



DIRECCIÓN DE
PUBLICACIONES

ISBN: 978-9942-8697-5-3

V CONGRESO INTERNACIONAL
ESPOCH SECTEI
2018

LIBRO DE MEMORIAS

V CONGRESO INTERNACIONAL
DE LA CIENCIA, TECNOLOGÍA,
EMPRESARIADO E INNOVACIÓN

EDITORES

Ing. Luis Flores Mancheno, PhD.

Ing. Hugo Moreno Avilés, PhD.

Ing. Juan Rafael Pérez Pupo, PhD.

Ing. Marcelo Navarro Ojeda, PhD.

Lic. Blanca Naula E, MsC.

Lic. Marco Cárdenas V.

ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES PLANTADOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA

(ESTIMATE OF CARBON SEQUESTRATION IN TWO AGROFORESTRY
SYSTEMS AT SANTA CATALINA EXPERIMENTAL STATION)

R. A. Ramos Veintimilla ^{(1)*}, C.M. Nieto Cabrera ⁽²⁾,
J.R. Limongi Andrade ⁽³⁾, F.M. Romero Mancero ⁽⁴⁾

(1) Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Recursos Naturales,
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Panamericana Sur km 1 ½. Riobamba, Ecuador. EC060155

(2) Profesor Agroecología, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador.

(3) Estación Experimental Portoviejo, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

(4) Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, Distrito 3 Riobamba.

* Correspondencia, móvil 0999110240, raul.ramos@esepoch.edu.ec (R. A. Ramos Veintimilla)

RESUMEN

Este trabajo se ejecutó en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP-Ecuador, ubicada a 3050 m de altitud, 12 °C de temperatura promedio y 1 200 mm de precipitación anual. Los suelos corresponden al orden Andisoles. El propósito fue determinar el potencial de fijación y almacenamiento de carbono en dos sistemas agroforestales aptos para la sierra ecuatoriana, plantados en 1995, en comparación con un sistema a campo abierto, para generar referencias útiles para el cambio de uso del suelo de sistemas convencionales a sistemas sostenibles y amigables con el ambiente. Los SAF estudiados fueron: 1) *Acacia melanoxylum* L. y *Buddleja incana* Ruiz y Pavón; y 2) *Alnus acuminata* O. Ktze y *Spartium junceum* L. Cada Sistema, estuvo formado de dos hileras de árboles de 30 m de largo, con 30 árboles y 30 arbustos, separados en forma alternada a 1 m dentro de hileras y a 2 m entre hileras, en el espacio entre las hileras de árboles y arbustos se evaluaron tres opciones de pastos. Del mismo modo, a un metro de la línea de árboles, a los dos costados externos de las barreras se sembraron parcelas con cultivos andinos. Las variables evaluadas fueron: densidad aparente de suelo, Carbono Orgánico total en el suelo, carbono en el mantillo debajo del sistema y en la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas. Para estimar la biomasa aérea de las especies arbóreas se utilizaron dos modelos alométricos. El carbono almacenado, en los primeros 12 años, en el Sistema *A. melanoxylum* y *B. incana* fue 13 % superior (168,49 t ha⁻¹) al almacenado en el Sistema con *A. acuminata* y *S. junceum* (148,93 t ha⁻¹) y 38 % más que el sistema agrícola a campo abierto (122,22 t ha⁻¹). Alrededor del 75 % del carbono almacenado en los SAF evaluados se encuentra en la capa superficial del suelo (0,2 m), ésta característica indica la importancia del cuidado que se debe tener con el recurso suelo para evitar la erosión y la oxidación del carbono almacenado.

Palabras claves: *Secuestro de carbono, servicio ambiental, sistema agroforestal*

