

## INVENTARIOS DE BIOMASA AEREA EN CAFETALES Y VEGETACIÓN NATURAL EN ALTAS MONTAÑAS DEL ESTADO DE VERACRUZ

### INVENTORIES OF AERIAL BIOMASS IN COFFEE PLANTATIONS AND NATURAL VEGETATION IN THE ALTAS MONTAÑAS OF THE STATE OF VERACRUZ

Fernando Paz Pellat<sup>1\*</sup> y Adán Villa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa Mexicano del Carbono y Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México, México.

\*Autor de correspondencia: ferpazpel@gmail.com

#### RESUMEN

Los cambios de uso del suelo en bosques tropicales generan altas emisiones de gases efecto invernadero. La biomasa aérea es uno de los principales almacenes de carbono en el sistema suelo-vegetación, por lo que se requiere de su evaluación. 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. Para la alometría se ha discutido el uso de modelos globales o locales; aunque la evidencia empírica muestra mejores ajustes de los modelos 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 Altas Montañas en Veracruz, 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 de biomasa, dispersión de valores de biomasa aérea, árboles de grandes diámetros.

#### SUMMARY

Changes in land use in tropical forests generate high emissions of greenhouse gases. Aboveground biomass is one of the main carbon stores in the soil-vegetation system, which is why its evaluation is required. 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. For allometry, the use of global or local models has been discussed; although empirical evidence shows better adjustments of local models. 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 Altas Montañas of Veracruz, the allometric model generated was applied in the estimates. The results obtained from the aboveground 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, biomass estimations, dispersion of aboveground biomass values, large diameter trees.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios de uso del suelo en bosques tropicales generan altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) contribuyendo al cambio climático (Houghton *et al.*, 2015). Para realizar estimaciones de GEI en los bosques y selvas es necesario conocer los almacenes de carbono de los diferentes componentes en el sistema suelo-vegetación, donde la biomasa aérea es uno de los principales. Para estimar la biomasa aérea es necesario el empleo de métodos destructivos, lo cual es impráctico en las aplicaciones, por lo que se utilizan métodos alométricos que utilizan variables indirectas, tales como el diámetro normal o  $D$ , medido a la altura de 1.3 m del fuste, la altura total o  $H$  y la densidad de la madera o  $\rho$ . Las ecuaciones alométricas han sido utilizadas para las estimaciones de la biomasa aérea (Brown, 1997, Chave *et al.*, 2005), donde 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 un análisis adecuado de 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 como  $D$ ,  $H$  y  $\rho$  son las usadas más comúnmente. El uso conjunto de  $D$ ,  $H$  y  $\rho$ , reduce la incertidumbre de las estimaciones (Chave *et al.*, 2014), por lo que se recomienda en la construcción de ecuaciones alométricas. El uso de un modelo alométrico global con relación a los locales ha generado algunas discusiones en la literatura (Martínez-Sánchez *et al.*, 2020), donde la evidencia empírica soporta que mejores estimaciones son realizadas con modelos locales (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).

En el sur-sureste de México, una de las principales actividades productivas es el establecimiento de plantaciones de café, principalmente bajo sombra arbórea. Entre los principales productores de café se encuentra el estado de Veracruz (SAGARPA, 2017), principalmente con café bajo sombra y café orgánico.

Los cafetales bajo sombra arbórea tienen altos contenidos de carbono que son relativamente similares a los encontrados en 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, han provocado pérdidas de carbono (Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018; Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer, 2018; Paz-Pellat, 2020), por lo que es importante evaluar las emisiones de GEI hacia la atmósfera.

