

## Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca

Carbon storage in coffee agroforestry systems in the provinces of Jaen and San Ignacio, Cajamarca

María Liliana Cabrera Tirabanti<sup>1</sup>, Segundo Vaca Marquina<sup>2</sup>, Francisco Fernando Aguirre de los Ríos<sup>3</sup>,

Helder Efraín Aguirre de los Ríos<sup>4</sup>

### RESUMEN

Esta investigación, tuvo como principal objetivo estimar la cantidad de almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales cafetaleros de las provincias de Jaén y San Ignacio. Se trabajó con parcelas agroforestales de socios pertenecientes a la Cooperativa de Servicios Múltiples Sol&Café LTDA. Se muestreó 32 sistemas agroforestales, los cuales presentaron un dosel de sombra diversificada, con diferentes densidades de siembra y manejo. Dentro del sistema se evaluó cuatro componentes: biomasa aérea viva (árboles y café), hojarasca y suelo. Para estimar la cantidad de biomasa viva se usó el método directo e indirecto. El primero fue utilizado para el café a través de la extracción y fragmentación de cada uno de sus componentes y el segundo para árboles a partir de ecuaciones alométricas establecidas. Para el caso del café se estableció una ecuación alométrica referencial, la cual fue trabajada en base a las muestras representativas, obtenidas de cada una de las parcelas evaluadas; (modelo alométrico)  $Y = 4.4997 + 0.00 * X + -0.2852 * X^2 + 0.0342 * X^3$ ; relacionando a la biomasa aérea seca con el diámetro de la planta. Se puede concluir que el carbono almacenado en los sistemas agroforestales osciló entre 45.22 a 144.05 tC/ha, con un promedio de 76.49 tC/ha. Estos resultados se encuentran influenciados por factores físicos, biológicos, manejo y condiciones agroecológicas diferentes, las cuales influyen en la biomasa acumulada en este tipo de ecosistema.

**Palabras claves:** Sistemas agroforestales cafetaleros, ecuación alométrica, almacenamiento de carbono, condiciones agroecológicas.

### ABSTRACT

The research main objective was to estimate the amount of carbon storage of coffee agroforestry systems in the provinces of Jaen and San Ignacio. Agroforestry plots belonging to partners of the Multiple Services Cooperative Café & Sol – LTDA were sampled. Sampling was done in 32 agroforestry systems, which presented a diversified shade canopy with different densities and handling. Four components from the system were evaluated: living biomass (trees and coffee), litter and soil. To estimate the amount of living biomass the direct and indirect methods were used. The first was used for coffee through extraction and fragmentation of each of its components the second for trees with established allometric equations. In the case of coffee a referential allometric equation was established, based on representative samples obtained from each of the evaluated plots; (allometric model)

$Y = 4.4997 + 0.00 * X + -0.2852 * X^2 + 0.0342 * X^3$ ; relating to the dry biomass with the diameter of the plant. It can be concluded that the carbon stored in agroforestry systems ranged from 45.22 to 144.05 tC / ha, with an average of 76.49 tC / ha. These results are influenced by physical, biological and management factors and different agro-ecological conditions, which influence the accumulated biomass in this type of ecosystem.

**Keywords.** Coffee agroforestry systems, allometric equation, carbon storage, agro-ecological conditions.

<sup>1</sup> Tesista de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Sede Jaén. Cajamarca, Perú. <sup>2</sup> Asesor de Tesis de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Sede Jaén. Cajamarca, Perú. <sup>3,4</sup> Coasesores de Tesis de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Sede Jaén. Cajamarca, Perú.

## INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental generada por el cambio climático global, es uno de los problemas ambientales más severos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI; frente a ello se ha optado por nuevas alternativas con la finalidad de contrarrestar dichos efectos, por medio de estrategias que buscan soluciones económicamente factibles, socialmente sostenibles y ambientalmente amigables (Aristizabal y Guerra 2002).

Una alternativa para mitigar los efectos causados por el cambio climático, radica en la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF), los cuales son capaces de capturar CO<sub>2</sub> de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea, subterránea en el suelo, conservándolo por largos periodos de tiempo (Gayoso y Guerra 2005).

Estos agroecosistemas, combinados con sombra diversificada, son considerados como sistemas potenciales, representando para los productores no sólo una gran opción de valor ecológico agregado, sino también una fuente económica alternativa, a través del pago de bonos por captura de carbono, estrategia que debe ser considerada, diseñada e implementada a corto plazo (Ortiz y Ceballos 2004).

