

Determinación de las reservas de carbono de la biomasa, en *Coffea arabica* L. en Tercer Frente, Cuba¹

Ramón Antonio Ramos-Navas,* Adolfo Ramos-Marzan,* María Esther González-Vega,** Humberto Vázquez-López,* Arnaldo Brito,** Alicia J. Mercadet-Portillo,** Josué Pérez-Castillo* y Yojana Rodríguez-Benito*

Resumen

El objetivo general del estudio fue determinar la biomasa aérea en la especie *Coffea arabica* L. con la finalidad de conocer las reservas de carbono almacenadas en esta especie en el municipio de Tercer Frente, en la región oriental de Cuba. La determinación de la biomasa aérea se realizó a través del método directo consistente en la extracción de los componentes de las plantas (tallos, ramas, hojas) y su posterior pesada en estado fresco y seco. La biomasa aérea seca total de *C. arabica* L. fue $2,82 \text{ kg} \times \text{planta}^{-1}$ y el carbono almacenado en ella fue $1,41 \text{ kg} \times \text{planta}^{-1}$. La densidad poblacional estimada fue de $2205 \text{ plantas} \times \text{ha}^{-1}$, y la cantidad promedio de carbono almacenada en la biomasa aérea fue $3,11 \text{ tC} \times \text{ha}^{-1}$. La ecuación para estimar la biomasa seca de la planta ($R^2 = 0,94$) fue potencial $[B_{sp} = 0,1252 (Dt1 \times Lrp \times Nrp)^{1,191}]$ ($B_{sp} = 0,1252 \times (Dt1 \times Lrp \times Nrp)^{1,191}$, empleando el diámetro del tallo a 30 cm del nivel del suelo ($Dt1$), la longitud media de las ramas primarias (Lrp) y la cantidad de ramas primarias (Nrp). El modelo formado por el diámetro del tallo al nivel del suelo ($Dt2$) presentó un coeficiente de determinación de 0,5.

Palabras clave: reservas de carbono, biomasa aérea, ecuaciones alométricas.

Abstract

The general objective of the study was to determine the air biomass in the species *Coffea arabica* L., with the purpose of knowing the reserves of carbon stored in this species in Tercer Frente municipality, in the oriental region of Cuba. The determination of the air biomass was carried out through the direct method consistent in the extraction of the components of the plants (stalk, branches, leaves) and its later one weighed in fresh state and dry off. The total air dry biomass of *C. arabica* L. was $2.82 \text{ kg} \times \text{plant}^{-1}$ and the carbon stored in her it was $1.41 \text{ kg} \times \text{plant}^{-1}$. The estimated population density was of $2205 \text{ plants} \times \text{ha}^{-1}$, and the quantity average of carbon stored in the air biomass it was $3.11 \text{ tC} \times \text{ha}^{-1}$. The equation to estimate the dry biomass of the plant ($R^2 = 0.94$) it was potential $[B_{sp} = 0.1252 (Dt1 \times Lrp \times Nrp)^{1,191}]$, using the diameter from the shaft to 30 cm of the soil level ($Dt1$), the half longitude of the primary branches (Lrp) and the quantity of primary branches (Nrp). The pattern formed by the diameter from the stalk to the soil level ($Dt2$) it presented a coefficient of determination of 0.5.

Key words: reservations of carbon, air biomass, allometric equations.

¹ Recibido: 6/9/2016

Aprobado: 24/2/2017

* Estación Experimental Agro-Forestal III Frente, Santiago de Cuba, genetica1@tercerfrente.inaf.co.cu

** Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (INAF), La Habana

*** Instituto de Investigaciones de Ciencias Agrícolas (INCA), Mayabeque.

Introducción

El cambio climático se ha convertido en un problema internacionalmente reconocido. Sus impactos han sido registrados a escala global, en un rango de sectores diferentes. La agricultura ha sido uno de ellos. Los efectos en la producción agrícola se evidencian de diversas formas, entre las que se encuentran variabilidad aumentada, disminución de producción dentro ciertas áreas y cambios en la geografía agrícola.

En tal sentido, la alteración en los patrones de lluvias, temperatura, tormentas, vientos fuertes y otros eventos extremos afectan directamente la calidad y productividad de los cafetos.

