

## Artículos invitados

# Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos<sup>1</sup>

Damaris Suárez<sup>2</sup>; Milena Segura<sup>3</sup>; Markku Kanninen<sup>4</sup>

**Palabras claves:** área basal; *Coffea arabica*; *Cordia alliodora*; *Inga punctata*; *Inga tonduzzi*; *Juglans olanchana*; materia seca.

### RESUMEN

Se desarrollaron modelos alométricos para la predicción de biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café (*Coffea arabica*) en sistemas agroforestales a partir del abatimiento y medición directa de 35 árboles y 96 plantas de café. Las especies de sombra seleccionadas fueron: *Cordia alliodora*, *Juglans olanchana*, *Inga tonduzzi* e *Inga punctata*, las cuales fueron dominantes en los cafetales (>50% del área basal). El modelo que mejor predijo la biomasa aérea total de estas especies de sombra fue:  $\text{Log}_{10}(B_T) = -0,96 + 2,34 * \text{Log}_{10}(\text{dap})$  ( $R^2$  ajustado = 0,94), donde  $B_T$  = biomasa aérea total (kg árbol<sup>-1</sup>); dap = diámetro del tallo a la altura de pecho (cm). Para plantas de café:  $\text{Log}_{10}(B_T) = -1,15 + 1,66 * \text{Log}_{10}(d_{15}) + 0,54 * \text{Log}_{10}(h)$  ( $R^2$  ajustado = 0,95), donde  $B_T$  = biomasa aérea total (kg planta<sup>-1</sup>);  $d_{15}$  = diámetro del tronco a 15 cm del suelo (cm); h = altura total (m).

**Estimation of aboveground biomass of shade trees and coffee plants, in agroforestry systems in Matagalpa, Nicaragua, using allometric models**

**Key words:** Basal area; *Coffea arabica*; *Cordia alliodora*; *Inga punctata*; *Inga tonduzzi*; *Juglans olanchana*; dry matter.

### ABSTRACT

Allometric models, to predict above ground biomass of shade trees and coffee plants (*Coffea arabica*) in agroforestry systems, were developed through destructive sampling of 35 trees and 96 coffee plants. The shade species were: *Cordia alliodora*, *Juglans olanchana*, *Inga tonduzzi* and *I. punctata*, the dominant species in the coffee plantations (>50% of basal area). The best model to predict the aboveground biomass of these shade species was  $\text{Log}_{10}(\text{tb}) = -0.96 + 2.34 * \text{Log}_{10}(\text{dbh})$  (adjusted  $R^2 = 0.94$ ), where tb = total above ground biomass (kg tree<sup>-1</sup>); dbh = stem diameter at breast height (cm). The best model for coffee biomass was  $\text{Log}_{10}(\text{tb}) = -1.15 + 1.66 * \text{Log}_{10}(d_{15}) + 0.54 * \text{Log}_{10}(h)$  (adjusted  $R^2 = 0.95$ ), where tb = total biomass (kg plant<sup>-1</sup>),  $d_{15}$  = diameter of the trunk at 15 cm above the soil (cm), and h = total height (m).

## INTRODUCCIÓN

La biomasa está considerada como un parámetro importante en la caracterización de los ecosistemas, ya que refleja su capacidad de acumular materia orgánica durante un determinado período (Sarmiento 1984). Además, al igual que el aumento en la vegetación, es un componente esencial para la estimación del secuestro de carbono (Eamus *et al.* 2000). Frecuentemente, la biomasa se estima

empleando técnicas alométricas (análisis dimensional) (Eamus *et al.* 2000); los modelos alométricos expresan la biomasa del árbol como una función de parámetros fácilmente medibles, tales como el diámetro del tallo a la altura de pecho (dap), la altura total (h) o el área basal del tallo ( $AB; \pi \text{dap}^2/4$ ) o bien, una combinación de estos (Crow 1978, Van Lear *et al.* 1984).

<sup>1</sup> Basado en Suárez, D. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc., Turrialba, CR, CATIE.

<sup>2</sup> M.Sc. en Socioeconomía Ambiental. CATIE, Sede Central. Correo electrónico: dasuarezp@yahoo.com

<sup>3</sup> Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono para Centroamérica. CATIE/Universidad de Helsinki. Correo electrónico: msegura@catie.ac.cr (autora para correspondencia).