Teniendo en cuenta la importancia de estos ecosistemas, se ha planteado esta investigación, considerando como principal objetivo estimar la cantidad almacenada de carbono en los sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio. Se determinó las características de los sistemas evaluados, contribuyendo con la generación de datos y el análisis de la estimación del almacenamiento de la captura de carbono en los diferentes componentes del sistema: biomasa, aérea viva (árboles y café), hojarasca y suelo; de las parcelas agroforestales cafetaleras de los socios de la Coop. Sol & Café. Estas parcelas han sido rehabilitadas y certificadas, generándole un valor económico, ambiental y social; reconociéndolas de esta manera como altos almacenadores de carbono; contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de dichos socios y

creando alternativas ambientales innovadoras, permitiendo compensar los efectos del cambio climático causados por el hombre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en 32 sistemas agroforestales cafetaleros con sombra diversificada, ubicados en las provincias de Jaén (Jaén, Santa Rosa) y San Ignacio (Tabaconas, La Coipa, Huarango), pertenecientes a la región Cajamarca. Los rangos altitudinales van desde los 1008 msnm hasta los 1850 msnm como máxima altitud.

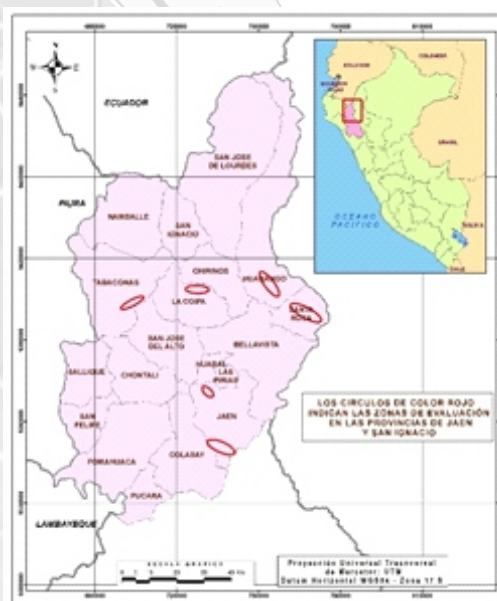


Figura 1. Mapa de localización de las parcelas evaluadas

Para lograr estimar la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales ubicados en las provincias de Jaén y San Ignacio, se procedió a utilizar dos metodologías: La primera fue aplicada al componente arbóreo es un método indirecto a través de ecuaciones alométricas generadas, considerando condiciones de sitio similares, y la segunda conocida como método directo, aplicada a los arbustos de café para la generación de una ecuación alométrica para esta especie; permitiendo así obtener datos más exactos para los cálculos de contenido de carbono de los sistemas agroforestales evaluados.

El trabajo fue desarrollado en parcelas de muestreo de 20 m x 30 m, en donde se hizo un inventario al 100 % del componente maderable y del cultivo. Dentro de cada parcela se estableció parcelas de 1 m<sup>2</sup> en donde se realizó la evaluación de hojarasca, así como también el establecimiento de calicatas para la obtención de muestras de suelo. Para el caso de la ecuación alométrica del café, sólo se trabajó con 29 de las 32 plantas extraídas y fragmentadas en campo.

Para calcular la cantidad de carbono dentro de los sistemas agroforestales se usaron las siguientes fórmulas:

### ***Cálculo de biomasa seca del componente vegetal***

Materia seca:

$$Ms = Ps / Ph$$

Dónde,

- Ms : Materia seca de la muestra  
Ps : Peso seco de la muestra (g).  
Ph : Peso húmedo de la muestra (g).

Biomasa seca total del componente:

$$Btc = Phc \times Ms$$

Donde,

- Btc : Biomasa total seca del componente (Kg).  
Phc : Peso húmedo total obtenido en campo (kg).  
Ms : Materia seca de la muestra.

Biomasa total seca de la planta:

$$BTs = Bst + Bsr + Bsh + Bsf + Bsfr$$

Donde,

- BTs: Biomasa total seca de la planta (Kg).  
Bst: Biomasa seca del tallo (kg).  
Bsr: Biomasa seca de ramas (Kg).  
Bsh: Biomasa seca de las hojas (kg).  
Bsf: Biomasa seca de las flores (kg).  
Bsfr: Biomasa seca de los frutos (kg).

### **Cálculo de carbono en el suelo**

% de materia orgánica:

$$\% M.O = \left( \frac{(4(a - b))}{(a \times p)} \right) \times 1.724$$

Dónde,

- a : Volumen gastado del testigo (ml).  
b : Volumen gastado de la muestra (ml).  
p : Peso de la muestra (g).  
1.724 : Constante.

% de carbono en el suelo:

$$\% C = \left( \frac{\% MO}{1.724} \right)$$

Dónde,

- % M.O : Porcentaje de materia orgánica.  
1.724 : Constante.

Densidad aparente:

$$(DA)g/cm^3 = (Pss - \text{Peso del cilindro}) / (\text{Volumen del cilindro})$$

Dónde,

- Pss : Peso seco de suelo (g).  
Pc : Peso del cilindro (g).  
Vc : Volumen del cilindro (g).