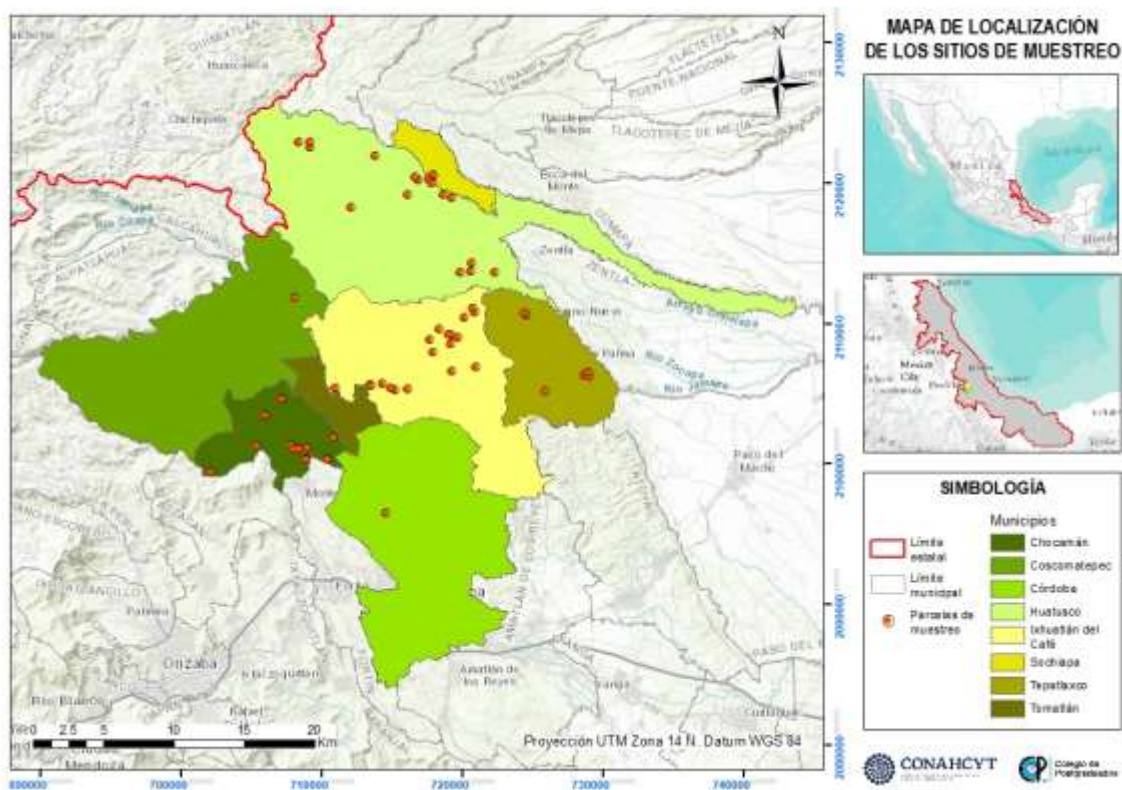
Este trabajo forma parte del proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas” (Bolaños *et al.*, 2021), actualmente financiado por el CONAHCYT, el cual tiene como objetivo caracterizar los almacenes de carbono de las componentes (biomasa viva aérea, carbono orgánico del suelo, mantillo, madera muerta, biomasa viva subterránea) de los cafetales y otros tipos de vegetación y uso del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Campaña de muestreo en campo

Para evaluar los almacenes de carbono de los cafetales bajo sombra, y vegetación natural, se realizó una campaña de muestreo en el estado de Veracruz en el año 2022. La Figura 1 muestra la distribución de los sitios de muestreo de cafetales bajo sombra y otros tipos de vegetación y uso del suelo.