Algunas zonas tradicionales de producción de café ya no son aptas para este cultivo, creando la necesidad de diversificar los cultivos y buscar soluciones de sustitución. Esto ocurre en muchos países, pero es pobremente indagado y financiado.

Entre los gases con mayor influencia sobre el cambio climático se encuentra el dióxido de carbono (CO_2) que existe en la atmósfera y los océanos, el cual es emitido por los combustibles fósiles (carbón, petróleo e hidrocarburos). El CO_2 atmosférico es absorbido por las plantas y convertido en carbohidratos y tejidos a través del proceso de fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono.

Los bosques tropicales desempeñan un papel vital en el ciclo global del carbono. Ellos, al cubrir un área extensa y ser ecosistemas extremadamente dinámicos, regulan la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera mediante la fijación del mismo y su reincorporación al ciclo normal (Lapeyre *et al.*, 2004).

El carbono almacenado en la biomasa aérea y debajo del suelo se estima mediante el uso de una fracción de carbono promedio de 0,5 (IPCC, 2005). Esto se debe a que aproximadamente el 50 % del peso seco de cualquier organismo lo constituye el carbono (Brown *et al.*, 1992 y Smith *et al.*, 1993).

Según Benítez (2006), hay dos métodos para medir y estimar la biomasa de los árboles por encima de suelo: el directo y el indirecto. El método directo (o destructivo) utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de biomasa, y el método indirecto, donde se utilizan ecuaciones o factores de expansión y se vinculan a algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (fáciles de medir) con características de interés. Por ejemplo, puede utilizar una ecuación con la que es posible calcular la biomasa total del árbol midiendo su diámetro. Estas ecuaciones se generan mediante una técnica estadística llamada análisis de regresión.

El objetivo trazado para el presente estudio es estimar la biomasa aérea total y el carbono retenido en las plantas de *Coffea arabica* L. en el municipio de Tercer Frente.

Materiales y métodos

El área de estudio comprende el municipio de Tercer Frente (Fig. 1), de la provincia de Santiago de Cuba, que se encuentra en el corazón de la Sierra Maestra. Posee una extensión territorial de 366,24 km² con 30 546 habitantes, para una densidad poblacional de 83,4 habitantes/km². La fuente principal de la economía es la agricultura, siendo la producción de café un elemento importante en los ingresos, y en menor cuantía el cacao, cultivos varios, ganado vacuno, entre otros.



Fig. 1. Mapa de la zona de estudio.

Los materiales utilizados fueron secciones de plantas de *Coffea* sp. (tallos, ramas y hojas), cinta métrica, tablero de campo, libreta de campo, machetes, gasolina de 90 octanos, aceite de motor, lima para motosierra, motosierra, etiquetas elaboradas, bolsas de polietileno y materiales de escritorio.

Los equipos empleados fueron GPS, balanza, motosierra, cámara digital, balanza analítica, estufa. Los datos se procesaron con el uso de los softwares InfoStat y Microsoft Excel 2007.

La metodología usada para determinar la biomasa aérea fue la del método directo (o destructiva):

- Selección de 10 plantas de *C. arabica* L. a través de un muestreo completamente aleatorizado sin reemplazo y toma de datos como:
 - Tallo*: diámetro (Dt2- nivel del suelo y Dt1-30 cm del nivel del suelo), longitud (Lt-desde el suelo hasta el extremo superior).
 - Ramas primarias*: diámetro (Drp1 y Drp2 en ambos extremos), longitud (Lrp) y cantidad (Nrp).
 - Ramas secundarias* (Nrs) y *terciarias* (Nrt): cantidad.
- Tala y corte de las plantas en secciones (tallos, ramas y hojas); pesado.
- Obtención de secciones separadas, de 3 cm de longitud del tallo y ramas, así como muestras representativa del total de hojas de cada planta.
- Secado y pesado de las muestras en la estufa, a una temperatura de 75 °C, hasta obtener peso seco (PS) constante.
- Cálculo de biomasa seca (BS) de las muestras de cada componente:

$$BS = (PS \text{ muestra} / PH \text{ muestra}) \times BH \quad [1]$$

donde:

BS: Biomasa seca del componente (kg)

PH: Peso húmedo de la muestra (kg)

PS: Peso seco de la muestra (kg)

BH: Biomasa húmeda del componente (kg)