Carbono acumulado en el suelo:

$$CS = Cc \times DA \times P$$

Dónde,

- Cs : Carbono en el suelo (tC/ha)  
Cc : contenido de carbono (%)  
DA : densidad aparente (tn/m<sup>3</sup>)  
P: Profundidad de muestreo (0.3 m)

### **Cálculo de carbono en el sistema agroforestal**

$$Ton C/ha = \left( \frac{Kg \text{ biomasa seca} \times 0.5 / (10000)}{1000} \right)$$



Donde,

Ton C/ha: Se le conoce también como densidad de carbono dentro del área de la parcela.

$$\text{Ton C} = \text{Densidad de carbono} * \text{Área total del sistema evaluado (ha)}$$

Ton C: total de toneladas de carbono almacenado dentro del sistema agroforestal.

$$\text{Ton C/ha} = \text{Árboles} + \text{Cafetales} + \text{Hojarasca} + \text{Suelo}$$

Todos los componentes deben estar expresados en toneladas por hectárea.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación de los sistemas agroforestales se consideró cuatro componentes de almacenamiento de carbono (árboles, cafeto, suelo y hojarasca); los valores obtenidos fueron expresados en toneladas por hectárea, así mismo se propuso inicialmente hacer la curva alométrica para el cafeto; dichos resultados son detallados a continuación.

**Determinación del contenido de carbono, utilizando la ecuación alométrica del café**

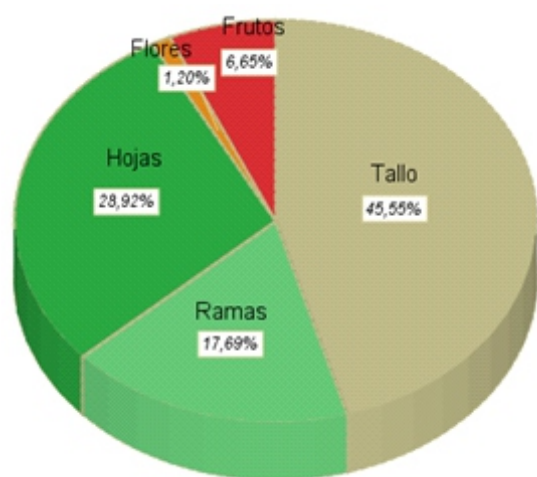


Figura 2. Carbono almacenado en los componentes de la planta de café

Los resultados de biomasa seca, obtenidos en el laboratorio muestran que la mayor cantidad de carbono almacenado en la planta de café se encuentra en el tallo con un 45.55 %, seguido de las hojas con un 28.9 % y ramas con un 17.69 %; y en menor proporción se localiza en los frutos con un 6.65 % y flores con un 1.20 %.

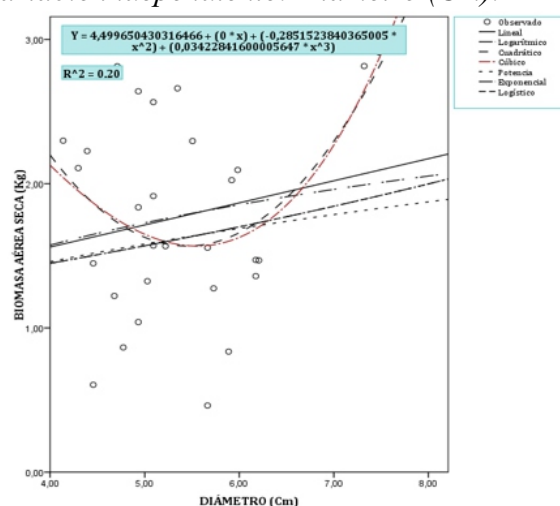
## Regresión y modelos matemáticos

Para la realización de la ecuación alométrica, se trabajó con 29 arbustos de los 32 evaluados, debido a que tres de ellos presentaban valores extremos (outliers). La relación que se estableció fue entre la variable independiente (diámetro) y la dependiente (biomasa).

Tabla 1. Resumen de los modelos y estimaciones de los parámetros para determinar la ecuación alométrica.

Ecuación	Resumen del modelo		Estimaciones de los parámetros			
	R <sup>2</sup>	F	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,033	0,933	0,948	0,153		
Logarítmica	0,022	0,605	0,617	0,691		
Cuadrático	0,181	2,872	10,503	-3,280	0,301	
Cúbico	0,191	3,070	4,500	0,000	0,285	0,034
Potencia	0,013	0,362	0,885	0,361		
Exponencial	0,020	0,564	1,049	0,081		
Logística	0,020	0,564	0,953	0,923		

Variable independiente: Diámetro (Cm).



observados para estimar la biomasa en *Coffea arabica* L. (café), y la línea de regresión generada por la ecuación cúbica

Al aplicar las ecuaciones generadas por el programa, se obtuvo que la relación entre las variables no fue significativa, alcanzando una distribución inestable; con coeficientes de correlación muy bajos; siendo la ecuación cúbica la que alcanzó un R<sup>2</sup> = 0.2; tomándola como ecuación referencial para la determinación de la biomasa del café.

