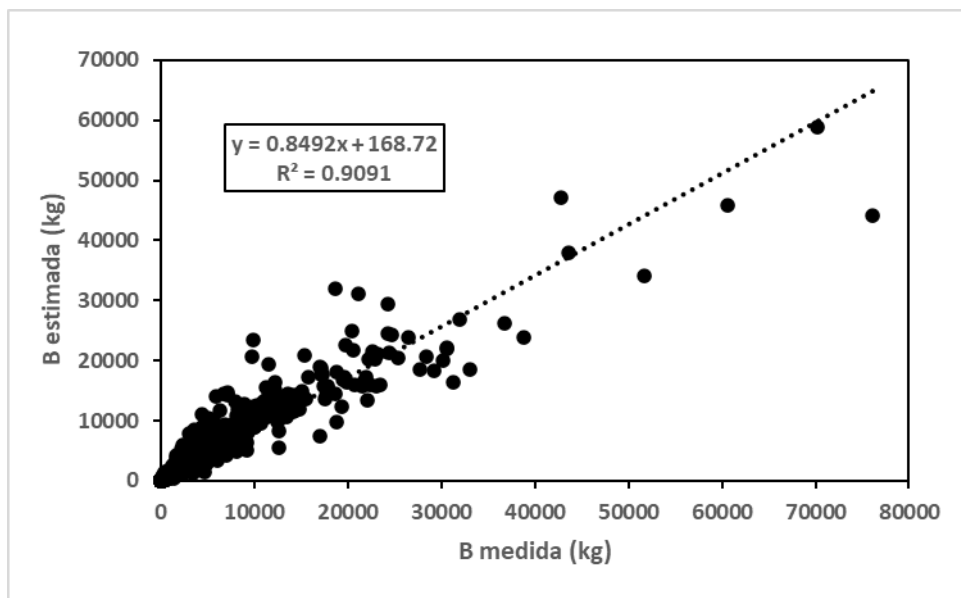


Figura 3. Ajuste del modelo de Chave *et al.* (2014) a la base de datos.

La Figura 4 muestra el ajuste estadístico realizado para el modelo de la relación (2), con un coeficiente de determinación mejor que el modelo de Chave *et al.* (2014), implicando mejores estimaciones.

Para tener un modelo ideal de comparación, se realizaron regresiones estadísticas no lineales sitio por sitio (estimaciones locales). La Figura 5 muestra los resultados obtenidos en este proceso.

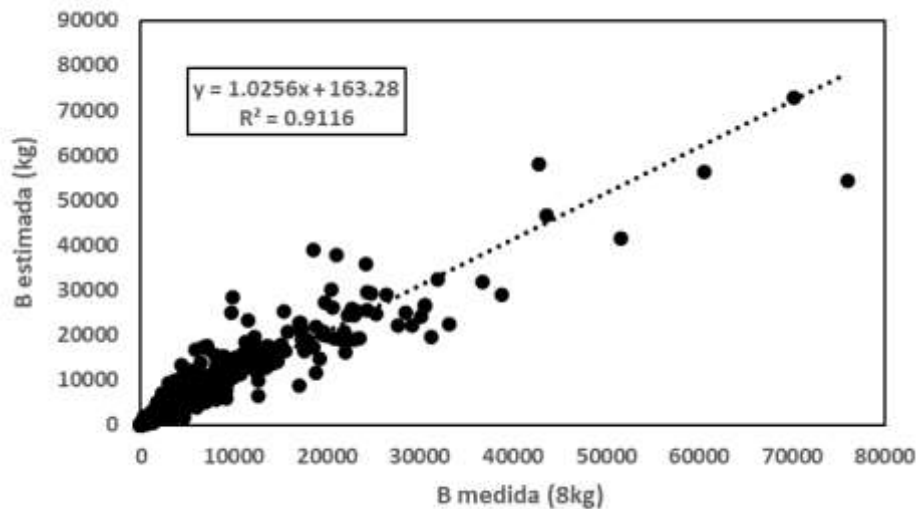


Figura 4. Ajuste estadístico del modelo global desarrollado minimizando el error absoluto de estimación.