- Cálculo de biomasa seca total (BSp) de cada planta, determinada sumando la biomasa seca de cada uno de sus componentes:

$$BSp = BS_{\text{tallos}} + BS_{\text{ramas}} + BS_{\text{hojas}} \quad [2]$$

- Estimación de carbono (Cp) de cada planta: el carbono de la parte aérea se determinó multiplicando la biomasa seca por un factor de 0,5 (Valenzuela, 2001; Brown, 1997 e IPCC, 2005).

$$Cp = BSp \times 0,50 \quad [3]$$

dónde:

Cp: Carbono Total

BSp: Biomasa Seca

- Estimación del Carbono Total (CT) del municipio: se determinó multiplicando la biomasa seca total promedio (BSp) de la planta, por el total de plantas del municipio (T_{plantas}) y por un factor de 0,50.

$$CT = BSp \times T_{\text{plantas}} \times 0,50 \quad [4]$$

- Estimación de dióxido de carbono (CO₂): Se calculó a partir del carbono y el equivalente de este en CO₂ respecto a las masas moleculares (44/12).
- Generación de la ecuación alométrica para *C. arabica* L.: se evaluaron las correlaciones entre las variables geométricas evaluadas a las plantas para obtener la ecuación con menor error estándar de la estimación, mayor coeficiente de determinación (R²) y variables fácil de medir en campo. Se utilizaron cuatro modelos matemáticos: lineal, polinomio segundo grado, logarítmico y potencial.
- El volumen del tallo (Vt) y de las ramas primarias (Vrp) se determinó utilizando la fórmula del cono trunco. El volumen total de la planta se estimó mediante la suma del Vt y Vrp.

Para el inventario productivo en el municipio de Tercer Frente se realizaron, de conjunto con los técnicos integrales y directivos de la empresa cafetalera, investigadores y técnicos de la UCTB Tercer Frente, visitas técnicas a las entidades productivas de base relacionadas con el cultivo del café.

Se realizó un estudio documental para profundizar en especificidades sobre los ecosistemas cafetaleros y generalidades del cultivo.

Resultados y discusión

En la *tabla 1* se muestra el promedio de carbono en kilogramo que almacena la especie *C. arabica* L. en su

biomasa aérea formado por sus distintos componentes: tallo, ramas y hojas, siendo el almacenamiento promedio de 1,41 kg de carbono, equivalente a 5,16 kg de CO₂. Esto indica la eficiencia de almacenamiento de carbono que presenta esta especie respecto a los cultivos de ci-

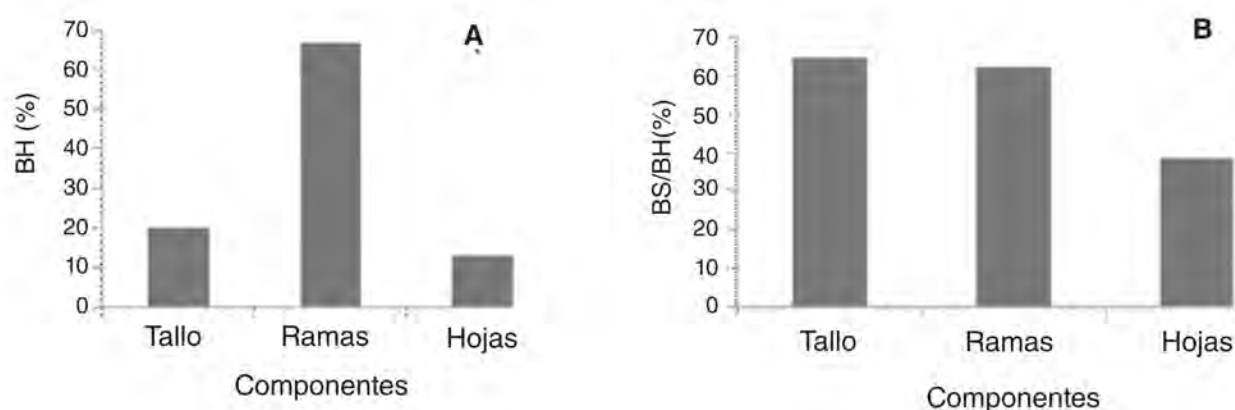
clo corto, a través de la cantidad de biomasa aérea que posee para su posterior oferta de servicios ambientales, entre ellos la captura de carbono, contribuyendo también de esta forma en la parte ambiental a disminuir los efectos del cambio climático.