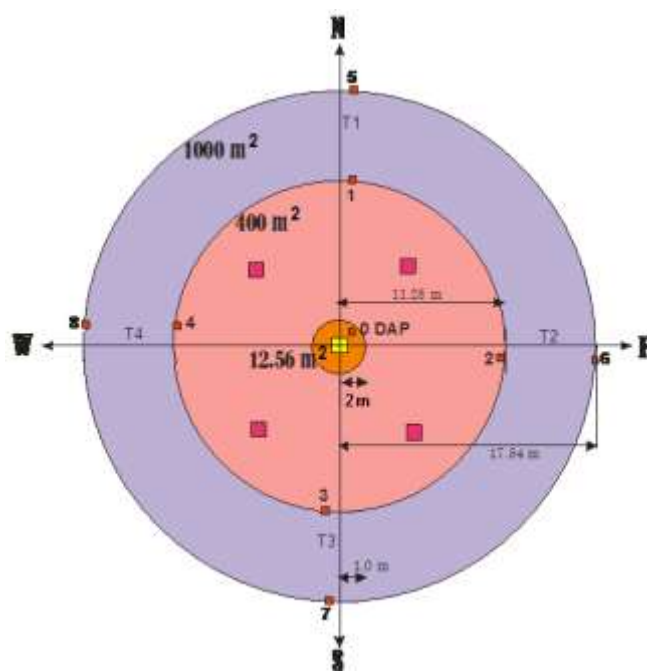
**Figura 1. Distribución geográfica de los sitios de muestreo en Altas Montañas del estado de Veracruz.**



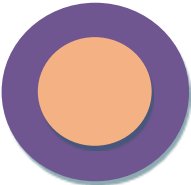







En la campaña de muestreo se seleccionaron 60 sitios de muestreo, incluyendo cultivos de caña de azúcar y potreros ganaderos para su medición y caracterización.

### Sitios de muestreo

El diseño de los sitios de muestreo esta mostrado en la Figura 2, donde las características de los muestreos están descritas en el Cuadro 1, donde se especifican las variables medidas.



**Cuadro 1. Especificaciones de las unidades de muestreo**

	Sólo en el espacio entre el círculo de 1000 m <sup>2</sup> (Radio = 17.84 m) y el de 400 m <sup>2</sup> (área de color azul), se tomará información de árboles con diámetro normal mayor a 20cm, poniendo especial atención en que la forma de vida y porte de los individuos sea propia de un árbol.
	Sitio de 400 m <sup>2</sup> (Radio = 11.28 m) para medir árboles con diámetro normal mayor o igual a 7.5cm, poniendo especial atención en que la forma de vida y porte de los individuos sea propia de un árbol. Por ejemplo, debe diferenciarse un árbol que en su etapa joven tiene un crecimiento arbustivo (por ejemplo, un encino) de los arbustos típicos. En este sitio también se obtiene información de arbustos.
	Subsitio de 12.56 m <sup>2</sup> (Radio = 2 m) para registrar renuevo: elementos con diámetro <7.5 cm y altura ≥ 50 cm poniendo especial atención en que la forma de vida y porte de los individuos sea efectivamente de árboles o arbustos. Por ejemplo, un renuevo de <i>Quercus</i> que en esa etapa tiene un porte arbustivo, finalmente llegará a ser un árbol. En este sitio también se obtiene información de arbustos.
	Subsitio de 1 m <sup>2</sup> (L = 1 m) para el registro de hierbas, helechos, musgos y líquenes.
	Transectos de muestreo de 15 m para registrar información de materia orgánica muerta sobre la superficie (combustibles).
	Puntos de registro de materia orgánica muerta sobre la superficie (combustibles).
	Puntos de registro de mantillo y suelo.
	Subsitio de 1 m <sup>2</sup> (L = 1 m), 4 muestras en forma representativa, 1 por cuadrante, donde se registra el estrato herbáceo con enfoque ganadero.

La parcela de muestreo, tiene subsitios de muestreo y transectos de medición como se muestra en la Figura.

En el espacio entre el círculo de 1000 m<sup>2</sup> y el de 400 m<sup>2</sup> se mide y registra sólo el arbolado cuyo diámetro normal (D), sea igual o mayor a 40 cm.

En el sitio de 400 m<sup>2</sup> (radio = 11.28 m) se mide y registra el arbolado cuyo diámetro normal sea igual o mayor a 7.5cm y se registran arbustos con alturas mayores o iguales a 1.0 m, de los cuales se obtienen la altura total y el diámetro de copa.