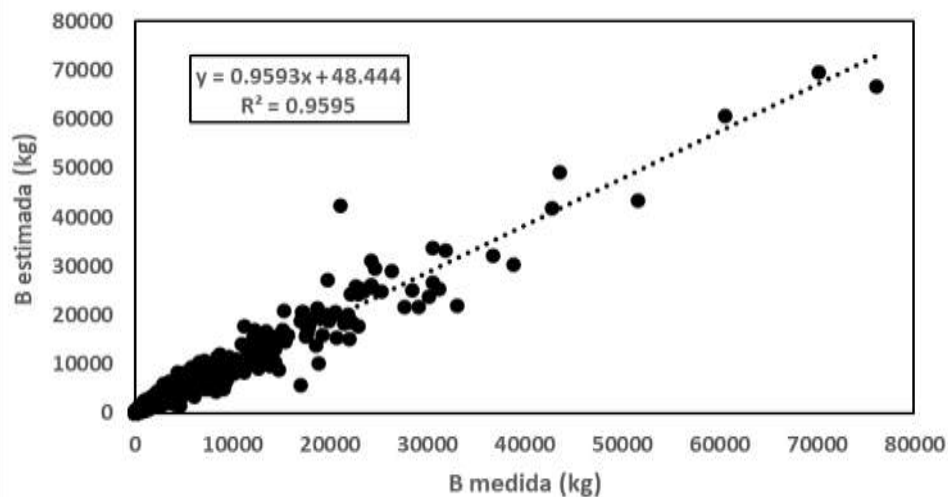


Figura 5. Ajustes estadísticos de regresión no lineal para modelos locales de alometría.

El uso de modelos locales construidos usando regresión no lineal representa la mejor estimación posible de realizar.

Una forma de realizar corrección de un modelo global en las estimaciones locales, es el uso de un factor de corrección.

$$,B = \{a(\rho D^2 H)^b\}FC_{ER} \quad (3)$$

$$,FC_{ER} = \frac{P(B_{med})}{P(B_{est})} \quad (4)$$

donde $P(x)$ es el operador para el promedio de la variable x y FC_{ER} es el factor de corrección del estimador de razones (Snowdon, 1991). El termino med significa medida

y est significa estimada. El uso del factor de corrección requiere de datos medidos para ser aplicado.

La Figura 6 muestra el uso del factor local (sitio por sitio) de corrección de razón para el uso del modelo global alternativo desarrollado.

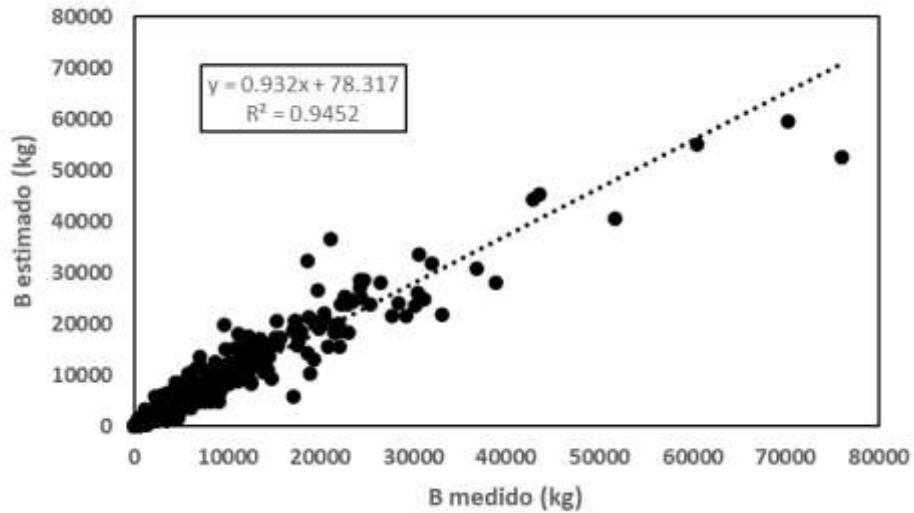


Figura 6. Ajuste estadístico del modelo global alternativo usando factores de corrección locales.

De acuerdo al coeficiente de determinación, el uso del modelo global alternativo con factores de corrección locales es una buena aproximación a la modelación ideal (modelos alométricos locales) mostrada en la Figura 5.

Aunque el uso del modelo global con factores de corrección locales resulta en buenas estimaciones, el requerimiento de contar con datos medidos de la biomasa limita su uso en estimaciones sin esa información.