Tabla 1. Estimación del carbono total de las 10 plantas de *C. arabica* L.

No.	Biomasa húmeda (kg)	Biomasa seca (kg)	C por planta (kg)	Con respecto a BH (%)	CO ₂ (kg)
1	2,87	1,77	0,89	30,94	3,25
2	6,95	4,48	2,24	32,22	8,20
3	6,28	4,04	2,02	32,22	7,41
4	3,90	1,90	0,95	24,40	3,48
5	5,30	2,77	1,38	26,11	5,07
6	4,50	2,82	1,41	31,39	5,17
7	3,03	1,46	0,73	24,17	2,68
8	8,55	4,04	2,02	23,61	7,40
9	2,77	1,38	0,69	25,00	2,53
10	6,83	3,49	1,75	25,56	6,40
X	5,09	2,82	1,41	27,56	5,16
D.S.	1,90	1,10	0,55	3,45	2,01

Se encontró que la biomasa húmeda de las ramas de las plantas de café representa el 66,6 % del peso total, y

el menor porcentaje es el de las hojas (13,2 %). El tallo representó el 20,1 % (Fig. 2).



A: Porcentaje de biomasa húmeda (BH) para cada componente. B: Porcentaje de biomasa seca (BS) por unidad de biomasa húmeda para cada componente.

Fig. 2. Porcentajes de biomasa para cada componente de las plantas evaluadas.

La determinación de la biomasa foliar se considera de gran importancia por ser una variable fundamental de

la estructura arbórea, que guarda relación directa con la productividad de las plantas.

Los mayores porcentajes de biomasa seca por unidad de masa húmeda se encontraron en el tallo (64,5 %), seguido por las ramas (61,9 %) y las hojas (38,4 %).

Los resultados en la presente investigación se relacionan con el hecho que el tallo de las plantas es más leñoso que el resto de los componentes, por lo tanto, la BS debe ser superior. Es conocido que los tallos de las plantas leñosas no solo alcanzan mayor altura con la edad, sino que también crecen en diámetro mediante el proceso conocido como crecimiento secundario, producido por los meristemos laterales: los cámbium vascular y suberoso. La acumulación de lignina y súber también se encarga de engrosar el tallo, conferirle resistencia y contenido de masa seca por unidad de volumen.

Al respecto, Suárez *et al.* (2004) y Segura *et al.* (2006) citan que la mayor cantidad de biomasa es almacenada en el fuste de los árboles, donde representa el 52 % de la biomasa total. También Álvarez (2008) menciona que en términos porcentuales, el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea debido al incremento del diámetro a la altura del pecho (DAP), representando entre el 55 y 77 % del total; luego están las ramas desde el 5 a 37 %, y por último las hojas desde el 1 a 15 %.

Tomando en consideración los resultados en la presente investigación: promedio de biomasa aérea seca total de *C. arabica* L. igual a 2,82 kg x planta⁻¹, con un carbono almacenado de 1,41 kg x planta⁻¹, así como que la densidad poblacional estimada fue de 2205 plantas x ha⁻¹, y la cantidad de toneladas de carbono en promedio que

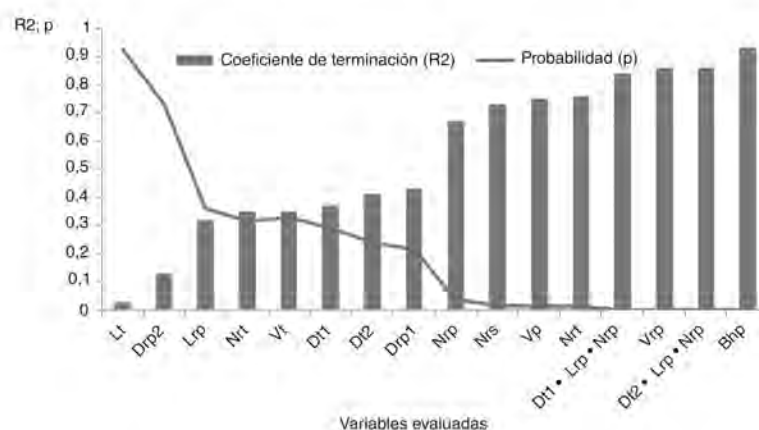
almacenó *C. arabica* L. en su biomasa aérea fue de 0,00141 tC, permiten estimar la cantidad de carbono almacenada en el municipio de Tercer Frente, que alcanzaría a 3,11 tC x ha⁻¹.