La fórmula de la ecuación cúbica, también llamada polinomial o de tercer grado, utilizada es la siguiente:

$$Y = 4.4997 + 0.00 * X + -0.2852 * X^2 + 0.0342 * X^3$$

## Carbono almacenado en los componentes evaluados del sistema agroforestal

### Carbono almacenado en la biomasa viva

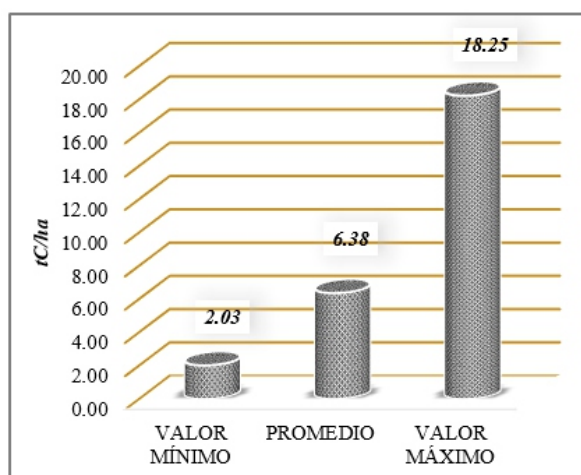


Figura 4. Carbono almacenado en el café

La variedad de café que se evaluó en las fincas fue catimor, con edades que oscilan desde los 3 hasta los 20 años, con distanciamientos de siembra diversos, siendo la cantidad mínima de plantas por hectárea de 2014 hasta un máximo de 9130; encontrándose en promedio 5357 plantas por hectárea.

En total se tomaron las medidas dasométricas (diámetro y altura) de 9059 plantas, y al aplicar el modelo alométrico, generado, se obtuvo que la cantidad media de carbono en este componente es de 6.38 tC/ha, con valores que fluctúan desde 2.03 a 18.25 tC/ha.

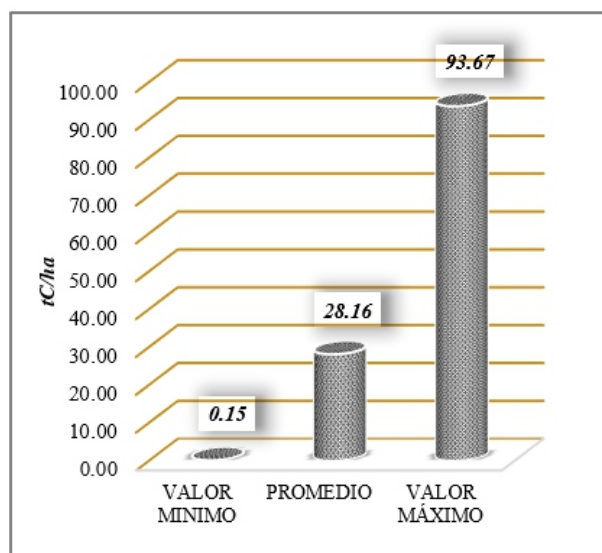


Figura 5. Carbono almacenado en árboles

Los sistemas agroforestales evaluados han estado compuestos por especies de sombra diversificada; encontrándose en promedio 259 árboles por hectárea entre maderables, no maderables y frutales; siendo las especies dominantes las pertenecientes a la familia Fabaceae, sobresaliendo las del género *Inga* y *Erythrina* y en menor cantidad las del género *Cordia*, *Cedrela* y *Retrophyllum*.

Al realizar un balance en todas las parcelas, encontramos que el valor más alto fue de 93.67 tC/ha y el más bajo estuvo en 0.15 tC/ha, con una media de 28.16 tC/ha. Estos resultados son muy versátiles, puesto que se encuentran influenciados por las distintas densidades de siembra, edades, así como también la diversidad de especies arbóreas encontradas dentro de cada sistema agroforestal evaluado.

### Carbono almacenado en hojarasca

Encontramos que la mayor cantidad de carbono en hojarasca se ubica en los distritos de Santa Rosa y Jaén, puesto que, estas zonas, se vieron influenciadas por la diversificación en cuanto a cantidad, calidad y variedad de sombra

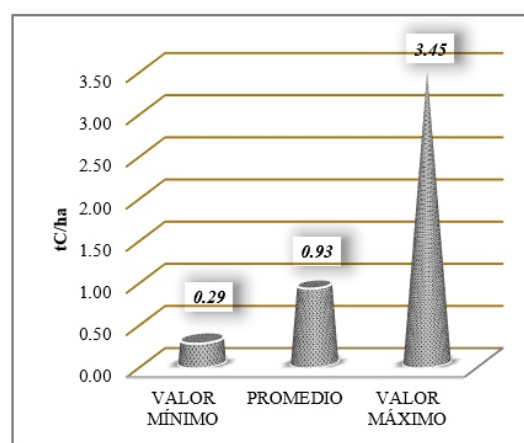


Figura 6. Carbono almacenado en hojarasca

En la hojarasca se puede apreciar, que en promedio existe 0.93 tC/ha, y se encuentra influenciado por la cantidad y el tipo de árboles que conforman el sistema agroforestal, así como también por su capacidad de descomposición.