Para el uso de la relación (4), la biomasa estimada puede realizarse a través del modelo alométrico global alternativo:

$$B_{EST} = 0.0595(\rho D^2 H) \quad (5)$$

Una propuesta alternativa para estimar el factor de corrección, sitio por sitio, es un proceso de estimación multivariado para el promedio de la biomasa medida:

$$P(B_{MED}) = 533.34 + 0.371P(B_{EST}) - 55.19P(D) + 1.264P(D^2), R^2 = 0.991 \quad (6)$$

Para el modelo alométrico global alternativo, relación (2), realizando estimaciones de los factores de corrección locales con las relaciones (5) y (6), la Figura 7 muestra el resultado de los ajustes estadísticos, donde el coeficiente de determinación es una mejoría con relación al uso de modelos globales.

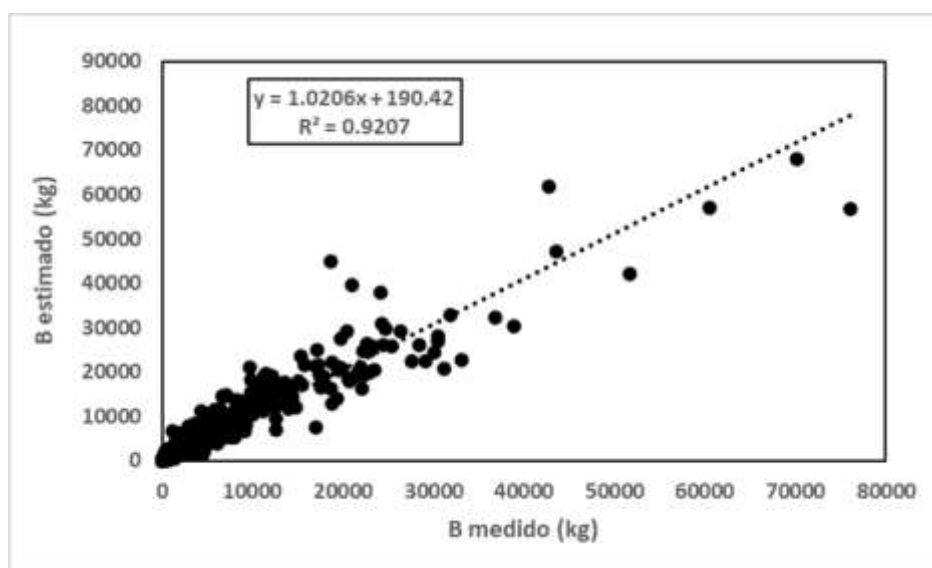


Figura 7. Ajuste estadístico del modelo global alternativo usando factores de corrección locales estimados con análisis estadístico multivariado.

El modelo desarrollado permite estimar el factor de corrección sin contar con datos medidos, por lo que el procedimiento puede utilizarse para el caso de estimaciones de la biomasa a partir de datos de inventarios forestales.

RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AEREA

La base de mediciones dasométricas obtenidas en Sierra Madre de Chiapas consistió de 75 sitios de medición (más 3 sitios de milpas de maíz) y está caracterizada en el Cuadro 2. Las estimaciones de la densidad de madera fueron estimadas de los valores contenidos en bases de datos publicadas (Zanne *et al.*, 2009; Chave *et al.*, 2009; Ordoñez Díaz, 2015).

Cuadro 2. Descripción de los sitios de muestreo en Sierra Madre de Chiapas.