<sup>4</sup> Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. Correo electrónico: m.kanninen@cgiar.org

En general, dichos modelos se han desarrollado para su aplicación en bosques naturales y plantaciones forestales, siendo desconocida su aplicabilidad en sistemas agroforestales (SAF), donde la densidad (árboles ha<sup>-1</sup>) es baja y, por ende, la competencia entre árboles también. Esta última afecta la forma y tamaño del tallo y de la copa. Además, el manejo de los árboles en SAF es intensivo, para minimizar su influencia competitiva sobre el cultivo. Por esta razón, hacen falta procedimientos alométricos capaces de proveer estimaciones más precisas y confiables de la producción de biomasa en SAF, que tomen en cuenta la influencia que pueden tener las estrategias de manejo sobre la forma de los árboles (Lott *et al.* 2000) y plantas de café. En el presente estudio, se desarrollaron modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total en los árboles de sombra más comunes y plantas de café en SAF de café en Matagalpa, Nicaragua.



Medición de biomasa de plantas de café en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua (foto: Damaris Suárez).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la comarca Yassica Sur (85°50'00"N y 12°55'30"O), Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. El área de estudio corresponde a bosque húmedo (MAG-FOR 1994). La precipitación oscila entre 1600 y 2000 mm anuales; la temperatura máxima es de 35 °C (marzo a mayo) y la mínima de 16 °C (noviembre a febrero); la altura sobre el nivel del mar varía de 400 a 1000 m. Los suelos son Alfisoles y Molisoles de textura franco arcillosa, franco limosa y arcillo limosa (Aragón y Arauz 2000). Se caracteriza por ser la principal región cafetalera, donde se concentra la mayor parte de la población del municipio.



Sistemas agroforestales en asocio con café (*Coffea arabica*) y laurel (*Cordia alliodora*) (foto: Damaris Suárez).

Se visitaron instituciones, proyectos y organizaciones de la zona para obtener una lista marco de productores, a partir de la cual se agruparon aquellas con un área  $\geq 0,7$  ha, de las cuales se seleccionaron aleatoriamente 37 fincas

cafetaleras. Los sistemas de producción variaron en número y composición de especies del estrato sombra, tipo de manejo, edad, área de la plantación, variedad y densidad del café (*Coffea arabica*). En plantaciones pequeñas (<14 ha), el estrato sombra se caracteriza por tener una gran variedad de especies, entre ellas *Musa* spp., *Persea americana* (aguacate), *Citrus* spp. (cítricos), *Mangifera indica* (mango), maderables como *Cordia alliodora* (laurel), *Juglans olanchana* (nogal), *Platymiscium dimorphandrum* (coyote), *Albizia* sp. (gavilán), y especies de servicio como *Inga tonduzzi* (guaba roja) e *Inga punctata* (guaba negra). En plantaciones grandes (>35 ha), las especies del género *Inga* spp. predominan en el estrato sombra, en asocio con *Musa* spp. y/o árboles de regeneración natural, aunque la variabilidad de estos es menor. En plantaciones medianas (14-35 ha), el estrato sombra puede tener las características de las pequeñas o grandes plantaciones, o una mezcla de ambas.

Entre junio y julio, se realizó un muestreo en las fincas seleccionadas para identificar las especies de sombra más abundantes. En cada finca, se establecieron al azar una o dos parcelas temporales de muestreo (PTM), dependiendo del área de cultivo del café. Las parcelas eran cuadradas, con un área de 1000 m<sup>2</sup> cada una, para un total de 66 parcelas. Se midió el dap y la h de los árboles, y se identificó cada especie.