### Carbono almacenado en el suelo

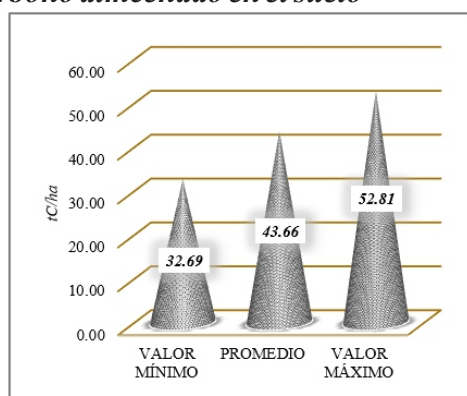


Figura 7. Carbono en el suelo

Con respecto a la cantidad de carbono en el suelo de los SAF de las localidades evaluadas, hemos encontrado valores desde 32.68 a 52.81 tC/ha; siendo el valor promedio 43.66 tC/ha, los cuales, se encuentran directamente relacionados con el contenido de materia orgánica y la densidad del suelo.

De las muestras evaluadas en laboratorio, los valores de densidad obtenidos se encontraron entre 1.1469 g/cm<sup>3</sup> a 1.8530 g/cm<sup>3</sup> lo que representa suelos que van desde texturas arcillosas a arenosas; siendo el valor promedio para este parámetro 1.5320 g/cm<sup>3</sup>. Dichos resultados estuvieron afectados por las condiciones de humedad del suelo al momento del muestreo, su retención de agua y de los contenidos de materia orgánica que estos presentaron.

### Carbono almacenado en el componente agroforestal

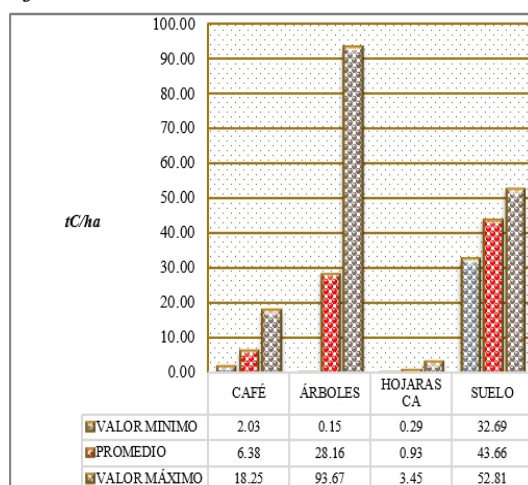


Figura 8. Carbono almacenado en el sistema agroforestal

En la figura 8 se muestran los resultados de los cuatro componentes evaluados dentro de los sistemas agroforestales, los cuales siguen el siguiente orden en relación a la cantidad de carbono que almacenan: suelo, árboles, café y hojarasca.

La cantidad de carbono almacenado en el sistema agroforestal se encuentra en rangos desde 45.22 a 144.05 tC/ha, siendo el promedio 76.49 tC/ha, valores que se ven influenciados por factores físicos y biológicos, mientras mayor biomasa exista en el sistema el almacenamiento de carbono también incrementará.

Las parcelas evaluadas que presentaron valores con mayor cantidad de almacenamiento de carbono, se encontraron en el distrito de Jaén, debido a que tuvieron mayor presencia de biomasa viva (árboles y arbustos), relacionándose directamente con la densidad de siembra así como también las especies de sombra dentro de cada uno de los ecosistemas de evaluación.

### Relación de las variables alométricas

Al realizar el análisis de regresión, en donde se utilizó a la biomasa aérea seca de la planta como variable dependiente y de las variables independientes de diámetros y alturas, se optó trabajar con la primera. Sin embargo Segura (1999), afirma que el uso de dos o más variables independientes es lo más recomendable ya que permiten estimar la biomasa de manera más exacta; pero está demostrado en numerosos estudios realizados en zonas tropicales y templadas, que el diámetro es la variable independiente de mejor ajuste; puesto que la altura de la planta muchas veces se encuentra condicionada por la edad y el ambiente competitivo en el que se desarrolla (Wirth et al. 2004).

Al relacionar estas variables se observó que los datos se encontraban muy dispersos, debido a que la biomasa al ser directamente proporcional a las variables independientes (diámetro y altura), tienden a causar variabilidad en el valor de la biomasa total de la planta.



Esta situación probablemente se encuentre influenciada por algunos factores físicos (nutrientes del suelo, drenaje, luminosidad, precipitación, temperatura, entre otros) y biológicos (factores externos como plagas, competencia de otras especies por el mismo hábitat y factores internos, como la genética de los individuos), así como también por las diferencias de manejo que algunos individuos recibieron, afectando este hecho al desarrollo de la biomasa (Moraes 2001).

Al comparar los resultados obtenidos, deducimos que, estos están en términos medios; puesto que en otras investigaciones se reportan valores exiguos de 28 tC/ha (Espinoza et al. 2012), pero del mismo modo se han encontrado resultados de hasta 196 tC/ha (PROCAFE 2004). Los valores reportados difieren como es el caso del estudio realizado en Costa Rica, en SAF con café (*Coffea arabica*) y eucalipto (*Eucalyptus deglupta*), en donde se obtuvo valores de 139 tC/ha para el sistema Café-eucalipto (4 años), 161 ton/ha en Café-eucalipto (6 años), 184 tC/ha para Café-poró (más de 10 años) y 153.9 tC/ha para café a pleno sol. (Ávila 2002).