No. SITIO	VEGETACION	TIPO DE CAFETAL	MANEJO CAFETAL	ORGANIZACION	LOCALIDAD
1	Cafetal	Policultivo diverso	Convencional	Comon Yaj Noptic	Las Joyas 9
2	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Las Violetas
3	Cafetal	Policultivo diverso	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Las Violetas
4	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca Arroyo Negro	Finca Arroyo Negro
5	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca Arroyo Negro	Finca Arroyo Negro
6	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca	La bolita
7	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca Nueva Linda	Polígono 5
8	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca Nueva Linda	Finca Nueva Linda
9	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca Nueva Linda	Finca Nueva Linda
10	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Finca Nueva Linda	Finca Nueva Linda
11	Natural	Vegetación natural	-999	Finca Nueva Linda	Finca Nueva Linda
12	Natural	Vegetación natural	-999	CONANP	Campamento El Quetzal
13	Natural	Vegetación natural	-999	CONANP	Campamento El Quetzal
14	Natural	Vegetación natural	-999	CONANP	Campamento El Quetzal
15	Natural	Vegetación natural	-999	CONANP	Campamento El Quetzal
16	Cafetal	Policultivo diverso	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Baja
17	Cafetal	Policultivo simple	Transición	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Baja
18	Cafetal	Policultivo diverso	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Baja
19	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Alta
20	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Alta
21	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Alta
22	Natural	Vegetación natural	-999	Comon Yaj Noptic	Plan de la Libertad Alta
23	Cafetal	Rústico	Orgánico	Triunfo Verde	Plan de la Libertad Baja
24	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
25	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
26	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
27	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
28	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
29	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
30	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
31	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Emiliano Zapata
32	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	San Francisco
33	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Ramal Santa Cruz	San Francisco
34	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	San Francisco
35	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	San Francisco
36	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	San Francisco
37	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	San Francisco
38	Potrero(encino-pino)	Potrero	-999	Rancho Potrero Cerro	Potrero Cerro
39	Potrero(encino)	Potrero	-999	Rancho Potrero Cerro	Potrero Cerro
40	Natural	Vegetación natural	-999	Rancho Potrero Cerro	Potrero Cerro
41	Potrero (encino-pino)	Potrero	-999	Rancho Potrero Cerro	Potrero Cerro
42	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	CAFECO	Nuevo Paraíso
44	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Particular	Nuevo Paraíso
45	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Particular	Nuevo Paraíso
47	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Ramal Santa Cruz	Nuevo Paraíso
48	Cafetal	Rústico	Orgánico	Ramal Santa Cruz	Nuevo Paraíso

49	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Ramal Santa Cruz	Nuevo Paraíso
51	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Independiente	Nuevo Paraíso
52	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Berlín
53	Cafetal	Policultivo diverso	Orgánico	Comon Yaj Noptic	Berlín
54	Cafetal	Policultivo diverso	Convencional	Comon Yaj Noptic	Berlín
55	Cafetal	Potrero	-999	Particular	Plan de la Libertad
56	Potrero (encino)	Potrero	-999	Particular	Plan de la Libertad
57	Vegetación natural	Vegetación natural	Convencional	Particular	Plan de la Libertad
58	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Particular	Plan de la Libertad
59	Cafetal	Policultivo simple	Convencional	Triunfo Verde	Plan de la Libertad
60	Cafetal	Policultivo simple	Convencional	Particular	Nueva Palestina
62	Cafetal	Policultivo simple	Convencional	Triunfo Verde	Nueva Palestina
63	Cafetal	Policultivo diverso	Convencional	Triunfo Verde	Nueva Palestina
64	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Nueva Palestina
65	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Nueva Palestina
66	Cafetal	Policultivo simple	Convencional	Triunfo Verde	Nueva Palestina
67	Cafetal	Policultivo simple	Convencional	Particular	Ejido Toluca
68	Cafetal	Policultivo simple	Convencional	Particular	Ejido Toluca
69	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Particular	Ejido Toluca
70	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Particular	Ejido Toluca
71	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
72	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
73	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
74	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
75	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
76	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
77	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey
78	Cafetal	Policultivo simple	Orgánico	Triunfo Verde	Monterrey

Con el uso del proceso de estimación de B presentado, se realizaron estimación para todos los sitios analizados.

El proceso de estimación consistió de dos partes: Los árboles con $7.5 \leq D < 40$ cm con medidos en el círculo de área de 400 m² y los árboles con $D > 40$ cm medidos en el área (600 m²) comprendida entre el círculo de 1,000 m² y el de 400 m², además de los comprendidos dentro del círculo de 400 m².

El Cuadro 3 muestra los resultados de las estimaciones de biomasa para los diferentes diámetros y el total

Cuadro 3. Resultados de las estimaciones de biomasa.

