

1 **Modelos de biomasa arriba del suelo para arbustos de café (*Coffea arabica*) en el Líbano, Tolima,**  
2 **Colombia**

3  
4 Hernán J. Andrade C.<sup>a\*</sup>, Mateo Feria<sup>a</sup>, Wilber Suárez<sup>a</sup>, Milena A. Segura<sup>b</sup>

5  
6 \*Autor de correspondencia: <sup>a</sup>Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Barrio Santa  
7 Helena, Ibagué, Colombia, [hjandrade@ut.edu.co](mailto:hjandrade@ut.edu.co)

8 <sup>b</sup>Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal, Ibagué, Colombia  
9

10 **RESUMEN**

11  
12 Los modelos de biomasa son herramientas útiles y prácticas para estimar la biomasa de plantas  
13 leñosas perennes en sistemas de uso del suelo mitigadores del cambio climático, tal como los cafetales.  
14 En Colombia, no se han desarrollado modelos de biomasa para arbustos de café. Se construyeron  
15 modelos alométricos para estimar la biomasa arriba del suelo de cafetos (*Coffea arabica* L.) en cv.  
16 Caturra y Castillo en los sistemas de producción de café más dominantes del Municipio del Líbano,  
17 Tolima, Colombia. Se muestrearon 40 plantas de los dos cultivares en: 1) monocultivo; 2) sistemas  
18 agroforestales (SAF) con plátano (*Musa* AAB); 3) SAF con nogal cafetero (*Cordia alliodora*); y 4)  
19 orgánico. Los arbustos fueron medidos (diámetro del tronco a 15 cm de altura - $D_{15}$ - y altura total - $ht$ ),  
20 cortados al nivel del suelo y estimada su biomasa gravimétricamente por componente (troncos, ramas,  
21 hojas y frutos). Se realizaron análisis de correlación entre variables dependientes e independientes y se  
22 probaron modelos genéricos con variables lineales y transformadas. Se encontraron modelos de  
23 biomasa por componente y total, en general y por cultivar, con muy buen ajuste. Los modelos de mejor  
24 ajuste, en todos los casos, incluyeron al  $D_{15}$  y  $ht$  como variables independientes; sin embargo, para  
25 propósitos prácticos se desarrolló un modelo de biomasa total en general (ambos cultivares) con base  
26 en el  $D_{15}$  exclusivamente ( $B = 0,36 - 0,18 * D_{15} + 0,08 * D_{15}^2$ ; dónde B: biomasa total arriba del suelo  
27 (kg/planta) y  $D_{15}$ : diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm)).  
28

29 **Palabras clave:** Alometría, cambio climático, hojas, ramas, tronco.  
30  
31

32 **INTRODUCCIÓN**

33

34 Los sistemas agroforestales con café son una de las estrategias de mitigación y adaptación al  
35 cambio climático, ya que el carbono atmosférico puede ser capturado en la biomasa de las especies  
36 leñosas perennes (Brown 1996, Albrecht y Kandji 2003, Beer *et al.* 2003, Montagnini y Nair 2004,  
37 Oelbermann *et al.* 2004, Soto-Pinto *et al.* 2010), y pueden ser incluidos como proyectos LULUCF (Uso  
38 del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Forestería, en inglés) en el marco del MDL (Mecanismo de  
39 Desarrollo Limpio) en el Protocolo de Kioto (Pearson *et al.* 2005). Igualmente, los sistemas  
40 agroforestales pueden ser opciones para mitigar el cambio climático al proveer bioenergía que sustituya  
41 el uso de combustibles fósiles y ayuden a conservar bosques (Verchot *et al.* 2005). Información sobre  
42 producción de biomasa es importante también para la selección y manejo de los árboles para una  
43 productividad mejorada y ciclos de nutrientes y carbono eficientes en sistemas agroforestales (Dossa *et*  
44 *al.* 2008) y en monocultivos.

45 La estimación de biomasa arbórea en el trópico es una actividad demandante de tiempo,  
46 especialmente por la medición de ciertos componentes de biomasa como el follaje y las ramas  
47 (Quintero y Ataroff 1998, Segura *et al.* 2006, Dossa *et al.* 2008). Los modelos alométricos son  
48 relaciones matemáticas que estiman la biomasa total o por componente con base en variables de  
49 individuos en pie como el diámetro del tronco y/o la altura total (Parresol 1999, Segura y Andrade  
50 2008). Las estimaciones de la biomasa aérea requieren que los modelos sean preferiblemente locales  
51 (Eamus *et al.* 2000), debido a alteraciones en la forma y arquitectura de los árboles causadas por  
52 prácticas silviculturales de manejo en los árboles en sistemas agroforestales (Segura *et al.* 2006) y otros  
53 sistemas de producción (Lott *et al.* 2000). Dado el potencial de que los pequeños productores se puedan  
54 beneficiar de mercados emergentes en carbono en biomasa y suelos, es importante tener herramientas y  
55 datos sobre el almacenamiento y dinámica del carbono en los diferentes agroecosistemas (Dossa *et al.*  
56 2008).