En la fijación de carbono influyen diferentes factores, entre lo que se encuentran especie vegetal, densidad de siembra, contenido de materia orgánica en el suelo, edad de las plantas y sus componentes, tipos de suelo, características climáticas y agrotecnia (Segura, 1999).

Aceituno (2012) logró resultados similares a los de este estudio, con valores de 3,83 tC x ha⁻¹, al evaluar el contenido de carbono almacenado en los cafetos en sistema de cultivo convencional en Guatemala. Sin embargo, resultados inferiores fueron obtenidos por Calixto *et al.* (2014), con valores promedios de 1,14 tC x ha⁻¹.

Respecto a la obtención de las ecuaciones alométricas, se observó que los modelos utilizados en investigaciones anteriores (Overman *et al.*, 1994; Álvarez, 2008 y Toirac y col., 2014) para estimar la biomasa seca a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) no se adecuan a las características del café. Sin embargo, se observaron correlaciones entre algunas de las variables evaluadas y la biomasa seca de la planta de café.

Los menores valores del coeficiente de determinación fueron encontrados para Lt, Drp2, Lrp, Nrt, Vt, Dt1, Dt2, Drp1 y Nrp. Sin embargo, se encontró una alta correlación, estadísticamente significativa, entre la BSp como variable dependiente y las variables independientes Nrs ($p = 0,0155$) y Nrt ($p = 0,0113$) (Fig. 3).



Tallo: diámetro a nivel del suelo (Dt_1) y a 30 cm (Dt_2), longitud desde el suelo hasta el extremo superior (Lt) y volumen (Vt); ramas primarias: diámetro en ambos extremos (Drp₁ y Drp₂), longitud (Lrp), cantidad (Nrp) y volumen (Vrp); ramas secundarias: cantidad (Nrs); ramas terciarias: cantidad (Nrt); biomasa húmeda de la planta (BH) y volumen de la planta (Vp).

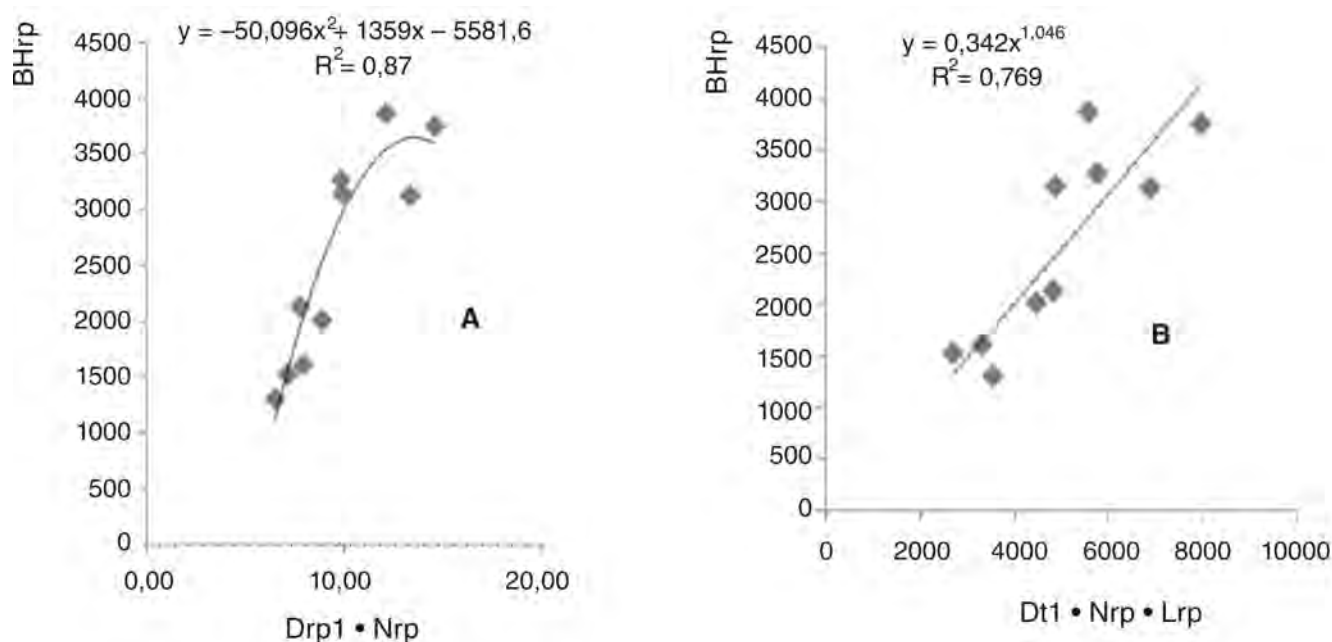
Fig. 3. Análisis de correlación entre la biomasa seca (BS) y las variables independientes evaluadas durante la investigación.