Por su parte en la evaluación hecha en la Comarca Yassica – Sur (Nicaragua), el carbono almacenado en los diferentes SAF, oscila en un margen estrecho entre 114.7 y 166.7 tC/ha. (Suárez 2002). Así mismo en el estudio realizado en el litoral ecuatoriano, los sistemas agroforestales de cultivos de café y cacao, tienen un potencial de fijación de carbono de 187.5 tC/ha y 196.7 tC, con edades de 6.5 años para ambos cultivos. (Corral et al. 2005). Además Espinoza et al. (2012), concluyeron que un sistema agroforestal con base en café, en promedio captura alrededor de 110 tC/ha.

La gran variabilidad encontrada en los resultados se debe a que las condiciones de sitio donde se han desarrollado son muy particulares; y por tanto, variables como: edad, densidad, altura, manejo y variedad de especies, cumplen un rol fundamental en la cantidad de carbono que puede llegar a almacenar un SAF.

Ávila (2002), refiere que los resultados dependen de las condiciones de cada sitio como el clima, suelo, tipología de cafeto, manejo, entre otras variables, que influyen en el contenido de carbono dentro del sistema agroforestal a evaluar.

### Conclusiones

Como producto de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se concluye en lo siguiente:

Los cafetales con sombra diversificada son ecosistemas con un alto potencial de fijación y almacenamiento de carbono, constituyéndose así, en una alternativa importante para la incorporación de mecanismos y estrategias que contribuyan con la reducción de las emisiones de carbono y la generación de nuevos beneficios para los pequeños agricultores.

No fue factible determinar una ecuación alométrica confiable, debido a que las variables que influyeron en los datos fueron multifactoriales; por ende sólo se trabajó con el modelo de una ecuación cúbica referencial para obtener la cantidad de carbono del café en cada una de las parcelas evaluadas.

Los sistemas agroforestales cafetaleros con sombra diversificada acumulan desde un 45.22 a 144.05 tC/ha, en condiciones agroecológicas heterogéneas.

El mayor depósito de almacenamiento de carbono fue el suelo con valores que están entre 32.69 y 52.81 tC/ha, relacionándose directamente con el contenido de materia orgánica y densidad aparente.

La cantidad de almacenamiento de carbono para la biomasa aérea viva es de 2.03 – 18.25 tC/ha en café y de 0.15 – 93.67 tC/ha en árboles; cantidades relacionadas directamente con la influencia de aspectos físicos, biológicos y/o ambientales en donde se desarrollan las plantas. La hojarasca constituyó el depósito de menor almacenamiento de carbono con 0.29 y 3.45 tC/ha, representando el 1.65% de todo el sistema agroforestal.

### *Agradecimientos*

Agradecemos por el financiamiento y apoyo logístico, para hacer posible el desarrollo de este trabajo de investigación a FONDECYT – CONCYTEC, CARITAS JAÉN, COOPERATIVA DE SERVICIOS MÚLTIPLES SOL&CAFÉ, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Aguilera, SM. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Valdivia, Chile. Boletín no 14: 77–85.

Alegre, J; Ricse, A; Arévalo, L; Barbarán, J; Palm, C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU). Boletín informativo. 12: 8-9.

Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuvelop, J. 1985. Sistemas agroforestales de café (Coffee arabica) con Laurel (Cordia alliodora) y con poro (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. Biomasa y reservas nutritivas. 35(3): 233–242.

Álvarez, S. 2005. La descomposición de la materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. Madrid, ES. Consultado 21 feb 2015. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/lateral.asp>.

ANACAFE (Asociación Nacional del Café). 1998. Cuantificación Estimada del Dióxido de Carbono Fijado por el Café en Guatemala. 9º Congreso de caficultura nacional. Guatemala.

Anderson, JM; Swift, MJ. 1983. Decomposition in tropical forest. Tropical Rain Forest: ecology and management. Eds. S.L Sutton; T.C Whitmore; A.C. Chadwic. Oxford, Blackwell. USA. 287–309 p.

Arcila Pulgarín, Jaime. 2001. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. 2: 21–60.

Arcila Pulgarín, Jaime. 2001. Renovación y administración de los cafetales para estabilizar la producción de la finca. 7: 144–160.

Aristizabal, HJ; Guerra, MA. 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (Cordia alliodora) – cacao (Theobroma cacao L) – Plátano (Musa paradisíaca). Tesis de grado Ingeniero Forestal. Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 124 p.

Arreaga Gramajo, W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Peten, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 86 p.

Ávila, VG. 2002. Fijación y almacenamiento de Carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 99 p.

Barragán Moncayo, DO. 2008. Aporte y descomposición de biomasa aérea en asociaciones agroforestales y su influencia en los cultivos de café y cacao. Tesis de grado Ingeniero Forestal. Quevedo - Los Ríos, Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 116 p.

Bastienne, S; Gayoso, J; Guerra, J. 2000. Manual de Procedimientos. Muestreo de biomasa forestal (en línea). Consultado 10 ene 2015. Disponible en: [http://www.uach.cl/proforma/carbono/manmue\\_sbio.PDF](http://www.uach.cl/proforma/carbono/manmue_sbio.PDF).

Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, J; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios Ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas. 10 (37): 28.

Benjamín, JA; Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques. 7(1): 3–12. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>.

Borie, G; Aguilera, SM; Peirano, P. 1999. Actividad biológica en suelos. Frontera Agrícola. 29-32 p.



- Brown, S; Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Inter-ciencia* 17(1): 8-18.
- Brown, Sandra. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. Roma: FAO, Montes. 55 p.
- Callo-Concha D; L. Krishnamurthy; J. Alegre. 2001. Cuantificación de carbono secuestrado por algunos SAF's testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. Simposio Internacional: Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre del 2001, Valdivia Chile. 19-32 p.
- Castro, R; Cordero, S; Acevedo, C. Casos latinoamericanos de cambio climático y desarrollo. San José: Copieco de San Pedro, 2002. 320 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2001. Módulos de enseñanza agroforestal. Turrialba.
- Ciesla, W. 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Roma, IT, Estudios FAO Montes 126. 147 p.
- Cole, T; Ewel, J. 2006. Allometric Equations for Four Valuable Tropical Tree Species. *Forest Ecology and Management*, (229): 351-360.
- Corral, CR; Duicela, LA; Maza, CH. 2005. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. X Congreso de la Ciencia del suelo. Quito, Ecuador. 15 p.
- Delgadillo, RM; Quechulpa, MS. 2006. Manual de monitoreo de carbono en sistemas agroforestales. 43 p.
- Dixon, RK. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. *Agroforestería en las Américas*. Turrialba 2(7): 22-26
- Drina Bascón. 2012. Estudio de mercado de bonos de carbono. Boletín Informativo Pro/chile. Disponible en: [www.prochile.cl](http://www.prochile.cl).
- Edwin Castellanos, Alma Quillo, Digo Pons. 2010. Estudio de línea base de carbono en cafetales. Universidad del Valle de Guatemala. Centro de estudios ambientales.
- Eguren, Lorenzo. 2004. El mercado de Carbono en América Latina y el caribe. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Balance y perspectivas. Santiago de Chile. CEPAL. 83 p.
- Espinoza, DW; Krishnamurth, L; Vásquez, AA; Torres, RA. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (RCHSCFA)*. 18(1): 57-70.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. *World soil reports* 96. Rome, 58 p.
- Farrel John; Altieri Miguel. 1996. Sistemas Agroforestales. Módulo de Diseño y Manejo de Agro ecosistemas de III Curso sobre Agroecología y Desarrollo Rural. CLADES. Lima Perú.
- Fassbender, HW. 1987. Modelos Edafológicos de Sistema Agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 475 p.
- Founier, L. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. *Boletín PROMECAFE, (IICA)*. N° 71: 7-13
- Frangi, JL; A.E. Lugo. 1985. Ecosystem dynamics of subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs* 55: 351-369.
- Frietas, AL; Otárola, AE; Castillo, TD; Linares, BC; Martínez, DP; Malca, SG. 2006. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto – Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Documento técnico n° 29. 2 ed. Iquitos, Perú. 65 p.

- Garcidueñas M, AR. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 243 p.
- Gayoso A, J; Guerra C, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (CL)* 26(2): 33–38.
- Gayoso, J; Guerra, J y Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Proyecto medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Informe Final, Documento n° 1: 53 p.
- Gobierno Regional de Cajamarca. 2011. Zonificación Ecológica y Económica: Bases para el Ordenamiento Territorial del departamento de Cajamarca. Consultado 25 mayo. 2015. Disponible en: [http://www.pdrs.org.pe/Zonoficaci\\_n\\_ecol\\_gica\\_y\\_econ\\_mica\\_base\\_para\\_el\\_OT\\_de\\_Cajamarca.pdf](http://www.pdrs.org.pe/Zonoficaci_n_ecol_gica_y_econ_mica_base_para_el_OT_de_Cajamarca.pdf)
- Guerrero Fragoso, DG. 2011. Captura de carbono en cafetales de la cuenca alta del río Pijijiapan, Chiapas. Tesis de grado Licenciado en geografía. México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. 154 p.
- Honorio Coronado, EN; Baker, TR. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- ICRAF (Centro Mundial de Agroforestería). 2001. (Kurniatun Hairiah, SM Sitompul, Meine van Noordwijk and Cheryl Palm). Methods for sampling carbon stocks above and below ground. Bogor, Indonesia, 26 p.
- ICRAF (Centro Mundial de Agroforestería). 2003. Arevalo L, Alegre J, Palm Cheryl. Manual de Determinación de las Reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de Uso de la Tierra en Perú.
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change, UK). 2001. Informe de Síntesis. Resumen para responsables de políticas. 38 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change, UK). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Penman J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe & F. Wagner. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan ([www.ipcc-nggip.iges.or.jp](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp)). Capítulo IV. Métodos complementarios y orientación sobre buenas prácticas que emanan del protocolo de Kyoto. 4.2 – 4.132 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change, UK). 1990. The supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. 127 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change, UK). 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Inglaterra. Cambridge University Press.
- Jiménez Nehring, NG. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis Mag. Sc. Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 122 p.
- Larrea Aguinaga, GC. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. & determinación de la ecuación alométrica para el cacao. Tesis de pregrado. (Ingeniería ambiental). Lima, Perú. UNALM. 146 p.
- López, A. 1998. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- Macdiken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, Winrock International Institute for Agricultural Development. 45 p.