57 En Colombia, no existen modelos de biomasa aérea para café, a diferencia de otros países,  
58 como Nicaragua (Segura *et al.* 2006) e Indonesia (Hairiah *et al.* 2002), en donde ya se han  
59 desarrollado. Este artículo presenta modelos alométricos para estimar la biomasa arriba del suelo de  
60 plantas de café (*Coffea arabica* L.) en cultivares Caturra y Castillo en los sistemas de producción de  
61 café más dominantes del Municipio del Líbano, Tolima.

62

63

64 **MÉTODOS**

65

66 El estudio se desarrolló en el municipio del Líbano, el cual tiene una alta vocación cafetera y  
 67 reúne un variado grupo de sistemas de producción presentando los dos cultivares de café (Caturra y  
 68 Castillo). El Líbano se encuentra a una altitud de 1.565 m, y presenta una precipitación media de 2.235  
 69 mm/año y un clima templado húmedo con una temperatura media de 19,1°C (IDEAM 2010). El área  
 70 presenta suelos Andisoles, con buenas características físicas, alta fertilidad natural, topografía ondulada  
 71 a fuertemente ondulada, pendientes entre 25% y 60% y suelos entisoles e inceptisoles cascajosos y  
 72 superficiales, sectores con fertilidad natural media, suelos profundos, topografía abrupta, pendientes  
 73 superiores al 70%, longitudes largas y altamente susceptibles a la erosión (CIAT 2011).

74 Se seleccionaron un total de 40 plantas de café, de un variado rango de tamaños, cinco por  
 75 cultivar (Caturra y Castillo) y por cada uno de los siguientes sistemas de producción: 1) café en  
 76 monocultivo; 2) sistemas agroforestales (SAF) con sombra plátano (*Musa* AAB); 3) SAF con sombra  
 77 nogal cafetero (*Cordia alliodora*); y 4) orgánico. Estos sistemas son los más dominantes en el  
 78 municipio del Líbano (Arango - com. pers.). Cada arbusto fue medido en pie (diámetro del tronco a 15  
 79 cm de altura  $-D_{15}$ - y altura total  $-ht$ ) y cortado al nivel del suelo. En caso de encontrar plantas  
 80 soqueadas (con poda de renovación), se midió el  $D_{15}$  en el rebrote y el diámetro del tronco al nivel del  
 81 suelo, la  $ht$  y la altura de la soca. Cada planta se separó en componentes (tronco, ramas, hojas, flores y  
 82 frutos), los cuales fueron pesados en fresco y se tomó una submuestra 200 g aproximadamente para  
 83 estimar materia seca (60°C hasta llegar a peso constante). La biomasa total arriba del suelo fue la  
 84 sumatoria de la biomasa de los componentes.

85 Los modelos fueron desarrollados siguiendo la metodología propuesta por Segura y Andrade  
 86 (2008) para leñosas perennes. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) entre la biomasa  
 87 total por componente (tronco, ramas y hojas) y por las variables independientes ( $D_{15}$  y  $ht$ ). Regresiones  
 88 lineales con variables transformadas y sin transformar fueron usadas. Los modelos fueron  
 89 seleccionados de acuerdo a: 1) mayor  $R^2$  (coeficiente de determinación), 2) mayor  $R^2_{aj}$  ( $R^2$  ajustado),  
 90 3) menor raíz del cuadrado medio del error (RCME), 4) menor error cuadrático medio de predicción  
 91 (ECMP), y 5) lógica biológica del modelo. En cada modelo, se calificaron cada uno de estos primeros  
 92 cuatro criterios para tener un indicador que los reuniera. Adicionalmente, estos modelos fueron  
 93 comparados con los generados por Segura *et al.* (2006) en Nicaragua:  $B = -0,357 + 0,371 * D_{15}$   
 94 (Ecuación 1) y  $\text{Log } B = -1,181 + 1,991 * \text{Log } (D_{15})$  (Ecuación 2); donde B: biomasa total arriba del  
 95 suelo (kg/planta) y  $D_{15}$ : diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm). No fue posible comparar los

96 modelos obtenidos en este estudio con el desarrollado por Hairiah *et al.* (2002), el otro modelo de  
 97 biomasa encontrado en la literatura internacional, ya que éstos fueron con base en el diámetro del  
 98 tronco a la altura del pecho (dap). En las comparaciones de medias, se emplearon pruebas *t* de *Student*  
 99 y análisis de varianza con pruebas de Tukey. Los valores en porcentaje fueron normalizados usando la  
 100 transformación angular. Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados en Infostat.