Estos resultados están relacionados con el hecho que las ramas terciarias son emitidas en la planta de forma proporcional a lo largo de las secundarias que normalmente se emiten en pares, y por lo tanto se correlacionan en mayor magnitud con el resto de los componentes de las plantas de café, entre los que se encuentran las ramas primarias.

En este sentido, Arcila y Chávez (1995) explicaron que la tasa de producción de estas estructuras sigue una tendencia sigmoideal, es decir, inicialmente la tasa de crecimiento es lenta, luego se acelera y finalmente, des-

pués de cuatro o cinco cosechas, la tasa de formación es cada vez menor, de tal manera que la cantidad de ramas primarias nuevas y de nudos no es suficiente para obtener una alta producción. De la cita de estos autores se entiende que las ramas primarias están correlacionadas con el resto de los componentes de la planta.

El mayor valor de R^2 (0,93) con $p = 0,0001$, se obtuvo para la biomasa húmeda de la planta (BH_p), seguido por la combinación Dt2 x Lrp x Nrp ($R^2 = 0,86$; $p = 0,0016$), volumen promedio de las ramas primarias ($R^2 = 0,86$; $p = 0,0016$) y Dt1 x Lrp x Nrp ($R^2 = 0,84$, $p = 0,0021$) (Fig. 4).



A: Relación entre la biomasa húmeda de las ramas primarias (BH_p) como variable dependiente y el producto del diámetro medio de las ramas primarias (Drp1) y la cantidad de estas ramas primarias (Nrp) como variables independientes. B: Relación entre BH_p y el producto de las variables independientes diámetro del tallo (Dt1), (Nrp) y longitud media de las ramas primarias (Lrp).

Fig. 4. Curvas que representan las ecuaciones alométricas para la biomasa.

La biomasa húmeda y seca de las ramas de los cafetos son residuos en estos ecosistemas, luego de las tecnificaciones de las plantas mediante los distintos tipos de poda, y constituye, además, una fuente de bioenergía renovable, con la cual se podría cubrir parte de la demanda energética en las zonas donde es cultivado; en tal sentido es de gran importancia definir un modelo que permita estimar estas potencialidades presentes en las plantaciones de café.

Para estimar la biomasa húmeda del componente ramas primarias (BH_p) se escogió el modelo polinomial de segundo grado:

$$BH_p = -50,096 (Drp1 \times Nrp)^2 + 1359 (Drp1 \times Nrp) - 5581,6 [5]$$

Este modelo mostró los parámetros significativos y el mayor valor R^2 (0,87) respecto a los restantes modelos evaluados. Al utilizar variables independientes diferentes

a las anteriormente mencionadas (Dt1 x Nrp x Lrp) para estimar BHrp, se logró un coeficiente de regresión con menor valor (0,77), aunque estadísticamente significativo para el modelo potencial con mejor ajuste.