Se agruparon las especies dominantes del estrato sombra, que juntas contribuyen más del 50% del AB total de las parcelas. En 22 fincas, se seleccionó un total de 35 individuos (5 - 44 cm dap) de las cuatro especies dominantes, distribuidos en diferentes clases diamétricas (Cuadro 1). Se cortaron y pesaron por separado los componentes (hojas, ramas < 2 cm y ≥ 2 cm, y fuste). De

igual manera se procedió con las plantas de café, donde se seleccionaron de forma aleatoria 96 plantas en 24 fincas (2 - 10 plantas por finca), se les midió la h y el diámetro del tronco a 15 cm del suelo ( $d_{15}$ ). Se cortaron y pesaron por separado las hojas, las ramas y el tronco principal. Se tomó una muestra de 250 g por componente de cada planta; se secó en horno a 60 °C por 48 horas para determinar la materia seca (%MS) y calcular la biomasa por componente. Luego, con la suma de la biomasa seca de cada componente se obtuvo la biomasa aérea total ( $B_T$ ) por árbol o por planta de café. Estos muestreos destructivos se hicieron durante la estación lluviosa y antes de la cosecha de café, cuando el follaje de los árboles está en sus máximos anuales.

Se graficaron los valores de dap (o  $d_{15}$ ) y h con la  $B_T$  para cada grupo de datos con el fin de analizar su tendencia. Todos los árboles fueron evaluados como un solo grupo, aunque fueran de diferentes especies. Luego, se probaron modelos de tipo exponencial, logarítmico, semilogarítmico y cuadrático, relacionando la variable dependiente ( $B_T$ ) con las independientes (dap,  $d_{15}$  y h), tanto para los árboles como para las plantas de café. La selección de modelos se realizó mediante el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ -ajustado), prueba de  $F$  (análisis de varianza), cuadrado medio del error (CME) y la lógica biológica del modelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 67 especies arbóreas en el estrato sombra de los SAF, de las cuales cuatro fueron las dominantes (54% de área basal total; Cuadro 1). Estas especies fueron consideradas para desarrollar los modelos alométricos de  $B_T$  en árboles.

**Cuadro 1.** Número de árboles por especie y clase diamétrica muestreados en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua

Nombre científico	Nombre común	Individuos muestreados por clase diamétrica (cm)				Total	Área basal en parcelas		N (árboles ha <sup>-1</sup> )
		5 - <10	≥10 - <15	≥15 - <20	≥ 20		(m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	(%)	
<i>Inga tonduzzi</i>	Guaba roja	2	3	2	3	10	1,0	17	33
<i>Inga punctata</i>	Guaba negra	0	2	3	2	7	1,1	18	67
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	2	2	1	5	10	0,7	13	21
<i>Juglans olanchana</i>	Nogal	2	2	1	3	8	0,3	6	5
Otras especies <sup>(2)</sup>		0	0	0	0	0	2,7	46	95
<b>Total</b>		6	9	7	13	35	5,8	100	221

<sup>(2)</sup> Las más importantes son: *Persea americana*, *Heliocarpus appendiculatus*, *Erythrina guaco*, *Albizia* sp., *Mangifera indica*, *Cedrela odorata*, *Gliciridia sepium*, *Lonchocarpus salvadorensis*, y *Guazuma ulmifolia*, para un total de 63 especies.

Los árboles seleccionados para desarrollar el modelo alométrico variaron entre 5 y 44 cm en el dap y de 3,5 a 635 kg en la biomasa (Cuadro 2). En promedio, la biomasa del fuste contribuye en un 52% a la  $B_T$  por árbol (lo que representa  $68 \pm 21,3$  kg), seguida por las ramas  $\geq 2$  cm, con un 33% ( $41,0 \pm 2,4$  kg), ramas  $< 2$  cm con un aporte de 6% ( $8,2 \pm 1,9$  kg) y, por último, las hojas, que representan un 8% ( $10,8 \pm 8,5$  kg).

Se encontró una alta correlación entre la  $B_T$  y el dap ( $r = 0,93$ ;  $p < 0,001$ ; Fig. 1a), similar a la de otros estudios (Saldarriaga *et al.* 1994). Sin embargo, entre la  $h$  y la  $B_T$  se presentó una correlación baja ( $r = 0,48$ ;  $p < 0,001$ ; Fig. 1b). El hecho de que la  $h$  no explique en gran medida la variabilidad de la  $B_T$  en árboles podría deberse a la alteración de las copas por los tratamientos de podas que reciben frecuentemente para regular el efecto de sombra en el cultivo, además de las diferentes arquitecturas de copa y de los errores de medición.