101

## 102 RESULTADOS

103

104 Se muestreó plantas de café con un rango de  $D_{15}$  y  $ht$  de 0,6 a 8,0 cm y 0,46 a 3,0 m,  
 105 respectivamente, las cuales tenían un biomasa total arriba del suelo promedio de 1,3 kg/planta (0,02 a  
 106 4,87 kg/planta; Tabla 1). La mayoría (60%) de la biomasa total arriba del suelo se encontró en el tronco  
 107 de las plantas muestreadas ( $1,0 \pm 0,8$  vs  $0,5 \pm 0,8$  kg/planta para Caturra y Castillo, respectivamente). La  
 108 plantas de Caturra y Castillo no presentaron diferencias estadísticas ( $P = 0,158$ ) en la distribución de  
 109 biomasa, con un 41 y 39%, respectivamente, de ésta en su copa (ramas, hojas y frutos; Tabla 1); es  
 110 decir, las plantas de ambos cultivares con el mismo diámetro y altura presentarían una biomasa de copa  
 111 similar. El cultivar Castillo posee más biomasa, en términos proporcionales, en sus hojas que la var.  
 112 Caturra (20 vs 15%, respectivamente, de la biomasa total arriba del suelo).

113

114 **Tabla 1.** Rango de tamaños de plantas de café cv. Caturra y Castillo muestreadas para el desarrollo de  
 115 modelos de biomasa total arriba del suelo en el Líbano, Tolima, Colombia.  $D_{15}$  = diámetro del tronco a  
 116 una altura de 15 cm,  $ht$  = altura total.

Variable	Cultivar de café	
	Caturra	Castillo
N	20	20
$D_{15}$ (cm)	1,0 – 8,0	0,6 – 8,0
$ht$ (m)	0,60 – 2,36	0,46 – 3,00
Biomasa (kg/planta)		
Tronco	0,02 – 2,53	0,01 – 3,45
Ramas	0,01 – 2,06	0,01 – 0,80
Hojas	0,01 – 0,87	0,01 – 0,74
Frutos	0,00 – 0,08	0,00 – 0,08
Total	0,06 – 4,36	0,02 – 4,87

117

118 La biomasa total arriba del suelo se correlacionó altamente con el  $D_{15}$  y medianamente con la  
 119  $ht$  ( $0,85 < r < 0,90$  y  $0,60 < r < 0,90$ , respectivamente; Tabla 2). Como era de esperarse, la biomasa de  
 120 los troncos fue mejor explicada por las variables independientes ( $D_{15}$  y  $ht$ ) que la de hojas y ramas (con  
 121  $r$  de 0,83 vs 0,70 vs 0,68, respectivamente). En la cv. Castillo, la biomasa (total y por componentes)  
 122 estuvo mejor correlacionada al  $D_{15}$  y  $ht$  que en la cv. Caturra (con  $r$  de 0,87 vs 0,78 y 0,87 vs 0,54 para  
 123  $D_{15}$  y  $ht$ , respectivamente; Tabla 2). Los sistemas de producción de café no tuvieron un impacto  
 124 significativo en la relación entre la biomasa arriba del suelo y  $D_{15}$  ni en el porcentaje de biomasa en  
 125 copa de las plantas muestreadas ( $P = 0,084$  y  $P = 0,191$ , respectivamente). Similarmente, el cultivar no  
 126 afectó la relación entre la biomasa arriba del suelo y  $D_{15}$  ni el porcentaje de biomasa en copa ( $P = 0,291$   
 127 y  $P = 0,090$ ).

