

BALANCE DE ENERGÍA BASADO EN LA CONTABILIDAD DEL CARBONO EN TRES SISTEMAS PRODUCTIVOS CAFETEROS

Jhon Jaime Arias Hernández*; Néstor Miguel Riaño Herrera**; Manuel Aristizábal Loaiza***

ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M.; ARISTIZÁBAL L., M. Balance de energía basado en la contabilidad del carbono en tres sistemas productivos cafeteros. Revista Cenicafé 64(2): 7-16. 2013

En esta investigación se estableció la metodología para realizar el balance de energía basado en la contabilidad del carbono visualizado a través de las fijaciones y emisiones de dióxido de carbono para tres sistemas de productivos cafeteros. El trabajo se realizó en áreas seleccionadas de los departamentos del Valle del Cauca y Quindío (Colombia). Los sistemas evaluados fueron café, *Coffea arabica* L. con plátano (*Mussa AAB*), café con guamo (*Inga edulis*) y café a libre exposición solar. Se utilizó la cubicación como principal herramienta de medición (método destructivo de evaluación), se determinó individualmente la biomasa fresca por planta, además del porcentaje de materia seca. A partir de los resultados obtenidos de biomasa se generaron modelos no lineales con el tiempo térmico. Los resultados indican que el sistema café con plátano puede llegar a alcanzar valores excedentarios de 194,2 t de CO₂eq por hectárea. En general, se desarrolló una metodología de balances de energía, con la cual se puede cuantificar el potencial de almacenamiento de carbono de los sistemas productivos cafeteros.

Palabras clave: *Coffea arabica*, *Mussa AAB*, *Inga edulis*, carbono equivalente, biomasa, cubicación.

ENERGY BALANCE BASED ON CARBON COUNTS IN THREE COFFEE SYSTEMS

This research established the methodology for energy balance based on visualized carbon accounting through carbon dioxide fixations and emissions and for three coffee production systems. The research was carried out in selected areas of the departments of Valle del Cauca and Quindío (Colombia). The systems evaluated were coffee, *Coffea arabica* L. with plantain (*Mussa AAB*), coffee with guamo trees (*Inga edulis*) and coffee exposed to direct sunlight. Cubication was used as the primary measurement tool (destructive method of evaluation), fresh biomass per plant and the percentage of dry matter were determined individually. The results from biomass were the basis to generate nonlinear models with thermal time. The results indicate that the coffee with plantain system can reach surplus values of 194.2 tons of CO₂eq per hectare. In general, an energy balance methodology useful to quantify the potential of carbon storage of coffee production systems was developed.

Keywords: *Coffea arabica*, *Mussa AAB*, *Inga edulis*, carbon equivalent, biomass, cubication.

* Investigador Asociado (hasta el 31 de diciembre de 2011), Disciplina de Fisiología, Cenicafé

** Investigador Principal, Coordinador del Programa de Caficultura y Variabilidad Climática, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

*** Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Profesor titular Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia.

El medio ambiente ha estado en el primer plano de la opinión internacional en los últimos cinco quinquenios, y particularmente a partir de 1972, cuando se manifestó la preocupación por el calentamiento de la Tierra a través de diferentes fenómenos ambientales (huracanes, maremotos, tornados y terremotos, entre otros); dicho fenómeno ha venido siendo estudiado por diferentes entidades en el mundo como el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), creado en 1988 con el objetivo de evaluar el riesgo originado por la actividades humanas, y que también ha instaurado compromisos orientados a la conservación de nuestro planeta (4).

Los estudios realizados llevan a un tema claramente descrito como es la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), señalados como la causa principal del problema. En este sentido, el calentamiento global se relaciona con causas antropogénicas como el efecto de la industrialización, la contaminación humana, el uso de combustibles fósiles y con la tala de bosques (4).

El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales más relevantes. La fijación de carbono se genera durante el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO_2 de la atmósfera y producen carbohidratos, liberan oxígeno y carbohidratos que se utilizan para formar la biomasa de la planta. En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales, los sistemas agroforestales y, en general, aquellas actividades que llevan a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de "sumideros de carbono" (9).