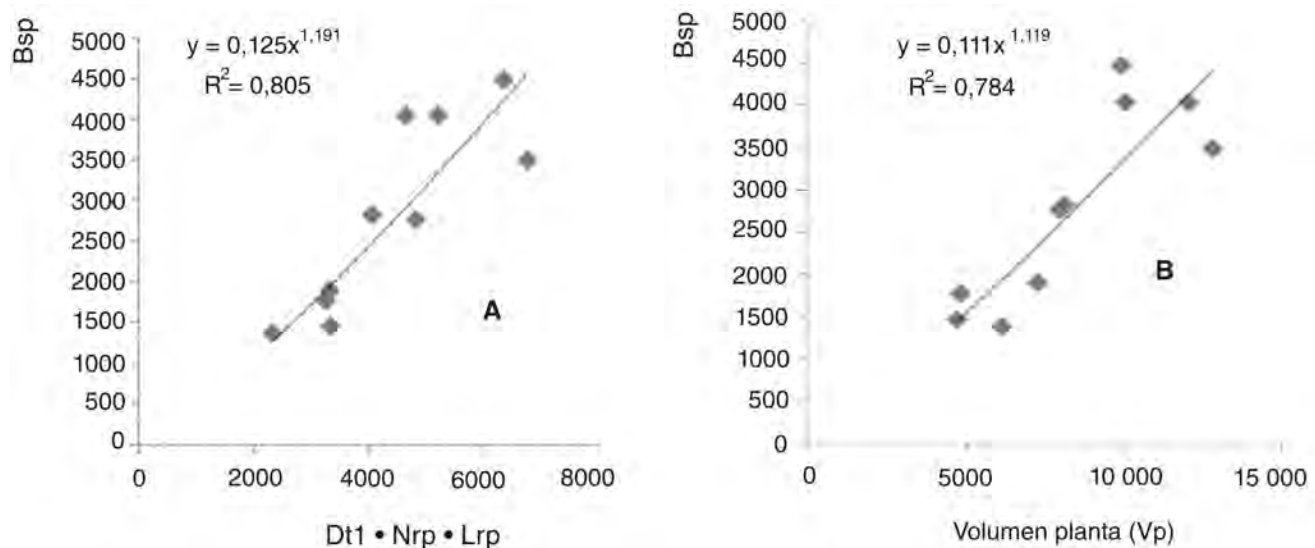
Resultado similar fue obtenido para la estimación de la biomasa seca de los vástagos (BSrp), donde el modelo polinómico fue representado por la expresión ($R^2 = 0,85$):

$$BSrp = -37,843 (Drp1 \times Nrp)^2 + 995,2 (Drp1 \times Nrp) - 4190,1 \quad [6]$$

Respecto a la formación de los modelos para estimar la biomasa seca de la planta (BSp), se obtuvo el mejor ajuste al utilizar como variables independientes las combinaciones Dt1 x Lrp x Nrp:

$$BSp = 0,1252 (Dt1 \times Lrp \cdot Nrp)^{1,191} \quad [7]$$

Esta ecuación es la seleccionada para la estimación de la biomasa en individuos de *C. arabica* L., así como el secuestro de carbono y CO_2 (Fig. 5).



A: La variable independiente es el producto (Dt1 x Nrp x Lrp). B: La variable independiente es el volumen de la planta (Vp).

Fig. 5. Curvas que representan las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa seca de la planta (BSp) de café.

La validez de las ecuaciones alométricas generadas en este estudio debe restringirse al rango de variación de las dimensiones de las plantas incluidas en la muestra. Su empleo debe hacerse solo cuando los cafetos presenten características similares de crecimiento a las de esta investigación.

La obtención de este modelo facilitará un conocimiento del volumen total a partir del diámetro de la base de plantas de café existentes, la altura y cantidad de vástagos, ya que así se facilita la estimación de la biomasa, siendo muy práctico para la estimación del carbono retenido por estas plantas.

La ecuación obtenida en la presente investigación se relaciona con los resultados logrados por Lapeyre *et al.*

(2004), que encontraron buena estimación de la biomasa seca del café a través de una ecuación del tipo potencial ($Y = 0,0474 X^{2,629}$) en función del diámetro del arbusto. Sin embargo, se diferencian en el número de variables independientes.

A partir de los resultados obtenidos anteriormente y considerando el precio del carbono capturado o retenido igual 4,49 euros por tonelada (FroPox, 2013), la existencia de 7 640 000 plantas en producción generaría ingresos económicos del orden de los 107 000 euros en el municipio de Tercer Frente por concepto de carbono total retenido en las plantas de café. Sin embargo, si lo pagado fuese solo el carbono atmosférico anualmente removido por las plantas, esta cifra disminuiría de ma-

nera importante, porque estaría limitada por los niveles anuales de crecimiento de la especie, que a su vez están asociados a la edad de las plantaciones.