En el subsitio de 12.56 m<sup>2</sup>, se mide y registra por género, la frecuencia y algunas variables cualitativas del repoblado (regeneración natural), cuyas plantas o árboles pequeños tengan como mínimo 50 cm de altura, hasta la altura que alcancen, siempre que su diámetro normal sea menor a 7.5 cm. En el caso de los arbustos (alturas menores de 1.0 m), se toma la misma información que los renuevos arbóreos: frecuencia de edades (alturas) del repoblado.

En el subsitio de 1m<sup>2</sup>, se miden las plantas herbáceas, helechos, musgos, líquenes y otras características de la superficie del suelo presentes en el estrato.

Adicionalmente se realizan muestreos para evaluar el material leñoso caído (transectos), el mantillo y el suelo.

### **Modelo alométrico global y local**

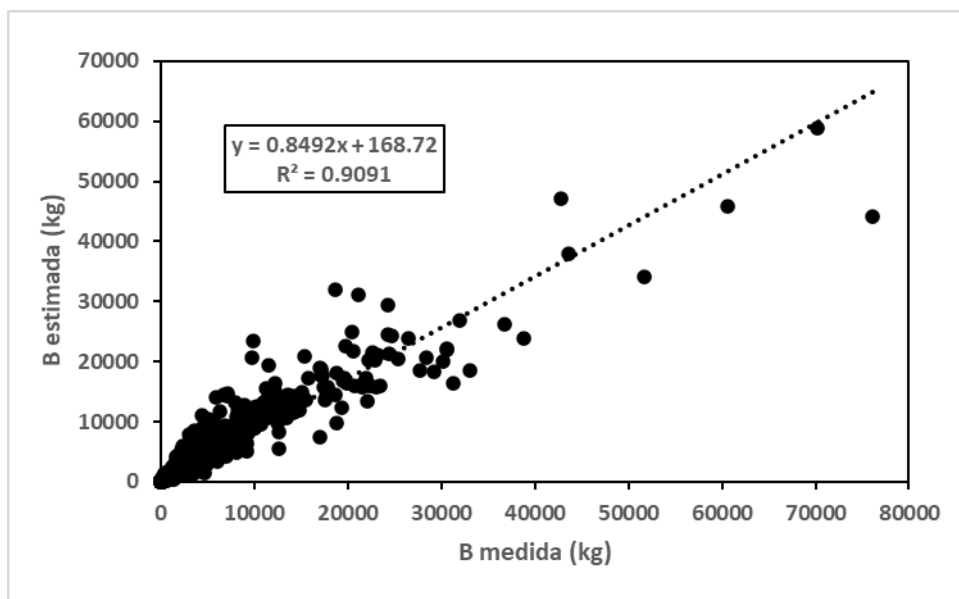
Paz-Pellat (2021) muestra la metodología utilizada para el desarrollo de un modelo global adecuado para estimaciones locales.

Las unidades de medición utilizadas son B en kg, D en cm, H en m y  $\rho$  en  $\text{g cm}^{-3}$ .

Para el análisis de modelos alométricos se utilizó la base de datos de Chave *et al.* (2014), consistente de 4004 mediciones de 58 sitios en diferentes partes del mundo, donde la densidad de la madera fue medida en el 58 % de los datos y estimada en el resto usando información disponible de densidades (Chave *et al.*, 2009; Zanne *et al.*, 2009). Como referencia, el modelo alométrico global de Chave *et al.* (2014), establece un estándar de comparación para el resto de los modelos. El modelo para la biomasa (B) está definido por:

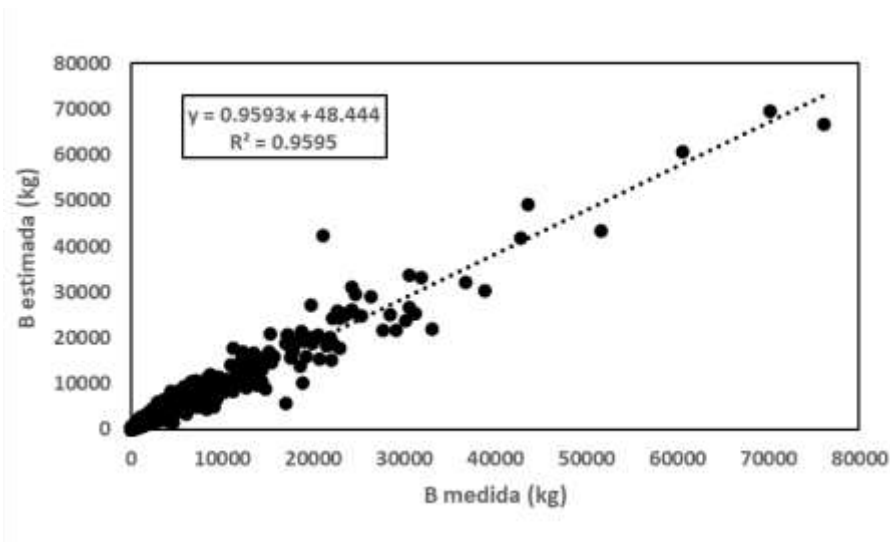
$$B = 0.0673(\rho D^2 H)^{0.976} \quad (1)$$

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.



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

Para tener un modelo ideal de comparación, se realizaron regresiones estadísticas no lineales sitio por sitio (estimaciones locales). La Figura 4 muestra los resultados obtenidos en este proceso.



**Figura 4. 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.

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

$$FC_{ER} = \frac{P(B_{med})}{P(B_{est})} \quad (3)$$

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.

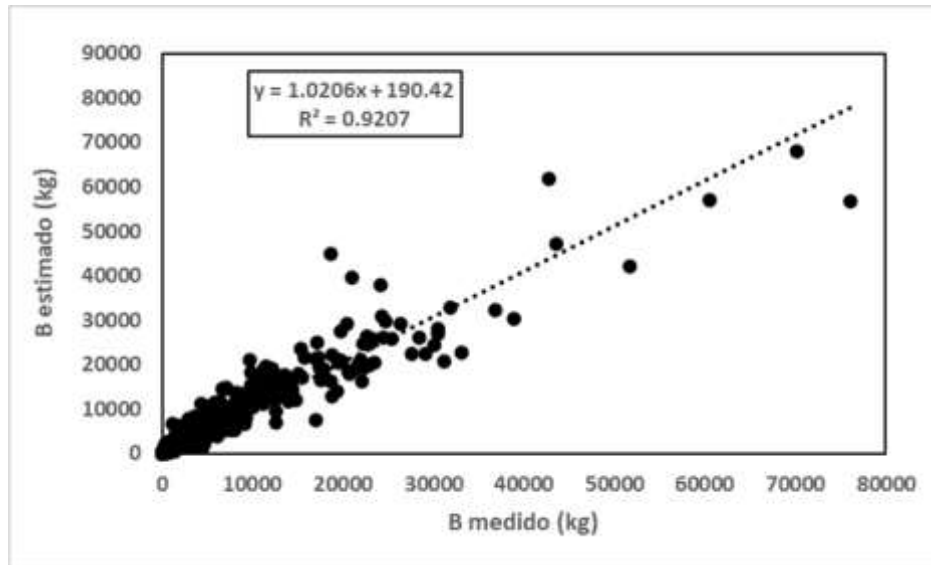
Para el uso de la relación (3), la biomasa estimada puede realizarse a través del modelo alométrico global alternativo (Paz y Villa, 2014):

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

El factor de corrección, sitio por sitio, se estimó de un proceso de estimación multivariado para el promedio de la biomasa medida:

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

La Figura 5 muestra el resultado de los ajustes estadísticos del modelo propuesto, donde el coeficiente de determinación es una mejoría con relación al uso de modelos globales.



**Figura 5. 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 la zona de Altas Montañas de Veracruz en los municipios de Chocomán, Cosmatepec, Córdoba, Huatusco, Ixhuatlán del Café, Sochiapa, Tepatlaxco y Tomatlán consistió de 51 sitios de medición (más 5 sitios de cultivos de caña de azúcar y 4 sitios de potreros ganaderos) 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 (CONAFOR, 2020; Zanne *et al.*, 2009; Chave *et al.*, 2009; Ordoñez Díaz, 2015).