Los modelos con transformaciones logarítmicas resultaron ser los de mejor ajuste, con valores altos de  $R^2$  ajustados entre 0,82 y 0,94 (Cuadro 3). Se pueden diseñar muchos modelos de regresión para estimar

biomasa, pero son pocos los que cumplen las consideraciones estadísticas, de precisión y de utilidad práctica (Saldarriaga *et al.* 1994).

Con la transformación logarítmica, los parámetros de la ecuación pueden ser estimados usando procedimientos de mínimos cuadrados (Parresol 1999, Eamus *et al.* 2000) y el problema de la heterocedasticidad de la varianza de la variable dependiente puede ser corregida (Causton 1985, Saldarriaga *et al.* 1994, Eamus *et al.* 2000). Debido a la estrecha relación existente entre la  $B_T$  y el dap, autores como Bartelink (1996), Clough y Scott (1989) y Kanninen y Pérez (2002) han utilizado estos modelos como predictores de la  $B_T$  en otras especies en diferentes condiciones.

La Ecuación 4 (Cuadro 3) fue la de mejor ajuste (Fig. 1a), con el  $R^2$  ajustado más alto y el valor más bajo del CME, lo cual indica que la diferencia entre los valores observados de la biomasa y los estimados por el modelo es menor en comparación con la Ecuación 2 y el resto de los modelos. Los valores estimados por la Ecuación 4 (Fig. 1c) se ajustan bien a los valores reales de la biomasa de los árboles.

**Cuadro 2.** Dimensiones y biomasa aérea total de los principales árboles de sombra en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua

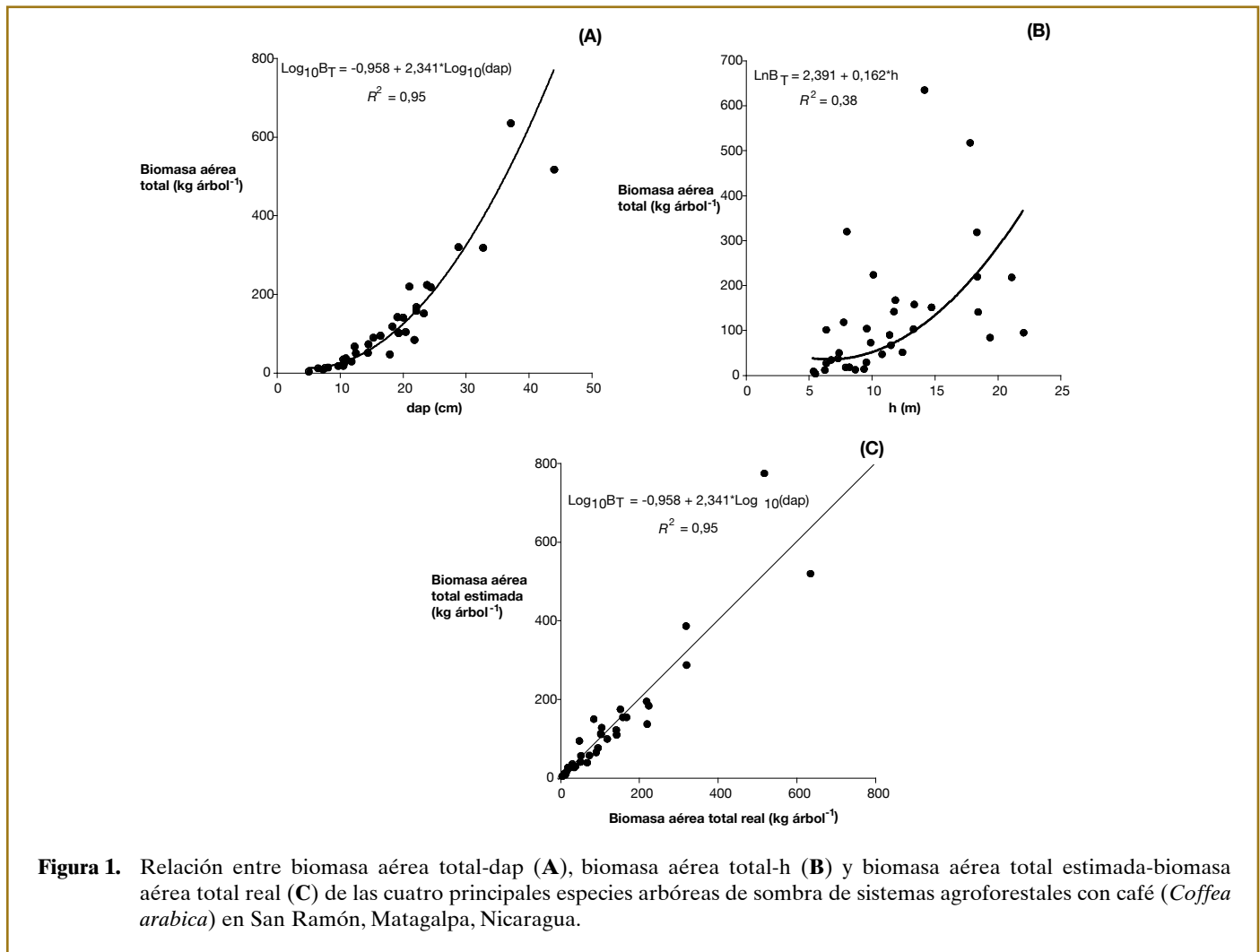
Especie	N	dap (cm)		h (m)		Biomasa aérea total (kg)	
		Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
<i>Juglans olanchana</i>	8	17,0 (9,5)	7,3-37,1	10,8 (4,2)	5,4-18,4	142 (207)	9-635
<i>Inga punctata</i>	7	18,9 (5,9)	10,9-28,8	10,2 (5,4)	6,4-22,0	138 (99)	37-320
<i>Inga tonduzzi</i>	10	15,1 (6,2)	5,0-22,1	10,9 (4,0)	5,5-18,4	89 (69)	3-219
<i>Cordia alliodora</i>	10	20,1 (11,8)	7,6-44,0	13,5 (5,4)	6,4-21,1	141 (167)	13-517
Total	35	17,7 (8,7)	5,0-44,0	11,5 (4,7)	5,5-22,0	126 (141)	3-635