128

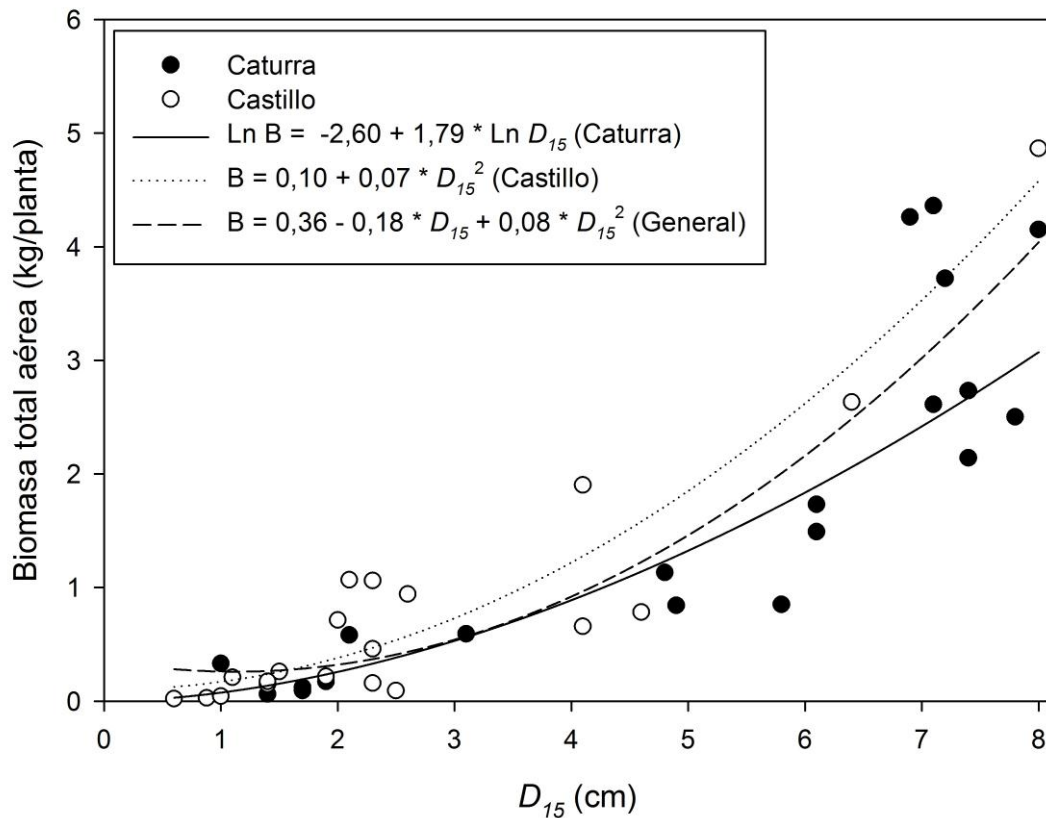
129 **Tabla 2.** Correlación (Coeficiente de Pearson -  $r$ ) entre la biomasa total arriba del suelo, de troncos,  
 130 ramas y hojas y el diámetro del tronco a 15 cm de altura y altura total en plantas de café cv. Caturra y  
 131 Castillo creciendo en diferentes sistemas de producción en el Líbano, Tolima, Colombia.  $D_{15}$ : diámetro  
 132 del tronco a 15 cm de altura del suelo;  $ht$ : altura total. Todos los valores de coeficientes de Pearson  
 133 presentaron  $P < 0,001$ .

Biomasa	Caturra		Castillo		General	
	$D_{15}$	$ht$	$D_{15}$	$ht$	$D_{15}$	$ht$
Tronco	0,93	0,66	0,86	0,86	0,89	0,78
Ramas	0,63	0,43	0,83	0,94	0,70	0,55
Hojas	0,69	0,48	0,89	0,79	0,75	0,61
Total	0,85	0,60	0,90	0,90	0,88	0,73

134

135 Los mejores modelos alométricos para estimar la biomasa total arriba del suelo de plantas de  
 136 café en general, y por cultivar (Caturra y Castillo), basados únicamente el  $D_{15}$ , se pueden observar en la  
 137 Figura 1. En términos generales, las estimaciones de biomasa total arriba del suelo con los dos  
 138 modelos, para cada cultivar, son muy similares y podrían realizarse con el modelo general obtenido, el  
 139 cual se incluye para propósitos prácticos ( $B = 0,36 - 0,18 * D_{15} + 0,08 * D_{15}^2$ ; dónde B: biomasa total  
 140 arriba del suelo (kg/planta) y  $D_{15}$ : diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm); Figura 1 y Tabla 3). Sin  
 141 embargo, al incluirse la  $ht$  como segunda variable independiente se mejoró notablemente el ajuste de

142 los modelos alométricos (Cuadro 3). Con el mismo  $D_{15}$ , la biomasa total arriba del suelo de las plantas  
 143 de café var. Castillo fue mayor que en Caturra.  
 144