La estimación de la biomasa en plantaciones es un tema relevante en relación con el calentamiento global del planeta. En años recientes se ha incrementado el interés por estudiar el papel de los cultivos y bosques y su relación con los gases de efecto invernadero (8). El café en Colombia es uno de los principales productos de exportación y representa el 22% del PIB agrícola; adicionalmente, los beneficios ambientales del cultivo del café y sus diferentes sistemas de producción incluyen conservación de la biodiversidad, mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y mantenimiento del microclima. En este caso, el pago de servicio ambiental por fijación y almacenamiento de carbono representa un valor agregado a la producción, que podría tener gran potencial e importancia para los productores (1).

Es importante desarrollar metodologías para obtener el balance energético, basado en las fijaciones y emisiones de carbono, como una herramienta de cuantificación no sólo para el cultivo del café, sino también para otras especies que se encuentren asociadas al sistema productivo cafetero, teniendo de esta manera un agregado en cuanto a la cantidad de carbono disponible en dichos sistemas. Es así como se podría abordar la contabilidad en el sitio de producción, como son las fincas, bajo los diferentes sistemas encontrados. Si bien el sector cafetero en conjunto con empresas del sector forestal comercial, ha venido desarrollando modelos que permiten calcular el crecimiento y acumulación de carbono en algunas especies asociadas, es necesario integrar este conocimiento bajo esquemas temporales y espaciales de análisis, a la vez que deben incluirse nuevas especies que tienen importancia en dichos sistemas, como pueden ser el plátano y el guamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron tres sistemas productivos cafeteros: café (*Coffea arabica* L.) a libre exposición, café con sombrío productivo en barreras de plátano dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*) y café con sombrío de guamo (*Inga edulis*), en los cuales se realizó la contabilidad del carbono con base en las fijaciones y emisiones de dióxido de carbono, durante el ciclo de vida de las especies de café, plátano y guamo. La cubicación del guamo, como el método destructivo de evaluación, se realizó en dos municipios del norte del Valle del Cauca, en tres fincas que comprenden los municipios de El Águila y Argelia, con las mismas condiciones de manejo del cultivo, con alturas en rango cafetero entre 1.200 y 1.900 m. El trabajo de cubicación de plátano dominico hartón se desarrolló en la finca El Bambusal, vereda Pueblotapao, municipio de Montenegro (Quindío), con una altura de 1.294 m.

El trabajo se desarrolló en tres etapas: primero la cubicación de las especies de plátano dominico hartón y guamo santafereño, seguida del desarrollo de una metodología para cuantificar balances de carbono, y, por último, se estructuró un ejemplo práctico de cuantificación y balance de carbono en un sistema productivo de café con barreras de plátano.

Para obtener la contabilidad del carbono se identificaron los factores o prácticas donde se fija o se emite carbono atmosférico en el sistema, dependiendo de las especies. Estos factores fueron relacionados con la edad de la planta y las diferentes prácticas culturales que se desarrollan, dependiendo del ciclo de cada cultivo.

La acumulación de materia seca es una de las mejores formas para analizar

el crecimiento de las plantas (15). En los tres sistemas de producción se obtuvo la materia seca por medio del método directo o destructivo (cubicación) de las especies, el cual consistió en medir los parámetros básicos de una planta o árbol (peso fresco y seco), apeándolo y calculando la biomasa mediante pesaje de cada uno de sus órganos (raíz, fuste, ramas, follaje y frutos). Luego, los pesos secos se transformaron a carbono equivalente para cada sistema. El carbono equivalente (CO₂eq) corresponde a la cantidad extraída de CO₂ de la atmósfera y convertida en carbono a través el proceso fotosintético al interior de la planta (Ecuación <1>):

$$PS \times 0,50 \times 3,66 = \text{dióxido de carbono equivalente (CO}_2\text{eq) } <1>$$

Donde:

PS = peso seco (kg)

0,50 = 50%, porcentaje de carbono (en caso de no existir el dato de investigación)

3,66 = Constante para convertir carbono en dióxido de carbono equivalente (CO₂eq)

Para el cultivo del plátano se seleccionaron plantas de siete edades (2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 meses) y para el sombrío de guamo se seleccionaron seis edades (2, 4, 8, 10, 15 y 20 años). Se efectuaron cinco repeticiones, dentro de un área de 1 hectárea. Cada repetición estuvo constituido por una planta seleccionada aleatoriamente, de plátano o guamo, que tuviera la edad correspondiente. El peso seco se obtuvo tomando una muestra de 250 g, que fueron llevados a peso seco constante, en una estufa de extracción de humedad, a una temperatura de 65°C durante 48 h.