N = Número de individuos; dap = diámetro a la altura de pecho; h = altura total; desviación estándar entre paréntesis.

**Cuadro 3.** Modelos de mejor ajuste para estimar la biomasa aérea total de los cuatro árboles dominantes de sombra, en función del dap, en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua

Ecuación	Modelo	Parámetros		$R^2$	$R^2$ ajustado	CME
		a	b			
1	$\ln(B_T) = a + b*(dap)$	2,00 (0,20)	0,13 (0,01)	0,83	0,82	0,26
2	$\ln(B_T) = a + b*\ln(dap)$	-2,21 (0,27)	2,34 (0,10)	0,94	0,94	0,08
3	$\log_{10}(B_T) = a + b*(dap)$	0,87 (0,09)	0,05 (0,004)	0,82	0,82	0,05
4	$\log_{10}(B_T) = a + b*\log_{10}(dap)$	-0,96 (0,12)	2,34 (0,10)	0,94	0,94	0,02

$\log_{10}$  = Logaritmo con base 10;  $\ln$  = Logaritmo natural;  $B_T$  = biomasa aérea seca total (kg); dap = diámetro del tallo a la altura de pecho (cm); a y b = parámetros del modelo;  $R^2$  = coeficiente de determinación; CME = cuadrado medio del error. Desviación estándar de parámetros entre paréntesis.



### Modelos de biomasa aérea total en plantas de café

Las plantas de café seleccionadas para la construcción de los modelos variaron entre 0,3 y 3,3 m de h; entre 0,3 y 7,4 cm en  $d_{15}$ , y entre 4,6 y 2819 g en  $B_T$ . Del total de plantas de café muestreadas, el 19% fueron plantas podadas con dos o más tallos (rebotes), originados a partir del tronco principal podado, lo cual indica que se trataba de plantas recepadas; es decir, plantas formadas por uno o dos troncos de 25-70 cm de longitud y de 2,7-7,7 cm de  $d_{15}$ , con uno o varios rebotes. Estos rebotes contribuyen con el 31% de la  $B_T$  de las plantas recepadas, mientras que las hojas, ramas y tronco lo hacen con el 15, 17 y 38%, respectivamente. Las plantas sin poda (sin recepa) representan el 81% de la muestra total; en este caso, las ramas contribuyen con el 20% del  $B_T$ , el tallo con 63%, y las hojas con el 17% (Cuadro 4).