**Cuadro 2. Características de los sitios de muestreo en Veracruz**

No. Sitio	Vegetación	Tipo de cafetal	Manejo del cafetal	Nombre del predio	Asociación/cooperativa
1	Café	Monocultivo	Orgánico	El Jonote	Catuaí amarillo SSS
2	Café	Rústico	Orgánico	El Salto	Catuaí amarillo SSS
3	Café	Rústico	Orgánico	El Zempalehua	Catuaí amarillo SSS
4	Café	Rústico	Orgánico	-999	Catuaí amarillo SSS
5	Café	Rústico	Orgánico	-999	Catuaí amarillo SSS
6	Café	Policultivo simple	Orgánico	-999	Catuaí amarillo SSS
7	Café	Policultivo simple	Orgánico	Casa Amarilla	Catuaí amarillo SSS
8	Café	Policultivo simple	En transición	Los Cornejales	Cafetos de Neria S.C.
9	Café	Monocultivo	Convencional	El Izotal	Grupo de Trabajo de la Sierra Madre Oriental
10	Café	Monocultivo	Convencional	El Rincón	Grupo de Trabajo de la Sierra Madre Oriental
11	Café	Monocultivo	Orgánico	Ishuatequila	Productores sustentables de Ocozaca
12	Café	Policultivo simple	Orgánico	La Bendición	Independiente
13	Café	Policultivo simple	Orgánico	Cobatoba	Independiente
14	Café	Monocultivo	Orgánico	El Potrero	Productores sustentables de Ocozaca
15	Café	Monocultivo	Convencional	Cerro del Potrero	Independiente
16	Natural	Bosque de pino-encino	Sin manejo	Rancho Xocotitla	Productores sustentables de Ocozaca
17	Café	Monocultivo	Orgánico	Los Pámpanos	Productores sustentables de Ocozaca
18	Café	Monocultivo	Orgánico	La Cañada	Productores sustentables de Ocozaca
19	Café	Monocultivo	Orgánico	El Plan	Productores sustentables de Ocozaca
20	Regeneración	Bosque inducido	Sin manejo	La Barranca de Jamapa	Productores sustentables de Ocozaca
21	Café	Monocultivo	Orgánico	-999	Independiente
22	Café	Monocultivo	Orgánico	Jamapa	Independiente
23	Café	Monocultivo	Convencional	Los Riales	Independiente
24	Café	Monocultivo	Convencional	Xochicuahuatl	Sembrando Vida
25	Café	Monocultivo	Orgánico	La Esperanza	Independiente
26	Café	Monocultivo	Convencional	Moctezuma	Independiente
27	Café	Monocultivo	Convencional	Moctezuma	Independiente
28	Café	Policultivo simple	Orgánico	Finca Don Efra	INCAFESAM
30	Café	Policultivo simple	Orgánico	La Mellos	INCAFESAM
31	Café	Policultivo simple	Orgánico	El Plátano	Catuaí Amarillo SSS
32	Café	Monocultivo	Convencional	El Platanal	Independiente
33	Café	Monocultivo	Convencional	El Gasparito	Independiente
34	Café	Monocultivo	Convencional	La Barranca	Independiente
35	Café	Monocultivo	Convencional	Tlaxcamapa	Independiente
36	Café	Monocultivo	Convencional	La Cañada	Independiente
37	Café	Monocultivo	Convencional	Tomatlancillo	Independiente
39	Café	Monocultivo	Convencional	Termitas	Independiente