Construcción y análisis de curvas de crecimiento y desarrollo. Para cada una de las edades de las plantas y con las cinco repeticiones, se construyeron curvas de desarrollo mediante gráficos de dispersión

y regresiones no lineales en función de la edad y el tiempo térmico, usando el software SigmaPlot versión 10, con el fin de conocer la dinámica de fijación de CO₂ con respecto a la edad del cultivo (café, plátano o guamo). La obtención de la biomasa de café se realizó por medio de modelación estadística de los experimentos de crecimiento y desarrollo de la disciplina de Fisiología del Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé (16), que fueron desarrollados en tres localidades de la zona cafetera colombiana (Estación de Marquetalia, Estación Central Naranjal y Estación Paraguacito), donde se obtuvo la información de temperaturas para el cálculo del tiempo térmico y donde se desarrollaron trabajos de cubicación en el campo.

Cálculo del tiempo térmico. El tiempo térmico se utilizó para remover el efecto del diferencial de temperatura de los sitios geográficos sobre la acumulación de biomasa de las plantas. Esto funciona debido a que el tiempo térmico es una medida de calor diario (unidades térmicas en grados centígrados), que reciben las plantas dependiendo de sus temperaturas críticas de crecimiento; por tal razón, las curvas de crecimiento se trabajaron de igual manera en función del calor recibido. Para el cálculo del tiempo térmico se utilizó la información histórica y actual de las variables climáticas: temperaturas mínima, media y máxima diarias, obtenidas de estaciones meteorológicas en el área de influencia de las plantaciones. Con estos valores se calculó el tiempo térmico diario en grados día acumulados ($^{\circ}\text{D}_{\text{acum}}$) hasta la fecha de muestreo, de acuerdo con Lovatt *et al.* (12).

La temperatura fue calculada con base en la diferencia de altitud entre el sitio y la estación, aplicando el sistema de Chaves y Jaramillo (7). Una vez se registraron las coordenadas de localización y altitud del sitio

donde se simuló el crecimiento, a través de cálculos vectoriales, el sistema seleccionó la estación más cercana, de acuerdo con los criterios de regionalización de brillo solar y de temperatura del aire en Colombia. Inmediatamente seleccionada la estación y el período de tiempo de simulación, se corrigió por altitud la base de datos de temperatura, haciendo uso de factores de corrección desarrollados a partir de modelos de regresión lineal que relacionan la altitud y la temperatura en cada región.

La información del clima se obtuvo de la Red Climática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC); la estación meteorológica seleccionada en el departamento del Quindío más cercana al sitio de cubicación del cultivo del plátano fue El Agrado y para el departamento del Valle del Cauca (municipios El Águila y Argelia), donde se realizó la cubicación de los guamos, fue la estación meteorológica de Albán.

Cuantificación y balance de carbono en sistemas productivos cafeteros. La información generada (peso seco y carbono) para cada uno de los cultivos, dependiendo de su edad, se utilizó como base para el desarrollo de una metodología que permitió cuantificar las fijaciones y emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), además de determinar su balance en el ciclo productivo de cada cultivo. Para cada una de las especies estudiadas (café, guamo y plátano) se determinó la información de los diferentes procesos, etapas y fases asociadas que tienen relación con los procesos de fijaciones y emisiones de CO₂ atmosférico. Esta información permitió cuantificar el balance de carbono para cada especie y para cada sistema de producción asociado con café (Ecuación <2>).

$$\text{Balance de carbono} = \text{Fijaciones} - \text{Emisiones} \text{ <2>}$$

Para obtener el carbono equivalente del material en estudio, se multiplicó la biomasa seca por 0,5 (50% aproximadamente de carbono, en caso de no existir el dato experimental); luego, el valor resultante se multiplicó por 3,66 que es el factor de conversión a dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), y que resulta de la Ecuación <3>.

$$\text{Peso molecular del CO}_2 / \text{Peso molecular del carbono} = 44 / 12 = 3,66 \text{ <3>}$$