Los modelos para estimar la  $B_T$  en función del  $d_{15}$  y/o la h presentaron buen ajuste con valores de  $R^2$  ajustados entre 0,94 y 0,95 (Cuadro 5). La Ecuación 8, con transformación logarítmica en todas sus variables, es la que mejor predice la  $B_T$  de las plantas de café muestreadas, con el valor más alto de  $R^2$  ajustado y CME más bajo (Cuadro 5, Fig. 2c).

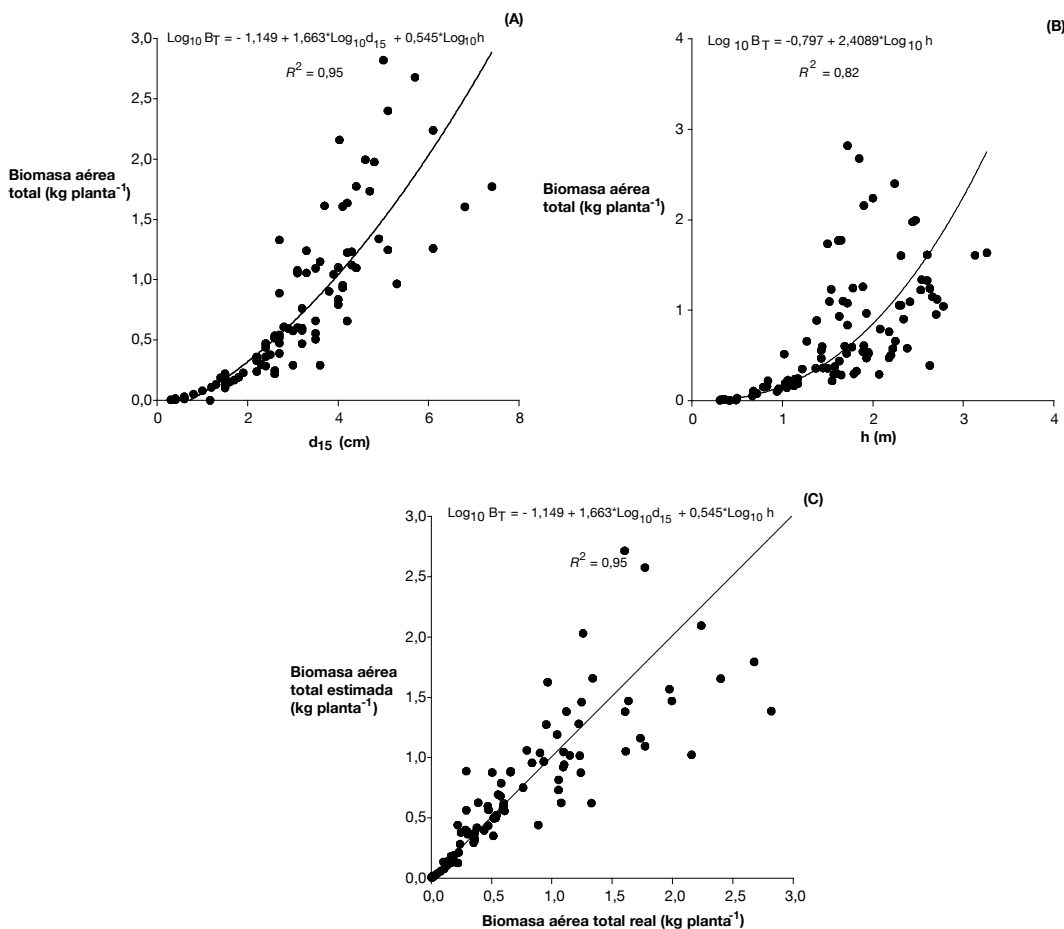
La Ecuación 8 presenta el mejor ajuste gracias a la inclusión de dos variables independientes ( $d_{15}$  y h), además de la transformación logarítmica de sus variables. Según Saldarriaga *et al.* (1994), para obtener una mayor precisión de los estimados se pueden introducir más variables en la ecuación de regresión, pero la inclusión de varias variables independientes, como el dap y la h, puede llevar a problemas de colinealidad. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la correlación entre estas dos variables es baja, lo cual puede ser explicado por los tratamientos de poda que reciben las plantas.