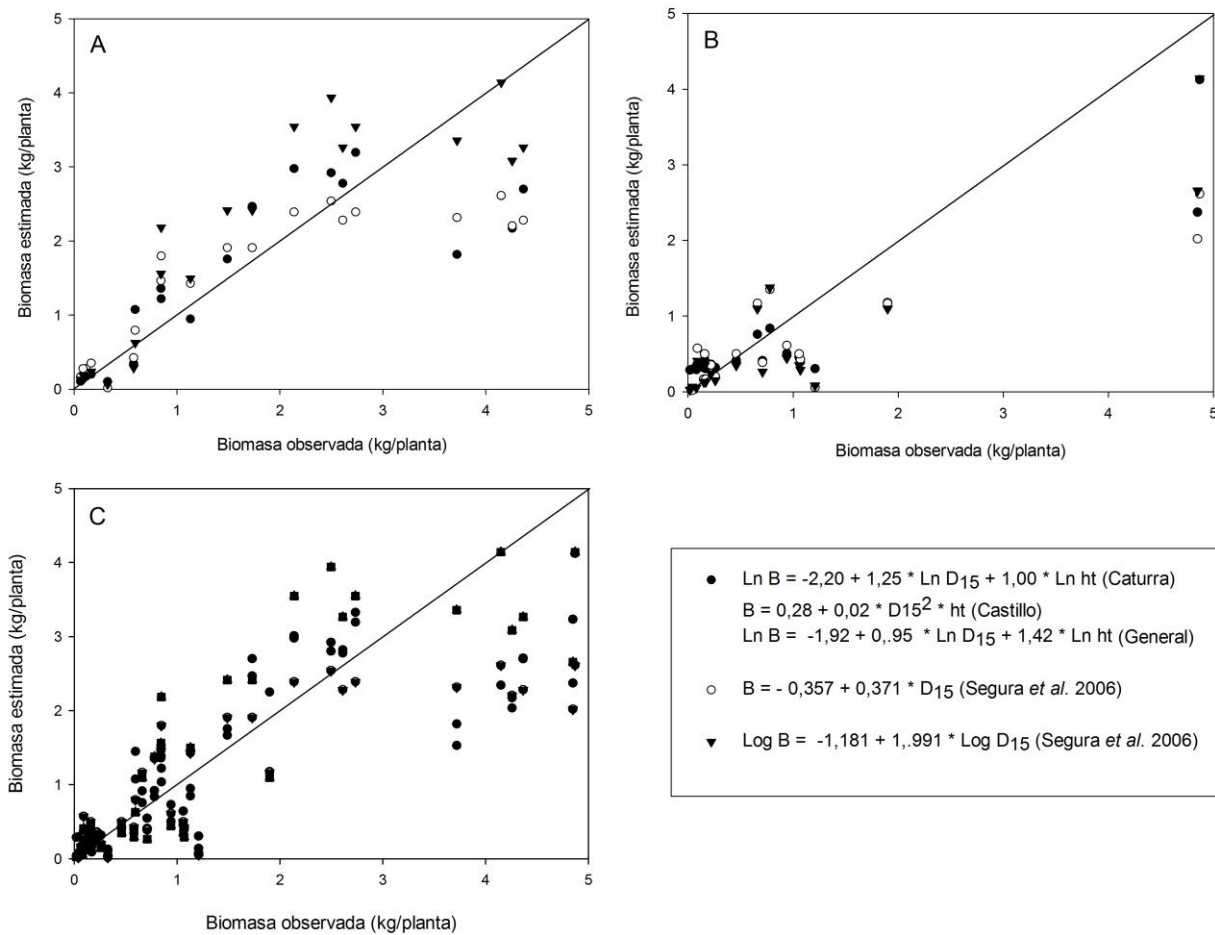
145  
 146 **Figura 1.** Modelos de biomasa total aérea de mejor ajuste para plantas de café cv. Caturra y Castillo en  
 147 el Líbano, Tolima, Colombia.  $D_{15}$  = diámetro del tronco a 15 cm de altura.

148  
 149 Los mejores modelos para estimar la biomasa total arriba del suelo y por componente, para  
 150 cada cultivar, se pueden observar en el Tabla 3. El  $D_{15}$  fue la variable independiente para estimar la  
 151 biomasa total arriba del suelo y por componentes. En algunos casos, la inclusión de la  $ht$  como segunda  
 152 variable independiente mejoró la precisión de los modelos desarrollados en este estudio. En promedio,  
 153 los  $R^2_{aj}$  fueron mejores para aquellos modelos que estiman la biomasa de los troncos, siendo muy  
 154 similar a aquellos para la biomasa total y muy superiores a los de hojas y ramas (0,90 vs 0,86 vs 0,63 vs  
 155 0,53 respectivamente, Tabla 3).

156 Los modelos de biomasa total arriba del suelo encontrados en este estudio (para Caturra,  
 157 Castillo y en general) arrojaron estimados similares a los desarrollados por Segura *et al.* (2006) en  
 158 cafetales de Nicaragua (Figura 2).