Análisis de la información. El experimento fue de tipo observacional (no se tuvieron tratamientos inducidos sobre los árboles), por lo tanto, se analizaron las condiciones existentes en el campo. De igual manera, se analizó la información mediante ANOVA y comparaciones múltiples. Se midieron las variables de respuesta en cinco árboles, por cada edad. Estas variables correspondieron a los pesos secos totales de cada una de las especies evaluadas. Se utilizó el tiempo térmico como variable independiente y se ajustaron modelos empíricos no lineales para describir la relación de éstos con la variable dependiente. Con la ayuda del programa MS Excel 2007 se crearon las bases de datos y los modelos matemáticos se realizaron con la ayuda del software SigmaPlot versión 10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de fijaciones de CO₂eq y modelos de crecimiento

El modelo sigmoideal fue el que mejor representó el comportamiento de las tres especies con base en el tiempo térmico. La Tabla 1 muestra el valor máximo de peso seco en café de 6.174,1 g, con su tasa máxima de desarrollo a los 17.027,2 °Dacum. Para el plátano dominico hartón, estos valores corresponden a 8.928,6 g y 1.457 °Dacum y para el guamo a 1.538,6 y

55.491,3 °Dacum. Estos resultados concuerdan con los reportes de Briggs *et al.* (3), sobre el crecimiento de dos cultivos de maíz, donde muestra que las curvas en función de la materia seca son modelos sigmoideales.

Con la modelación (Tabla 1) y teniendo en cuenta el número de días y el tiempo térmico, se obtiene la cantidad de CO₂eq (g), fijado por la planta (Ecuación <4>).

$$\text{Fijación kg CO}_2\text{eq} = \text{Valor resultado del modelo} \times 0,5 \times 3,66 \text{ <4>}$$

Cuantificación de las emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono atmosférico en un cultivo están dadas por diferentes prácticas culturales a través de su ciclo productivo, entre ellas están: Transporte, aspersiones para el control de plagas y enfermedades con equipos motorizados, fertilización nitrogenada, control de arvenses con guadaña, gastos de energía eléctrica consumida por motores, gastos de energía eléctrica consumida por bombillos y otras fuentes de energía.

Emisiones de CO₂eq asociadas al transporte.

Se tuvieron en cuenta las emisiones de CO₂ a la atmósfera, generadas en el transporte con automotores, debido al uso de combustibles como gasolina, ACPM y gas natural (Ecuación <5>). Las emisiones pueden presentarse en diferentes etapas del proceso como transporte de plántulas (cuando son compradas externamente), transporte de fertilizantes, agroquímicos y combustibles, transporte del producto al proceso de beneficio y transporte del producto al sitio de venta (Tabla 2).

Este factor depende de diferentes variables para ser calculado: tipo de combustible, distancia recorrida, tamaño del motor, capacidad del vehículo y peso a transportar, entre otros.

Tabla 1. Modelos de crecimiento para tres especies en sistemas de producción cafeteros, en función del tiempo térmico.

Especie	Modelo		a	b	x ₀	R ²
Café (<i>Coffea arabica</i>)	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	Sigmoidal	6.174,2	3.33,2	17.027,2	0,99
Plátano dominico hartón (<i>Musa AAB simmonds</i>)	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	Sigmoidal	8.928,6	128.9	1457.7	0,89
Guamo (<i>Inga edulis</i>)	$f=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	Sigmoidal	1.538,6	11.864,9	55.491,3	0,98

Emisión de CO₂eq transporte = Consumo combustible x Factor de emisión del combustible <5>

Emisiones de CO₂eq asociadas a aspersiones con equipos motorizados.

Cuando se realiza la aspersión de algunos productos bien sea biológicos o químicos, se utilizan diferentes equipos de aspersión (11), de los cuales producen emisiones de CO₂ a la atmósfera, aquellos que utilizan combustibles como gasolina o ACPM (Ecuación <6>).

Emisión de CO₂eq equipos motorizados = Consumo combustible x Factor de emisión del combustible <6>

Emisiones de CO₂eq asociadas a la fertilización nitrogenada.