- Márquez, L. 2000. Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono. Fundación Solar. Guatemala. 29 p.
- Medina, BC. 2003. Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*Coffea arábica* L.) con sombra en la hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua. 26 p.
- Medina, C; Pérez, M; Ruiz, J. 2004. Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*coffea arábica* L.) con sombra en la comarca palo de sombrero, Jinotega, Nicaragua. La calera, Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 7 p.
- Ministerio de Agricultura. 2003. Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú. Programa para el desarrollo de la Amazonía – PROAMAZONIA. Lima, Perú. 117 p.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001. Emisión de gases con efecto invernadero y fijación de carbono en el sistema de producción de café (*Coffea arábica*) en Costa Rica. Tegucigalpa, Honduras. Boletín informativo 89: 9–17.
- Moraes, C. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Escuela de postgrado, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Návar, J; Mendez, E; Graciano, J; Dale, V; Parresol, B. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 59: 657-674.
- OCIC (Oficina Costarricense de Implementación Conjunta, CR). 1998. Actividades de Implementación Conjunta en Costa Rica. San José. 6 p.
- Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
- Ordóñez, José. 1999. Captura de Carbono en un Bosque Templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México D.F. Instituto Nacional de Ecología, 81 p.
- Ortiz Guerrero, AM; Riascos Chalapud, LD. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L. y laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica. Tesis de pregrado Ingeniero Agroforestal. San Juan de Pasto. Universidad de Nariño. 111 p.
- Ortíz, Edgar. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 16: 71.
- Ortiz-Ceballos, G. 2004. El Agroecosistema Café: Crisis de Mercado y Sustentabilidad. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz. México. 125 p.
- Paul, EA.; Harris, D; Klug, MJ; Ruess, RW. 1999. The determination of microbial biomass. En G.P. Robertson, D.C. Coleman, C.S. Bledsoe, and P. Sollins: Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press. New York. 291-317 p.
- Picard, N; Saint-André, L; Henry, M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 218 pp.
- Pineda, LR; Ortiz, CG; Sánchez, VL. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: Un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*. 11(2): 3 – 14. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61711201>.



- PNUMA/GEF (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2005. Cambio Climático: Manual de ciudadanía ambiental global.
- PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 2004. Census of Coffee Growers. San Salvador, El Salvador, PROCAFE. 64 p.
- Rajagopal, R.I. 2004. Estimación del secuestro de carbono en sistemas agroforestales a base de cítricos en el trópico húmedo mexicano. Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México.
- Rosell, R.A., 1999. Materia orgánica, fertilidad de suelos productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile
- Salamanca, J.A.; Sadeghian, K.S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé*, 56(4): 381 – 397.
- Sánchez, R.A.; Vásquez, P.C. 2010. Mapa climático del departamento de Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca. 33 p.
- Scalone Echave, M.A. 2002. Propiedades físico-químicas de los suelos. *Instituto de Agrimensura*. 10: 1 – 43.
- Segura, M. y Venegas, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Turrialba. 46 p.
- Segura, Milena y Kanninen, Markku. 2002. Inventarios para estimar Carbono en ecosistemas forestales tropicales. En: Oroz, L. y Brumér, C. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba: CATIE. 22-202 p.
- Silva C, P; Acevedo H, Edmundo; Silva R, Herman. 2000. Manual de estudios y ejercicios. Facultad de Ciencias Agronómicas. Laboratorio: Relación Suelo – Agua – Planta. Antumapu, primavera. 2 ed. 58 p.
- Soto, P.L. 2008. Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación, ECOSUR, México.
- Sotomayor, I.; Duicela, L. 1993. Botánica. In. Manual del Cultivo del Café. INIAP, Fundagro y GTZ. Quevedo, EC. 20 – 26 p.
- Suárez Pascua, D.A. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Mg. Sc. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 117 p.
- Valencia, G. (1998). Manual de nutrición y fertilización del café. Quito: Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- Walkley, A; Black, A. 1934. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Wirth, C; Schumecher, J. 2004. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*. 24: 121-139.
- Wolf, B; Snyder, G.H. 2003. Sustainable Soils: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity. food products Press of the Haworth press. New York.
- Zapata, Mauricio; Colorado, Gabriel y Del Valle, Jorge. 2003. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, S.; Del Valle, J. y Moreno F. Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 87-119 p.

## CORRESPONDENCIA

María Liliana Cabrera Tirabanti

Calle el Bosque N° 522 - Jaén - Cajamarca - Perú.

[marilin\\_23\\_25@hotmail.com](mailto:marilin_23_25@hotmail.com)