41	Café	Monocultivo	Convencional	La Cañada	Independiente
42	Café	Monocultivo	Convencional	La Polvilla	Independiente
43	Café	Bosque de encinos	Sin manejo	El Bosque	Independiente
44	Café	Monocultivo	Convencional	Tolín	Independiente
46	Café	Policultivo simple	Convencional	El Potrero	Independiente
47	Café	Policultivo simple	Convencional	Curaxtla	Independiente
50	Natural	Bosque de encino	Sin manejo	La Cueva	Independiente
51	Café	Monocultivo	Convencional	El Duende	Independiente
52	Café	Monocultivo	Convencional	El Arroyito	Independiente
53	Café	Monocultivo	Convencional	La Burra	Independiente
54	Café	Monocultivo	Convencional	El Rincón	Productores Orgánicos de Tepatlaxco
59	Natural	Bosque mesófilo de montaña	Sin manejo	El Bosquete	Independiente
60	Café	Monocultivo	Orgánico	-999	Independiente

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 en sitios de Veracruz.**

No. Sitio	Tipo de cafetal	No. arboles	B (7.5 D < 40) t/ha	B (D ≥ 40 cm) t/ha	B total t/ha
1	Monocultivo	5	57.2	61.1	118.3
2	Rústico	9	150.6	250.4	401.0
3	Rústico	9	136.6	127.8	264.4
4	Rústico	7	106.8	0.0	106.8
5	Rústico	9	61.2	139.8	201.0
6	Policultivo simple	13	107.7	4788.2	4895.9
7	Policultivo simple	8	181.9	4928.8	5110.7
8	Policultivo simple	14	60.5	24.6	85.2
9	Monocultivo	12	135.2	32.3	167.5
10	Monocultivo	8	57.1	247.2	304.3
11	Monocultivo	12	118.4	39.4	157.8
12	Policultivo simple	3	4.8	0.0	4.8
13	Policultivo simple	15	79.9	39.2	119.1
14	Monocultivo	5	42.6	0.0	42.6
15	Monocultivo	20	145.3	0.0	145.3
16	Bosque de pino-encino	14	121.3	221.3	342.5
17	Monocultivo	5	248.2	10969.7	11217.9
18	Monocultivo	15	35.4	187.2	222.7
19	Monocultivo	8	8.3	182.0	190.2
20	Bosque inducido	25	228.9	72.9	301.8
21	Monocultivo	16	112.5	226.4	338.9
22	Monocultivo	15	658.0	0.0	658.0
23	Monocultivo	9	207.6	772.5	980.1
24	Monocultivo	6	33.8	0.0	33.8

25	Monocultivo	12	31.3	393.8	425.1
26	Monocultivo	8	167.2	0.0	167.2
27	Monocultivo	14	186.1	31.8	217.9
28	Policultivo simple	7	59.2	77.9	137.2
30	Policultivo simple	7	44.6	34.8	79.4
31	Policultivo simple	12	139.8	62.6	202.4
32	Monocultivo	9	104.6	26.2	130.8
33	Monocultivo	6	68.8	86.3	155.1
34	Monocultivo	5	86.6	36.0	122.6
35	Monocultivo	10	198.2	0.0	198.2
36	Monocultivo	8	76.9	68.1	145.0
37	Monocultivo	11	88.0	0.0	88.0
39	Monocultivo	7	93.2	0.0	93.2
41	Monocultivo	5	48.7	0.0	48.7
42	Monocultivo	5	56.7	0.0	56.7
43	Bosque de encinos	13	35.7	-0.7	35.0
44	Monocultivo	18	238.2	40.2	278.5
46	Policultivo simple	7	58.9	56.1	115.1
47	Policultivo simple	5	100.9	0.0	100.9
50	Bosque de encino	23	165.7	583.1	748.8
51	Monocultivo	6	143.4	0.0	143.4
52	Monocultivo	6	53.1	0.0	53.1
53	Monocultivo	9	81.6	77.5	159.1
54	Monocultivo	7	102.5	20.7	123.3
59	Bosque mesófilo de montaña	14	158.9	0.0	158.9
60	Monocultivo	15	156.7	337.3	493.9