159 **Tabla 3.** Modelos de biomasa total aérea y por componente para plantas de café cv. Caturra y Castillo  
 160 en el Líbano, Tolima, Colombia.  $R^2$  = coeficiente de determinación,  $R^2_{aj}$  =  $R^2$  ajustado, ECMP = error  
 161 cuadrático medio de predicción,  $\sqrt{CME}$  = raíz del cuadrado medio del error (RCME), B = biomasa  
 162 (kg/planta),  $D_{15}$  = diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm),  $ht$  = altura total (m), Ln = logaritmo  
 163 natural. Todos los coeficientes presentaron una  $P < 0,05$ .

Componente de biomasa	Modelo	$R^2$	$R^2_{aj}$	ECMP	$\sqrt{CME}$
Var. Caturra					
Tronco	$B = 0,03 + 0,03 * D_{15}^2$	0,90	0,90	0,07	0,24
Ramas	$B = -0,07 + 0,02 * D_{15}^2$	0,43	0,40	0,25	0,46
Hojas	$B = 0,01 + 0,01 * D_{15}^2$	0,53	0,50	0,05	0,20
Total	$\text{Ln } B = -2,20 + 1,25 * \text{Ln } D_{15} + 1,00 * \text{Ln } ht$	0,86	0,85	0,49	0,53
	$\text{Ln } B = -2,60 + 1,79 * \text{Ln } D_{15}$	0,83	0,82	0,50	0,58
var. Castillo					
Tronco	$B = 0,12 + 0,02 * D_{15} * ht$	0,93	0,93	0,06	0,22
Ramas	$B = 0,06 + 4,3 \times 10^{-3} * D_{15}^2 * ht$	0,72	0,70	0,02	0,10
Hojas	$\text{Ln } B = -3,48 + 1,20 * \text{Ln } D_{15} + 0,72 * \text{Ln } ht$	0,84	0,83	0,38	0,53
Total	$B = 0,28 + 0,02 * D_{15}^2 * ht$	0,93	0,93	0,12	0,32
	$B = 0,10 + 0,07 * D_{15}^2$	0,93	0,93	0,12	0,32
General					
Tronco	$B = 0,05 + 0,03 * D_{15}^2$	0,84	0,88	0,10	0,30
Ramas	$\text{Ln } B = -3,96 + 1,15 * \text{Ln } D_{15} + 1,42 * \text{Ln } ht$	0,74	0,48	0,12	0,33
Hojas	$\text{Ln } B = -3,30 + 0,64 * \text{Ln } D_{15} + 1,22 * \text{Ln } ht$	0,62	0,56	0,03	0,14
Total	$\text{Ln } B = -1,92 + 0,95 * \text{Ln } D_{15} + 1,42 * \text{Ln } ht$	0,88	0,82	0,46	0,61
	$B = 0,36 - 0,18 * D_{15} + 0,08 * D_{15}^2$	0,82	0,81	0,45	0,61



166

167 **Figura 2.** Relación entre la biomasa total arriba del suelo estimada y medida (observada) para los  
 168 arbustos (cv. Caturra, Castillo y general) muestreados en cafetales del Líbano, Tolima, Colombia y en  
 169 Matagalpa, Nicaragua. Las ecuaciones usadas fueron (A) desarrolladas en este estudio; (B) Ecuación 1  
 170 (Segura *et al.* 2006) y (C) Ecuación 2 (Segura *et al.* 2006). B = biomasa (kg/planta),  $D_{15}$  = diámetro del  
 171 tronco a 15 cm de altura, ht = altura total (m), Ln = logaritmo natural, Log = logaritmo base 10.

172

## 173 DISCUSIÓN

174

175 Las similitudes estadísticas en la distribución de la biomasa en los diferentes componentes  
 176 entre las plantas Caturra y Castillo demuestra la posibilidad de tener un solo modelo de biomasa  
 177 general para los cafetos. El hecho que la biomasa total arriba del suelo de plantas de Castillo fuera  
 178 superior al de las plantas de Caturra indica que la copa de las primeras es ligeramente más densa y  
 179 abundante. Los sistemas de producción no afectan la distribución de la biomasa de café entre



180 componentes (tronco, ramas y hojas), coincidiendo con lo encontrado por Siles *et al.* (2010) en café cv.  
181 Caturra comparando un sistema agroforestal con *Inga densiflora* Benth y en monocultivo en el Valle  
182 Central de Costa Rica. Esto afirma que el dosel de sombra no afecta la arquitectura de la copa de los  
183 cafetos, con lo cual se pueden emplear modelos generales para cualquier sistema de producción.