No. SITIO	TIPO DE CAFETAL	No. ÁRBOLES	B (7.5 D < 40) kg/m ²	B (D ≥ 40 cm) kg/m ²	B total t/ha
1	Policultivo diverso	6	1.947	2.163	41.099
2	Policultivo simple	8	3.311	4.604	79.149
3	Policultivo diverso	8	4.672	28.083	327.551
4	Policultivo simple	7	2.933	2.717	56.493
5	Policultivo simple	12	6.198	4.873	110.715

6	Policultivo simple	7	2.456	0.308	27.635
7	Policultivo simple	9	5.810	0.343	61.525
8	Policultivo simple	3	0.290	0.000	2.896
9	Policultivo simple	5	3.205	105.479	1086.841
10	Policultivo simple	13	3.463	1.487	49.497
11	Vegetación natural	48	153.872	71.733	2256.053
12	Vegetación natural	46	21.380	61.623	830.034
13	Vegetación natural	67	18.203	11.375	295.780
14	Vegetación natural	72	11.087	5.036	161.235
15	Vegetación natural	109	38.052	2.632	406.845
16	Policultivo diverso	37	2.055	0.000	20.550
17	Policultivo simple	7	0.622	0.000	6.221
18	Policultivo diverso	17	2.362	0.000	23.625
19	Policultivo simple	30	3.192	0.000	31.922
20	Policultivo simple	11	0.488	0.000	4.878
21	Policultivo simple	15	2.795	0.000	27.949
22	Vegetación natural	46	13.147	0.000	131.469
23	Rústico	15	11.048	18.521	295.687
24	Policultivo simple	8	1.057	0.000	10.574
25	Policultivo simple	11	2.326	3.924	62.494
26	Policultivo simple	11	4.414	2.819	72.332
27	Policultivo simple	6	1.759	0.534	22.928
28	Policultivo simple	10	1.211	8.166	93.767
29	Policultivo simple	14	1.232	0.000	12.324
30	Policultivo simple	3	0.249	0.000	2.488
31	Policultivo simple	12	0.691	0.000	6.912
32	Policultivo simple	13	3.386	5.468	88.534
33	Policultivo simple	10	1.262	9.729	109.905
34	Policultivo simple	3	1.604	5.532	71.362
35	Policultivo simple	14	3.176	280.451	2836.274
36	Policultivo simple	10	2.523	2.052	45.747
37	Policultivo simple	10	1.462	0.926	23.882
38	Potrero	26	5.452	0.076	55.283
39	Potrero	18	2.690	0.000	26.900
40	Vegetación natural	21	13.099	7.386	204.846
41	Potrero	8	2.253	0.601	28.538
42	Policultivo simple	6	1.786	1.311	30.969
44	Policultivo simple	10	1.690	9.200	108.904
45	Policultivo simple	9	2.538	25.189	277.274
47	Policultivo simple	8	3.992	9.490	134.813
48	Rústico	16	7.010	6.585	135.953
49	Policultivo simple	10	10.300	17.779	280.789
51	Policultivo simple	16	12.627	12.342	249.684
52	Policultivo simple	14	1.222	0.000	12.218
53	Policultivo diverso	13	7.080	2.084	91.647

54	Policultivo diverso	24	6.324	2.661	89.851
55	Potrero	18	4.243	0.000	42.429
56	Potrero	5	1.783	1.987	37.703
57	Vegetación natural	79	16.731	11.857	285.879
58	Policultivo simple	16	3.356	0.000	33.558
59	Policultivo simple	23	1.215	0.000	12.148
60	Policultivo simple	20	3.890	3.148	70.382
62	Policultivo simple	22	4.883	0.000	48.833
63	Policultivo diverso	11	2.428	1.367	37.946
64	Policultivo simple	15	2.873	4.739	76.115
65	Policultivo simple	12	2.429	0.186	26.149
66	Policultivo simple	10	2.230	0.330	25.598
67	Policultivo simple	19	3.071	1.287	43.578
68	Policultivo simple	5	1.689	64.273	659.619
69	Policultivo simple	8	2.715	0.993	37.088
70	Policultivo simple	9	0.711	1.187	18.985
71	Policultivo simple	14	0.672	0.000	6.725
72	Policultivo simple	5	0.402	0.000	4.024
73	Policultivo simple	12	0.826	0.000	8.260
74	Policultivo simple	6	0.870	0.000	8.701
75	Policultivo simple	8	29.673	64.980	946.528
76	Policultivo simple	13	0.222	0.000	2.221
77	Policultivo simple	15	0.957	0.000	9.568
78	Policultivo simple	8	1.496	0.992	24.875

En el Cuadro 4 se muestran los estadísticos de las estimaciones por tipo de vegetación.