**Cuadro 4.** Características dasonométricas y  $B_T$  de las plantas de café (*Coffea arabica*) muestreadas en sistemas agroforestales en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua ( $N = 96$ )

Variable	Plantas sin recepa ( $N = 78$ )		Plantas recepadas ( $N = 18$ )		Total ( $N = 96$ )	
	Rango	Promedio ( $\pm s$ )	Rango	Promedio ( $\pm s$ )	Rango	Promedio ( $\pm s$ )
Altura total (m)	0,3-3,3	1,6 (0,7)	1,1-2,6	1,8 (0,4)	0,3-3,3	1,6 (0,7)
$d_{15}$ (cm)	0,3-7,4	2,7 (1,4)	1,7-6,8	3,9 (1,5)	0,3-7,4	3,0 (1,5)
Biomasa ramas (g)	0,3-857	115 (131)	52-821	270 (185)	0,3-857	144 (154)
Biomasa tallo (g)	2-1269	365 (331)	149-998	497 (267)	2-1269	390 (323)
Biomasa hojas (g)	2-421	95 (79)	229-592	238 (148)	2-592	125 (109)
Biomasa troncos (g)	—	—	283-1269	619 (248)	269-283	619 (248)
Biomasa aérea total (g)	5-2238	656 (584)	166-2819	1108 (840)	5-2819	741 (659)

$s$  = Desviación estándar (entre parentésis).

Se presentó una correlación alta ( $r = 0,84$ ) entre la  $B_T$  y  $d_{15}$  (Fig. 2a), mientras que con la  $h$  esta fue menor ( $r = 0,63$ ) (Fig. 2b) ( $p < 0,001$ ).



**Figura 2.** Relación entre biomasa aérea total- $d_{15}$  (A), biomasa aérea total-h (B) y biomasa aérea total estimada-biomasa aérea total real (C) de las plantas de café (*Coffea arabica*) en sistemas agroforestales en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua.

**Cuadro 5.** Modelos de mejor ajuste para estimar  $B_T$  en plantas de café (*Coffea arabica*) en sistemas agroforestales en San Ramón, Matagalpa, Nicaragua

Ecuación	Modelo	Parámetros			$R^2$	$R^2$ ajustado	CME
		a	b	c			
5	$\text{Ln}(B_T) = a + b \cdot \text{Ln}(d_{15})$	-2,79 (0,06)	2,05 (0,05)		0,94	0,94	0,14
6	$\text{Log}_{10}(B_T) = a + b \cdot \text{Log}_{10}(d_{15})$	-1,21 (0,03)	2,05 (0,05)		0,94	0,94	0,03
7	$\text{Ln}(B_T) = a + b \cdot \text{Ln}(d_{15}) + c \cdot \text{Ln}(h)$	-2,65 (0,07)	1,66 (0,11)	0,54 (0,14)	0,95	0,95	0,12
8	$\text{Log}_{10}(B_T) = a + b \cdot \text{Log}_{10}(d_{15}) + c \cdot \text{Log}_{10}(h)$	-1,15 (0,03)	1,66 (0,11)	0,54 (0,14)	0,95	0,95	0,02

Ln = logaritmo natural;  $\text{Log}_{10}$  = logaritmo con base 10;  $B_T$  = biomasa aérea total (kg);  $d_{15}$  = diámetro del tronco a 15 cm del suelo (cm); h = altura total de la planta (m). Desviación estándar de parámetros entre paréntesis.

Las plantas de café, con excepción de las plantas jóvenes (<3 años), reciben tratamientos de poda como parte del manejo cultural de la plantación. La intensidad de la poda puede ser parcial, lo cual implica el desprendimiento de la parte terminal del tallo o las ramas viejas del resto de la planta, con el fin de inducir el desarrollo de nuevas ramas o bandolas y obtener mayores niveles de producción por planta. En cambio, al renovar las plantas viejas o enfermas de una plantación se lleva a cabo una poda total; es decir, las plantas son recepadas para obtener rebrotes que sustituyen la planta original. Este manejo aumenta la variabilidad de los datos y los ajustes de los modelos, especialmente para plantas de mayor  $d_{15}$  (mayor biomasa), las cuales son también las mayores de edad y, por lo tanto, en la mayoría de los casos, las recepadas (Cuadro 4).