184 En términos generales, el  $D_{15}$  explica mejor la biomasa total arriba del suelo que la  $ht$  (82 vs  
185 70%, respectivamente), tal como lo han encontrado por Segura *et al.* (2006), aunque con  $r$  ligeramente  
186 menores (94 vs 82%, respectivamente). Las diferencias en el poder explicativo de la biomasa por parte  
187 del  $D_{15}$  y la  $ht$  se deben a leves diferencias naturales en la arquitectura de copa entre los cultivares de  
188 café y sus modificaciones por prácticas silviculturales como las podas.

189 Los modelos desarrollados en este estudio tienen alta precisión y confianza para estimar la  
190 biomasa total y por componentes (tronco, ramas y hojas). Los modelos desarrollados en este estudio se  
191 podrían aplicar a la zona cafetera colombiana, en dónde se empleen los mismos cultivares de café y se  
192 tengan los mismos sistemas de producción. Muchos autores (Lott *et al.* 2000; Kanninen & Pérez 2002;  
193 Segura & Kanninen 2005; Segura *et al.* 2006) han encontrado los mejores modelos alométricos  
194 transformando logarítmicamente las variables, contrario a lo presentado en este estudio. Tal como se  
195 encontró en esta investigación, muchos autores han desarrollado modelos usando el diámetro del tronco  
196 como predictor de la biomasa total y por componentes (Kanninen & Pérez 2002; Segura & Kanninen  
197 2005; Segura *et al.* 2006). A pesar de la facilidad de medir en campo el  $D_{15}$  y la  $ht$  de plantas de café,  
198 para efectos prácticos, la mejor opción podría ser un modelo simple con una sola variable  
199 independiente, ya que reduce el sesgo en las mediciones. Sin embargo, en ambos cultivares, la  
200 inclusión de la  $ht$  en el modelo mejora la explicación de la biomasa total por parte del  $D_{15}$ .

201 Aunque los modelos de biomasa de ramas y de hojas presentaron menor ajuste y precisión que  
202 los de tronco y biomasa total aéreas, éstos son importantes para estudios de dinámica de la biomasa y  
203 ciclaje de nutrientes en sistemas de producción de café (Anderson e Ingram 1993, Fassbender 1993,  
204 Dossa *et al.* 2008).

205 Las comparaciones de los modelos desarrollados en este estudio con aquellos construidos por  
206 Segura *et al.* (2006) en Nicaragua, demuestran que la arquitectura de la copa de café son similares. Con  
207 base en los resultados, es posible construir un modelo regional que se pueda emplear en ambos sitios y  
208 que se pueda extrapolar su aplicación a otros sitios del Neotrópico, con una previa validación.

209

210

211 **CONCLUSIONES**

212

213 Los modelos alométricos desarrollados para estimar la biomasa arriba del suelo de los dos  
 214 cultivares (Caturra y Castilla) en el Líbano, Tolima presentan mejor ajuste que aquellos para estimar la  
 215 biomasa de componentes (tallo, ramas y hojas). Los modelos de mejor ajuste siempre incluyen al  $D_{15}$  y  
 216  $ht$  como variables independientes. Fue posible construir un modelo general para los dos cultivares, lo  
 217 cual implica practicidad en su uso y aplicabilidad a la zona cafetera colombiana donde tengan los  
 218 mismos cultivares y sistemas de producción. Sin embargo, podría hacerse un modelo alométrico  
 219 regional de biomasa de café, ya que los construidos en este estudio presentaron el mismo  
 220 comportamiento que unos modelos desarrollados para cafetales en Nicaragua.

221

222 **AGRADECIMIENTOS**

223

224 A todos los productores de café que apoyaron el estudio permitiendo la corta de cafetos y  
 225 aportando mano de obra. Al Comité de Cafetero del Tolima por su apoyo en el contacto con los  
 226 productores de café. Al Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima al apoyar el  
 227 Proyecto “Huella de Carbono en Sistemas de Producción de Café en el Municipio del Líbano, Tolima”,  
 228 código 80111. A Diana Skarly Canal por su apoyo en campo y en laboratorio.