Cuadro 4. Estadísticos de las estimaciones por tipo de vegetación.

Vegetación	Número	Mínimo	Promedio	Desv. Estándar	Máximo
Cafetal policultivo simple	51	2.22	156.98	434.35	2836.27
Cafetal policultivo diverso	7	20.55	90.32	108.60	327.55
Cafetal rústico	2	135.95	215.82	112.95	295.69
Potrero	5	26.90	38.17	11.52	55.28
Vegetación natural	8	131.47	571.52	715.71	2256.05

DISCUSIÓN

Los resultados de las estimaciones de la biomasa en los distintos tipos de vegetación en la Sierra Madre de Chiapas muestran alta dispersión por lo que es necesario su análisis. Un punto crítico en las estimaciones realizadas es el impacto de los árboles con diámetros altos.

El Cuadro 5 muestra resultados por sitios de muestreo de todos los árboles y de la exclusión de un solo árbol ($D > 100$ cm) por sitio).

Cuadro 5. Biomosas con y sin árbol grande

No. SITIO	B total original t/ha	B total sin árbol grande t/ha	Reducción B %
3	327.551	195.565	40.29

9	1086.841	39.835	96.33
12	830.034	791.640	4.63
35	2836.274	77.898	97.25
49	280.789	122.014	56.55
68	659.619	16.891	97.44
75	946.528	824.270	12.92

De la Figura 5 se observa el impacto (% de reducción de B) que tiene la inclusión de los árboles grandes en las estimaciones.

CONCLUSIONES

El modelo alométrico global y local presentado muestra resultados mejores que el uso de un modelo global, pero un poco menores que los modelos locales, no presentando sesgos en las estimaciones.

Las estimaciones de la biomasa aérea fueron generadas procesando cada árbol de los sitios de muestreo en la Sierra Madre de Chiapas, donde los resultados mostraron una dispersión alta de valores, la cual puede ser explicada por la inclusión de árboles con diámetros altos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basuki, T.M., P.E. van Laake, A.K. Skidmore and Y.A. Hussin. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257:1684-1694
- Bolaños-González, M.A., A. Libert-Amico, F. Paz-Pellat, V. Salas-Agular, G. Villalobos-Sánchez, E. Escamilla-Prado, A.S. Velázquez-Rodríguez y E.I. Morales-Reyes. 2021. Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas. pp. 633-638. En: J.M. Hernández, M. Manzano, M. Bolaños y P. Ibarra (eds). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2021*. Texcoco, Estado de México, México.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass change of tropical forests, a primer. *Forest Resources Assessment Publication*. Forestry Papers 134. FAO. Rome 134 p.
- CEDRSSA. 2019. Propuestas para reactivar la producción y comercialización de café en México 2019-2024. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados - LXIV Legislatura 19 p.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra, T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99.
- Chave, J., D. Coomes, S. Jansen, S.I. Lewis, N.G. Swenson and A.E. Zanne. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol. Lett.* 12:351-366
- Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. C. Delitti, A. Duque, T. Eid, P. M. Fearnside, R. S. Goodman, M. Henry, A. Martínez-Yrizar, W. A. Mugasha, H. C. Muller-Landau, M. Mencuccini, B. W. Nelson, A. Ngomanda, E. M. Nogueira, E. Ortiz-Maavassi, R. Pélissier, P. Ploton, C. M. Ryan, J. G. Saldarriaga and G. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20: 3177-3190.
- Henry, M., N. Picard, C. Trotta, R. J. Manlay, R. Valentini, M. Bernoux and L. Saint-André. 2011. Estimating tree biomass of Sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fennica* 45: 477-569.
- Libert-Amico, A. y F. Paz-Pellat. 2018. Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. *Madera y Bosques* doi:10.21829/myb.2018.2401914
- Libert-Amico, A., J.C. Wong-González y F. Paz-Pellat. 2016. Impacto de la roya del cafeto en los almacenes de carbono en la Sierra Madre de Chiapas. pp. 219-225. En: F. Paz y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016*. Texcoco, Estado de México, México.
- Martínez-Sánchez, J.L., C. Martínez-Garza, L. Cámara y O. Castillo. 2020. Species-specific or generic allometric equations: which option is better when estimating the biomass of Mexican tropical humid forests. *Carbon Management* 11:241-249
- Ngomanda, A., N. L. Engone O., J. Lebamba, Q. Moundounga M., H. Gomat, G. Sidoine Mankou, J. Loumeto, D. Midoko I., F. Kossi D., R. Zinga K., K. H. Botsika B., C. Mikala O., R. Nyangadouma, N. Lépengué, B. Mbachi and N. Picard. 2013. Site-specific versus pantropical allometric equations: which option to estimate the biomass of a moist central African forest? *Forest Ecology and Management* doi: 10.1016/j.foreco.2013.10.029.