Sin embargo, un modelo más simple, que exige menos esfuerzo de medición en el campo (modelo 6; mide solo  $d_{15}$ ), ofrece una precisión muy semejante y podría ser la mejor opción. Al comparar los valores de la biomasa real con los estimados por el modelo de mejor ajuste, los valores simulados se ajustan a la recta, lo cual indica que la mayor parte de los valores estimados están muy cerca del valor real (Fig. 2c).

## CONCLUSIONES

- El modelo alométrico de mejor ajuste para estimar la  $B_T$  de árboles de sombra de café proporciona estimaciones consistentes y relaciones lógicas entre el dap y la  $B_T$ , ya que más del 90% de la variabilidad encontrada en la  $B_T$  es explicada por el dap. Además, es un modelo práctico, ya que considera un parámetro fácilmente mensurable en el campo, como lo es el dap. Su aplicación en otras especies y bajo diferentes condiciones agroecológicas debe ser verificada primero.
- El modelo de mejor ajuste de  $B_T$  en café también proporciona estimaciones consistentes y relaciones lógicas entre el  $d_{15}$  y la h con la  $B_T$ . Aunque se requieren datos de h y  $d_{15}$  de los cafetos para emplearlo, es un modelo muy práctico. Su aplicación en plantas con características diferentes a las de este estudio debe ser comprobada.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento al Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono para Centroamérica (LUCCAM) de la Academia de Finlandia por el apoyo financiero (becas número 67843 y 201566) y científico en esta investigación; al proyecto CATIE-MIP/NORAD, Nicaragua, por la beca para realizar estudios de maestría y el apoyo logístico; a los productores cafetaleros de la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua, por la colaboración brindada en la fase de campo, y a Hernán J. Andrade (estudiante de Ph.D. del programa CATIE/UWB) por sus valiosos aportes al documento.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aragón, OIA; Arauz, UJA. 2000. Balance aparente de nutrientes (N, P, K) en dos unidades de producción ubicadas en el municipio de San Ramón, departamento de Matagalpa, durante el período 1997-1999. Tesis Ing., Managua, NI, Universidad Nacional Agraria. 85 p.
- Bartelink, HH. 1996. Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas fir. *Forest Ecology and Management* 86: 193-203.
- Causton, DR. 1985. Biometrical, structural and physiological relationship among tree parts. In Cannell, MGR; Jackson, JE. eds. *Attributes of trees as crop plants*. Inst. Terrestrial Ecology, Huntingdon. 137-159 p.
- Clough, BF; Scott, K. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management* 27: 117-127.
- Crow, TR. 1978. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. *Forest Science* 24: 110-114.
- Eamus, D; McGuinness, K; Burrows, W. 2000. Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and western Australia. National Carbon Accounting System. 56 p. (Technical report No. 5a).
- Kanninen, M; Pérez, LD. 2002. Wood specific gravity and aboveground biomass of *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 165: 1-9.
- Lott, JE; Howard, SB; Black, CR; Ong, CK. 2000. Allometric estimation of above-ground biomass and leaf area in managed *Grevillea robusta* agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 49: 1-15.
- MAG-FOR. 1994. Marco geográfico y microlocalización de la franja granífera de San Ramón- Esquipulas del departamento de Matagalpa. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Alimentario Nicaragüense, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Septiembre, 1994.
- Marín, C. 1997. Nicaragua, Potencialidades y limitaciones de sus territorios. Ministerio de agricultura y ganadería (MAG-FOR). Dirección general de información y apoyo al productor. Dirección de Servicios Territoriales. Octubre, 1997. 170 p.
- Parresol, BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573-593.
- Saldarriaga, JG; María, OJP; Louis, WHJ. 1994. Evaluation of regression models for aboveground biomass determination in the Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology* 10: 207-218.
- Sarmiento, G. 1984. Los ecosistemas y la ecosfera. Barcelona, Editorial Blume, 272 p.
- Van Lear, DH; Waide, JB; Trueke, MJ. 1984. Biomass and nutrient content of a 41 year old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation on a poor site in South Carolina. *Forest Science* 30: 395-404.