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.**

Tipo de cafetal	Número sitios	Mínimo	Promedio	Desv.	Máximo
				Estándar	
Monocultivo	31	33.8	570.2	1985.9	11217.9
Policultivo simple	10	4.8	1085.1	2066.3	5110.7
Rústico	4	106.8	243.3	123.4	401.0
Vegetación natural	5	35.0	317.4	270.1	748.8

Los resultados de las estimaciones de la biomasa en los distintos tipos de vegetación en Altas Montañas de Veracruz 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 ( $D > 40$  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 %
1	118.28	50.03	57.70
2	400.96	159.66	60.18
3	264.44	191.46	27.60
4	106.83	106.83	0.00
5	201.03	138.85	30.93
6	4895.93	118.57	97.58
7	5110.67	234.56	95.41
8	85.18	74.37	12.69
9	167.45	131.08	21.72
10	304.35	268.50	11.78
11	157.82	133.66	15.31
12	4.78	4.78	0.00
13	119.09	91.67	23.02
14	42.62	42.62	0.00
15	145.31	145.31	0.00
16	342.53	273.16	20.25
17	11217.92	20.56	99.82
18	222.69	77.65	65.13
19	190.24	119.14	37.38
20	301.83	251.36	16.72
21	338.92	291.50	13.99
22	657.97	270.51	58.89
23	980.10	705.02	28.07
24	33.80	33.80	0.00
25	425.09	72.45	82.96
26	167.19	167.19	0.00
27	217.93	208.64	4.26
28	137.16	88.52	35.46
30	79.41	50.53	36.37
31	202.39	143.47	29.11
32	130.76	103.64	20.74
33	155.15	54.02	65.18
34	122.61	72.61	40.78
35	198.22	198.22	0.00
36	145.00	96.25	33.62
37	88.00	88.00	0.00
39	93.19	93.19	0.00
41	48.75	48.75	0.00
42	56.68	56.68	0.00
43	34.98	-34.98	0.00

44	278.46	242.22	13.01
46	115.07	65.60	42.99
47	100.86	100.86	0.00
50	748.79	632.34	15.55
51	143.36	143.36	0.00
52	53.08	53.08	0.00
53	159.13	119.23	25.08
54	123.28	93.37	24.26
59	158.92	158.92	0.00
60	493.92	415.59	15.86

### DISCUSIÓN

El uso del modelo alométrico global con corrección para estimaciones locales aparentemente no tiene sesgos y puede realizar estimaciones precisas y confiables. No obstante, el uso de la P(Bmed) con estadística multivariada puede conducir a sub o sobre estimaciones. En nuestro caso, aparentemente se presentan sobre estimaciones ( $FC_{ER} > 1$ ) por lo que se requiere de una revisión del modelo propuesto.

La exclusión del árbol más grande en cada sitio generó estimaciones con alto impacto en la biomasa aérea total, por lo que es recomendable la revisión de la base de datos de mediciones realizada.

### 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, aparentemente, sesgos en las estimaciones; aunque se recomienda su revisión, particularmente el uso del modelo multivariado para la estimación de P(Bmed).

Las estimaciones de la biomasa aérea fueron generadas procesando cada árbol de los sitios de muestreo en Altas Montañas de Veracruz, donde los resultados en algunos sitios mostraron una dispersión alta de valores, la cual puede ser explicada por la inclusión de árboles con diámetros altos. Las estimaciones realizadas pueden considerarse como una buena aproximación a las mediciones reales.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.
- CONAFOR. 2020. Nivel de referencia de emisiones forestales de México (2007-2016). Base de datos de archivos del Anexo Metodológico. Guadalajara, Jalisco. México

- 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.
- Houghton, R.A., B. Byers, A.A.A. Nassikas. 2015. Role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nat. Clim. Change* 5:1022-1023.
- 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. Mbatchi 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
- Paz, F. y A. Villa. 2024. Estimación de la biomasa aérea en cafetales y otros usos del suelo en la Sierra Madre de Chiapas. *Elementos para Políticas Públicas*. Aceptado para su publicación.
- 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>