Las plantaciones de café presentan valores de carbono retenido por encima de los que presentan los sistemas puramente agrícolas de corta duración, lo cual demuestra la importancia del establecimiento de estos sistemas agroforestales en los ecosistemas montañosos.

Conclusiones

- Se estimó la biomasa aérea total ($2,82 \text{ kg x planta}^{-1}$) y el carbono retenido ($1,41 \text{ kg x planta}^{-1}$) en las plantas de *Coffea arabica* L. en el municipio de Tercer Frente.
- La ecuación alométrica que mejor estimación de la biomasa seca de plantas de *C. arabica* L. mostró fue de tipo potencial ($BSp = 0,1252 \times (Dt1 \times Lrp \times Nrp)^{1,191}$, empleando las variables independientes: diámetro del tallo (Dt1), longitud media de las ramas primarias (Lrp) y cantidad de ramas primarias (Nrp).

Bibliografía

- Aceituno, M. A.: "Adaptación y mitigación al cambio climático de pequeños productores de café mediante el almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo de sistemas agroforestales orgánicos y convencionales" [inédito]. Tesis de candidatura, Universidad Internacional de Andalucía, España, 2012.
- Álvarez, G.: "Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia" [inédito]. Tesis de candidatura, Turrialba, Costa Rica, CATIE, 2008.
- Arcila, P. J. y C. B. Chávez: Desarrollo foliar del cafeto en tres densidades de siembra, *Cenicafé*, 46(1): 5-20, 1995.
- Benítez, J. Y.: "Estimación de la biomasa total en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst de la provincia de Camagüey" [inédito]. Tesis de candidatura., Universidad de Pinar del Río, Cuba, 2006.
- Brown, S.; Lugo, A. E. and L. R. Iverson: *Processes and lands for sequestering carbon in the tropical forest landscapes*, In Wisniewski J. and Lugo, A. E. (eds.), *Natural sinks of CO₂. Water, air and soil pollution* 64: 139-155, 1992.
- Brown, S.: Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumidero de carbono, En: *Actas del XI Congreso Forestal Mundial. Recursos Forestales y Árboles*. Antalya, Turquía, Octubre, 1, Pp. 13- 22, 1997.
- Calixto, L.; Kheffinir, X. y R. Puerta: Carbono almacenado en la biomasa aérea por gradiente altitudinal en plantaciones de café (*Coffea arabica*) en el distrito de Hermilio Valdizán, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Departamento Académico de Ciencias Ambientales, Tingo María, Perú, 76 Pp., 2014.
- FroPox: *Emisiones de Carbono Futuros-Dec 13 (CFI2Z3)* [en línea]. Disponible en: <http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>. (Consulta 20 de noviembre de 2013), 2013.
- IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático: La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. En: *Resumen para responsables de políticas. Informe del Grupo de trabajo III del IPCC*. [Metz, B.; Davidson, A.; de Coninck, H.; Loos, M.; Meyer, L. (eds.)], 66 Pp., 2005.
- Lapeyre, T.; Alegre, J. y L. Arévalo: Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú, *Ecol. Apl.*, 3:(1-2), 2004.
- Overman, J.; Witte, H. and J. Saldarriaga: Evaluation of regression models for over ground biomass determination in Amazon rainforest, *Journal of Tropical Ecology*, 10: 218-297, 1994.
- Segura, M.; Kanninen, M. and D. Suárez: Allometric models for estimating above ground biomass of shade trees and coffee bushes grown together, *Agroforestry Systems*, 68(2): 143-150, 2006.
- Segura, M.: "Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica" [inédito]. Tesis de candidatura, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1999.
- Smith, T. M.; Cramer, W. P.; Dixon, R. K.; Leemans, R.; Neilson, R. P. and A. M. Solomon: The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 3-15, 1993.
- Suárez, D.; Segura, M. y M. Kanninen: Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos, *Agroforestería en las Américas*, 41 (42): 112-119, 2004.
- Toirac, W., Bravo, J. A. y H. Barrero: "Estimación de la biomasa aérea total, carbono y nitrógeno retenido en

plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia Granma” [inédito]. Tesis de candidatura, Universidad de Pinar del Río, Facultad de Forestal y Agronomía, Departamento Forestal, Pinar del Río, 2014.

Valenzuela, H.: “Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de Oyamel en el sur del Distrito Federal” [inédito]. Tesis de candidatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 2001.