Las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados son consideradas un factor que influye en las liberaciones de óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera, siendo éste un gas de efecto invernadero, inclusive 296 veces más contaminante que el CO₂ (18). La utilización de fertilizantes químicos (nitrogenados) es una práctica usada y recomendada en Colombia, y es por esta razón, que afecta el balance de carbono, convirtiéndose en una emisión de CO₂ a la atmósfera.

Dependiendo del grado del fertilizante y la cantidad de nitrógeno que contenga, se da la emisión de óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera; en los cálculos, el óxido nitroso es convertido a dióxido de carbono equivalente, con el fin de facilitar la contabilidad del

carbono en términos de CO₂eq, de acuerdo con las Ecuaciones <7> y <8>. Además, se tuvo en cuenta que 1 g de nitrógeno aplicado emite 2,19 g de CO₂eq (18).

Emisión de CO₂eq fertilización nitrogenada = Consumo fertilizante x factor de emisión del fertilizante <7>

Factor de emisión del fertilizante = Grado de nitrógeno del fertilizante x 100 x 2,19 <8>

Emisiones de CO₂eq asociadas al control de arvenses con guadaña. Para el control de arvense uno de los métodos es la utilización de guadañas, equipos que funcionan con gasolina (Ecuación <9>).

Emisión de CO₂eq guadaña = Consumo gasolina x Factor de emisión de la gasolina <9>

Emisiones de CO₂eq asociadas a gastos de energía eléctrica consumida. Los gastos de energía eléctrica son emisiones de CO₂ al medioambiente, debido a que en ocasiones la energía proviene de termoeléctricas que consumen combustibles fósiles en su funcionamiento. Esta energía puede ser utilizada en motores durante el proceso de beneficio o por la utilización de bombillos (Ecuaciones <10> y <11>).

Emisión de CO₂eq motores = Kilovatios consumidos x Factor de emisión energía eléctrica <10>

Tabla 2. Factores de emisión de CO₂eq a la atmósfera respecto a fuentes de energía.

Material combustible	Factores de emisión	Fuente
Gasolina	2.328 g CO ₂ eq/L	EPA (21)
	2.212 g CO ₂ eq L	UPME (20)
	2.315 g CO ₂ eq/L	Carbon trust (5)
	2.382 g CO ₂ eq/L	GHG Protocol (14)
ACPM - Diésel	2.672 g CO ₂ eq/L	EPA (21)
	2.665 g CO ₂ eq/L	UPME (20)
	2.630 g CO ₂ eq L	Carbon trust (5)
	2.746 g CO ₂ eq/L	GHG Protocol (14)
Carbón mineral	2.580 g CO ₂ eq/kg	Casnovas (6)
	2.460 g CO ₂ eq/kg	UPME (20)
Cisco	1.808 CO ₂ eq/kg	Rodríguez (17)
Madera (tallos café)	1.863 g CO ₂ eq/kg	Obando (13)
Gas natural	1.922 g CO ₂ eq/m ³	Carbon trust (5)
	1.965 g CO ₂ eq/m ³	UPME (20)
Gas propano (GLP)	2.930 g CO ₂ eq/kg	UPME (20)
Borra	2.110 g CO ₂ eq/kg base seca	Rodríguez (17)
Energía eléctrica	431 g CO ₂ eq/kwh	UPME (19)
Fertilizantes nitrogenados - aplicación	2,19 g CO ₂ eq / g N aplicado	Snyder (18)

Emisión de CO₂eq bombillos = Kilovatios consumidos x Factor de emisión energía eléctrica <11>

Se tuvo en cuenta la siguiente información:
 1 HP = 0,736 kw.h⁻¹ (10)
 El factor emisión electricidad: 1 kw.h⁻¹= 431 g CO₂eq (19)
 1 watt = 0,001 kw.h⁻¹ (22).

Uso de la metodología desarrollada para balances de carbono en sistemas de producción con café

De acuerdo con la anterior metodología, se consideró un sistema productivo cafetero con café de 4 años de edad y barreras de plátano dominico hartón, las barreras a 12 m entre sí y 3 m entre sitios de producción. Densidad para el café de 5.000 plantas por hectárea y una densidad de siembra para plátano de 416 sitios de producción por hectárea. En las Tablas 3

y 4 se presentan los balances de carbono para los sistemas de producción de café y plátano, respectivamente.