229

230 **REFERENCIAS**

231

- 232 Albrecht A, ST Kandji. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture,*  
 233 *Ecosystems & Environment* 99:15–27.
- 234 Anderson JM, JSI Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of Methods. CAB  
 235 International, Wallingford, UK, 221 p.
- 236 Arango A. com. pers. Tipos de sistemas de producción de café en el Líbano, Tolima, Colombia.  
 237 Comunicación personal. 26/10/09.
- 238 Beer J, C Harvey, M Ibrahim, JM Harmand, E Somarriba, F Jiménez. 2003. Servicios ambientales de  
 239 los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 80-87.
- 240 Brown S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. *Unasylva*  
 241 185: 3–10

- 242 CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). 2011. Descripción ecotopo  
243 Huila – Tolima. Consultado 26 jul. 2011. Disponible en  
244 [ftp://ftp.ciat.cgiar.org/.../descripcion\\_ecotopos%20huila-tolima.doc](ftp://ftp.ciat.cgiar.org/.../descripcion_ecotopos%20huila-tolima.doc)
- 245 Dossa EL, ECM Fernandes, WS Reid, K Ezui. 2008. Above- and belowground biomass, nutrient and  
246 carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. *Agroforestry Systems*  
247 72:103–115.
- 248 Eamus D, K Mcguinness, W Burrows. 2000. Review of allometric relationships for estimating woody  
249 biomass for Queensland, the northern territory and western Australia. National Carbon  
250 Accounting System. Technical report No. 5a, p 56.
- 251 Fassbender HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2ª edición. Centro  
252 Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 530 p.
- 253 Hairiah K, J Arifin, W Berlian, C Prayogo, M Van Noordwijk. 2002. Carbon Stock Assessment for a  
254 Forest-to-coffee Conversion Landscape in Malang (East Java) and Sumber-Jaya (Lampung,  
255 Indonesia). In: Kuo-chuan L, L Jiunn-cheng, H Hsing-yin eds. Proceedings International  
256 Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring. November 11-15<sup>th</sup>, 2002. Taipei,  
257 Taiwan. Taiwan Forestry Research Institute. 198 p.
- 258 IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES).  
259 2010. Cambio Climático en Colombia. Consultado el 17 de septiembre de 2011. Disponible  
260 en: <http://www.derechoambientalcolombiano.org/Assets/PDFs/ICDA->  
261 [Generalidades\\_CC\\_Ideam.pdf](http://www.derechoambientalcolombiano.org/Assets/PDFs/ICDA-Generalidades_CC_Ideam.pdf)
- 262 Kanninen M, LD Pérez. 2002. Wood specific gravity and aboveground biomass of *Bombacopsis*  
263 *quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 165:1–9.
- 264 Lott JE, SB Howard, CR Black, CK Ong. 2000. Allometric estimation of above-ground biomass and  
265 leaf area in managed *Grevillea robusta* agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 49:1–15.
- 266 Montagnini F, PKR Nair. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of  
267 agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61–62(1–3): 281–295.
- 268 Oelbermann M, RP Voroney, AM Gordon. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate  
269 agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and Southern Canada.  
270 *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104:359–377.
- 271 Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons.  
272 *Forest Science* 45(4):573–593.

- 273 Pearson T, S Walker, S Brown. 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects.  
274 Biocarbon Fund and Winrock International. Consultado 10 ago. 2011. Disponible en  
275 [http://www.  
276 winrock.org/ecosystems/files/Winrock-BioCarbon\\_Fund\\_Sourcebook-  
compressed.pdf](http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock-BioCarbon_Fund_Sourcebook-compressed.pdf)
- 277 Quintero JS, M Ataroff. 1998. Contenido y flujos de nitrógeno en la biomasa y hojarasca de un cafetal  
278 a plena exposición solar en Los Andes venezolanos. *Revista Facultad de Agronomía,  
279 Universidad del Zulia (LUZ)* 15: 501-514.
- 280 Segura M, HJ Andrade. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono  
281 de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas* 46: 89-96.
- 282 Segura M, M Kanninen. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a  
283 tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica* 37(1): 2–8.
- 284 Segura M, M Kanninen, D Suárez. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of  
285 shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems* 68:143–150.
- 286 Siles P, JM Harmand, P. Vaast. 2010. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea  
287 arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry  
288 Systems* 78:269–286.
- 289 Soto-Pinto L, M Anzueto, J Mendoza, G. Jiménez Ferrer, B. de Jong. 2010. Carbon sequestration  
290 through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*  
291 78:39–51.
- 292 Verchot L, J Mackensen, S Kandji, M Van Noordwijk, T Tomich, C Ong, A Albrecht, C Bantilan, K  
293 Anupama, C Palm. 2005. Opportunities for linking adaptation and mitigation in agroforestry  
294 systems. In: Robledo C, M Kanninen M, L Pedroni eds. Tropical forests and adaptation to  
295 climate change- in search of synergies. Center for International Forestry Research (CIFOR),  
296 Bogor, p 186.  
297