- Ordoñez Díaz, J.A., A. Galicia Naranjo, N.J. Venegas Mancera, t. Hernández Tejeda, M.J. Ordoñez Díaz y R. Dávalos Sotelo. 2015, Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21:77-126.
- Paz-Pellat, F. 2020. Costo de las políticas públicas asociadas al manejo de la roya en los cafetales bajo sombra de la Sierra Madre de Chiapas pp. 81-86. En: J.M. Hernández, M. Rojo, M. Fuentes, A. Velázquez y M. Bolaños (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2020*. Texcoco, Estado de México, México.
- Paz-Pellat, F. 2021. Un modelo alométrico global y local. *Madera y Bosques* doi:10.21829/myb.2021.2742446
- Pelletier, J., K. R. Kirby and C. Potvin. 2010. Significance of carbon stock uncertainties on emission reductions from deforestation and forest degradation in developing countries. *Forest Policy and Economics* doi: 10.1016/j.forpol.2010.05.005.
- Picard, N., F. Boyemba B. and V. Rossi. 2015. Reducing the error in biomass estimates strongly depends on model selection. *Annals of Forest Science* 72: 811-823.
- Ploton, P., N. Barbier, S. Takoudjou M., M. Réjou M., F. Boyemba B., G. Chuyong, G. Dauby, V. Droissart, A. Fayolle, R. C. Goodman, M. Henry, N. G. Kamdem, J. K. Mukirania, D. Kenfack, M. Libalah, A. Ngomanda, V. Rossi, B. Sonké, N. Texier, D. Thomas, D. Zebaze, P. Couteron, U. Berger and R. Pélissier, 2016. Closing a gap in tropical forest biomass estimation: taking crown mass variation into account in pantropical allometries. *Biogeosciences* 13: 1571-1585.
- Rojas-García, F., B. H. J. de Jong, P. Martínez Z. and F. Paz P. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science* 72: 835-864.
- SAGARPA. 2017. Cierre de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México: SAGARPA. Recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx>
- Salas-Aguilar, V.M., F. Paz-Pellat, F. Rojas-García y M. Bolaños. 2018. Almacenes de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros de la Sierra Madre de Chiapas. pp. 671-677. En: F. Paz, A. Velázquez y M. Rojo (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2018*. Texcoco, Estado de México, México.
- Sato, T., M. Saito, D. Ramírez, L.F. Pérez de Molas, J. Toriyama, Y. Monda, Y. Kiyono, E. Herebia, N. Dubie, E. Duré Vera, J.D. Ramírez Ortega and M. Vera de Ortiz. 2015. Development of allometric equations for tree biomass in forest ecosystems in Paraguay. *JARQ* 49:281-291
- Snowdon, P. 1991. A ratio estimator for bias correction in logarithmic regression. *Can. J. For. Res.* 21: 720-724.
- Soto-Pinto, L., C.M. Aguirre-Dávila y M.J. Anzueto-Martínez. 2015. Almacenes de carbono en cafetales con distintos manejos en el Norte de Chiapas, México. pp. 256-263. En: F. Paz Pellat, J. Wong González y R. Torres Alamilla (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015*. Texcoco, Estado de México, México.
- Soto-Pinto, L. y G. Jiménez-Ferrer. 2018. Contradicciones socioambientales en los procesos de mitigación asociados al ciclo del carbono en sistemas agroforestales. *Madera y Bosques* doi:10.21829/myb.2018.2401887
- Zanne, A.E., G. Lopez-Gonzalez, D.A. Coomes, S. Jansen, S.L. Lewis, R.B. Miller, N.G. Swenson, M.C. Wiemann and J. Chave. Data from: Towards a worldwide Wood economics spectrum, V5, Dryad, Dataset. <https://doi.org/10.506/dryad.234>