El balance del carbono del sistema de café y producción de plátano presentó un valor de 194 toneladas CO₂ eq/ha de carbono, positivo, lo que quiere decir que se tiene un excedente de carbono en el sistema.

Este resultado, está acorde con los obtenidos por Ávila (2), quien determinó un rango de almacenamiento de 120 a 195 t.ha⁻¹ de C, en cuatro sistemas agroforestales con café, tres asociados con *Eucalyptus deglupta* de 4, 6 y 8 años de edad y uno con Poró (*Erythrina poeppigiana*), en el Valle Central de Costa Rica.

Con el desarrollo de esta investigación, se obtuvo una metodología basada en la contabilidad de las fijaciones y emisiones

Tabla 3. Balance de carbono en un cultivo de café con 4 años de edad.

Etapas y prácticas	Emisión (kg CO₂,eq)	Fijación (kg CO₂,eq)
Almacenamiento de carbono en el cultivo (utilización de modelos)		190.874,0
Emisiones de CO ₂ asociadas al transporte de:		
Plántulas	928,4	
Fertilizante	721,6	
Cooperativa	968	
Emisiones de CO ₂ por equipos de aspersión en el manejo de plagas y enfermedades	101,9	
Emisiones de CO ₂ por fertilización nitrogenada	3.687,9	
Emisiones de CO ₂ por equipos utilizados en el control de arvenses	223,2	
Emisiones por gastos de energía eléctrica consumida por motores	2,6	
Emisiones por gastos de energía eléctrica en el uso de bombillos y lámparas	0,6	
Emisiones por uso de otros combustibles	0	
Total	6.631,7	190.874,0
Balance (fijaciones- emisiones)		184.242,3 (+)

Tabla 4. Balance de carbono en un cultivo de plátano dominico hartón con 14 meses de edad.

Etapas y prácticas	Emisión (kg CO₂,eq)	Fijación (kg CO₂,eq)
Almacenamiento de carbono en el cultivo (utilización de modelos)		10.939
Emisiones de CO ₂ asociadas al transporte de:		
Plántulas	0,549	
Fertilizante	22	
Cooperativa	549,1	
Emisiones de CO ₂ por equipos de aspersión en el manejo de plagas y enfermedades	101,9	
Emisiones de CO ₂ por fertilización nitrogenada	92,9	
Emisiones de CO ₂ por equipos utilizados en el control de arvenses	223,2	
Emisiones por gastos de energía eléctrica consumida por motores	2,61	
Emisiones por gastos de energía eléctrica en el uso de bombillos y lámparas	0,59	
Emisiones por uso de otros combustibles	0	
Total	992,90	10.939
Balance (fijaciones- emisiones)		9.946,1 (+)

a través del ciclo productivo de cada uno de los cultivos, donde se determinó, bajo unas condiciones específicas, la cantidad de carbono para un sistema productivo de café y plátano. Desde el punto de vista del balance de carbono, para los sistemas de producción planteados, se demuestra cómo la asociación de diferentes sistemas cafeteros permite cuantificar ganancias desde el punto de vista del carbono comparado con sistemas en monocultivo. En general, con la metodología de balances de energía, puede obtenerse de manera cuantitativa el potencial de almacenamiento de carbono de los sistemas productivos cafeteros, así como el valor por tonelada de carbono almacenada temporalmente por hectárea, dando las pautas para establecer las compensaciones por este servicio ambiental y así crear la gestión para reducir las emisiones de carbono a la atmósfera.

AGRADECIMIENTOS

Al profesional en mercadeo Diego Fernando Alzate, al auxiliar de laboratorio Anderson Aguirre, a la doctora Ximena Restrepo, al Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca en cabeza del doctor Héctor Fabio Ospina, a los Extensionistas del Municipio del Águila y Argelia – Valle, al ingeniero agrónomo Héctor Chica, al ingeniero forestal Diego Obando y al Ingeniero agrónomo Juan Carlos Mejía Nariño.

LITERATURA CITADA

1. ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ J., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2007. 309 p.
2. ÁVILA, V.G. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra a pleno sol, sistemas agro pastoriles y pasturas a pleno sol. Turrialba:

CATIE. Escuela de posgrado, 2000. 99 p. Tesis magister en agroforestería tropical.

3. BRIGGS, G.E.; KIDD, F.; WEST, C.A. Quantitative analysis of plant growth. *Annals of applied biology* 7:202-223. 1920.
4. CABALLERO, M.; LOZANO, S.; ORTEGA, B. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria UNAM* 8(10):1067-6079. 2007.
5. CARBON TRUST. Guidelines to defra's GHG conversion factors for company reporting. Annexes. [En línea]. Reino Unido : Defra, 2008. Disponible en internet: <http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/conversion-factors.pdf>
6. CASANOVAS, M. Actividades del proyecto MDL en bioenergía: El caso de la provincia de Buenos Aires. [En línea]. Mendoza : Uncu, 2006. Disponible en internet: <http://www.uncu.edu.ar/contenido/skins/unc/download/Ing%20Monica%20Casanovas.ppt>
7. CHAVES, B.; JARAMILLO, A. Regionalización de la distribución del brillo solar en Colombia, por métodos de conglomeración estadística. *Cenicafé* 48(2):120-132. 1997.
8. CUÉLLAR, N.; ROSA, H.; GONZÁLEZ, M. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. *Prisma* 34:1-16. 1999.
9. DALANEY, M.; BROW, S.; LUGO, A.; TORRES, L.; QUINTERO, N. The distribution of organic carbon in major components of forest located in five zones of Venezuela. *Journal tropical ecology* 13:697-708. 1997.
10. DEFINICIONES DE energía y potencia. [En línea]. España : windpower, 2008. Disponible en internet: <http://www.windpower.org/es/stat/unitsene.htm>. Consultado en junio de 2009.
11. FNC. Manejo seguro de productos biológicos y químicos para el control de plagas y enfermedades del café. p. 112-128. En: FNC. Cartilla cafetera. Chinchiná : Cenicafé, 2004. 2 Vols.
12. LOVATT, C.; STREETER, S.; MINTER, T.; O'CONNELL, N.; FLAHERTY, D.; FREEMAN, M.; GOODELL, P. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* [L.] Osbeck, cv. Washington navel orange. *Proceedings of the international society of citriculture* 1:186-190. 1989.

13. OBANDO, D. Observaciones en experimentos realizados en fisiología vegetal durante el año 2006 en árboles de café de 3 años de edad. Chinchiná : Cenicafé, 2008. (Comunicación personal).
14. PROTOCOLO DE gases efecto invernadero. Calculating CO₂ emissions from mobile sources. [En línea]. Suiza : GHGPROTOCOL, 2005. Disponible en internet: [http://www.ghgprotocol.org/calculation-tool/downloads/calcs/CO₂-mobile.pdf](http://www.ghgprotocol.org/calculation-tool/downloads/calcs/CO2-mobile.pdf)
15. RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Contribuciones potenciales de la agricultura colombiana a la mitigación del cambio climático. p. 234-250. En: Seminario científico Ciencia y agricultura tropical para el siglo XXI. Bogotá : Cenicafé, 2008.
16. RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera. Cenicafé 55(4):265-276. 2004
17. RODRÍGUEZ, N. Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el cultivo e industrialización del café para la producción de hongos comestibles y medicinales. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2003. 140 p.
18. SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management: A literature review. [En línea]. U.S.A. : IPNI, 2007. Disponible en internet: <http://www.ipni.net>
19. UPME. Metodología simplificada para el cálculo de la línea para proyectos de pequeña escala. Bogotá : UPME, 2006. 36 p.
20. UPME. Factores de emisión de los combustibles colombianos. [En línea]. Bogotá : UPME, 2003. Disponible en internet: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/documentación/mdl/doc/18_fecoc.doc
21. EPA. Office of transportation and air quality. Emission facts average carbon dioxide emissions resulting from gasoline and diesel fuel. [En línea]. U.S.A : EPA, 2005. Disponible en internet: <http://www.epa.gov/OMS/climate/420f05001.pdf>
22. WATT IS the quantity of energy used or supplied per unit time (also called power). [En línea]. U.S.A : MHI, 1991. Disponible en internet: http://www.mhi-inc.com/Converter/watt_calculator.htm