ABSTRACT

This work was carried out in the Santa Catalina Experimental Station of the INIAP-Ecuador, located at an altitude of 3 050 meters, with an average temperature of 12°C and 1 200 mm of annual precipitation. The soils belong to the Andisols order. The purpose of this work was to determine the potential of carbon placement and storage in two agroforestry systems of the Ecuadorian highlands, planted in 1995, in comparison with an open field system, in order to generate useful references for the change of land use from conventional systems to sustainable systems and friendly with the environment. The AFS studied were: 1) *Acacia melanoxylum* L. and *Buddleja incana* Ruiz y Pavón; and 2) *Alnus acuminata* O. Ktze and *Spartea junceum* L. Each System was composed of two rows of trees 30 m long, with 30 trees and 30 shrubs, separated in alternating spacings of 1m and 2m between rows, in the space between the rows of trees and shrubs three pasture options were evaluated. In the same manner, plots of Andean crops were planted one meter from the tree line on both external sides of the barriers. The variables evaluated were: apparent density of soil, total Organic Carbon, biomass of tree and shrub species. To estimate the aerial biomass of tree species, two allometric models were used. Carbon stored, in the first 12 years, in System *A. melanoxylum* and *B. incana* was 13% more carbon (168.49 t ha⁻¹) than an System with *A. acuminata* and *S. junceum* (148.93 t ha⁻¹) and 38% more carbon than an open air agricultural field system (122.22 t ha⁻¹), at twelve years. About 75% of the carbon stored in an agroforestry system is found in the surface layer of the soil (0,2 m), this characteristic reveals the importance and care that must be given to this resource when deciding on the type of management.

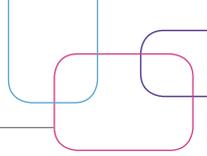
Key words: *Carbon sequestration, environmental service, agroforestry system.*

1. Introducción

En las últimas décadas, con el desarrollo desmesurado de algunas economías la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera ha aumentado considerablemente, esto tiene como consecuencia un incremento en la temperatura ambiental de la tierra, que podría generar un cambio climático con alteraciones en los ciclos hídricos, sequías, inundaciones y más desastres naturales que comprometerían la existencia de vida en el planeta (1, 2, 3, 4).

El uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo son considerados a nivel mundial como las dos principales fuentes netas de CO₂ a la atmósfera, relacionadas con el cambio climático global (5, 2). Entre 1 989 y 1 990 las emisiones de CO₂ provenientes del uso de combustibles fósiles se estimó en 6,0 ± 0,5 Gt C, comparada con 5,7 ± 0,5 Gt C emitidas en 1 987 (6). Por otro lado, el flujo neto de CO₂ emitido por cambio en el uso del suelo (principalmente por deforestación), se ha estimado en 1,6 ± 1 Gt C para la década de los 1980 (7, 8, 9, 10).

El Protocolo de Kyoto y las subsecuentes Conferencias de las Partes (COP) de la Convención de Cambio Climático han despertado interés sobre el potencial de los ecosistemas Forestales y Agroforestales para fijar carbono, ya que la única forma de limpiar el CO₂ de la atmósfera es a través de la fotosíntesis. Considerar este servicio ambiental y evaluarlo en términos ecológicos puede estimular pro-



yectos forestales dentro del marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio o para iniciativas de mercados paralelos de biocarbono (11, 12, 13, 14).

Los sistemas agroforestales son, no sólo una alternativa de producción sostenible, sino un modelo de agricultura climáticamente inteligente ya que permite diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos con la venta de servicios ambientales por reducción del CO₂ atmosférico (15, 16, 17, 18, 19). El establecimiento de mercados de servicios ambientales puede contribuir de distintas maneras al desarrollo sostenible en el medio rural y en algunos casos sus beneficios trascienden el nivel local y adquiere una dimensión regional y hasta global (20, 21). El desarrollo de estos mercados puede conducir: al surgimiento de nuevas actividades económicas, generación de empleo y de ingresos a generadores de servicios ambientales. También, permite la transferencia de conocimientos y de recursos de otros sectores nacionales e internacionales al medio rural (22).

En un experimento realizado por (23) en el corregimiento de Santa Elena, Medellín-Colombia, encontró que un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* con *Pennisetum clandestinum* almacenó 403,33 t ha⁻¹ de carbono orgánico total (sobre y bajo el suelo), mientras que en potreros sin árboles encontró 272,03 t C ha⁻¹. Esta es una muestra de interés por conocer el potencial de almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales, ya que estos pueden ser reconocidos en sistemas de compensación o pago por servicios ambientales (PSA); por ejemplo, en Costa Rica, los Sistemas Agroforestales ya son reconocidos en programas de PSA a través del decreto No. 30962, en virtud de los servicios ambientales que brindan a la sociedad, entre los cuales se encuentran el secuestro de carbono.

Con base en la situación actual, la agroforestería puede considerarse como una estrategia REDD+, ya que puede contribuir a conservar y recuperar reservas de carbono, por lo menos mitigando la presión por deforestación de nuevas áreas para fines agrícolas, a través de la implementación de métodos comprobados de rehabilitación de áreas forestales degradadas en relación a los gradientes climáticos y potencialidades ecológicas de las especies (24).

La investigación se realizó en un experimento de dos sistemas agroforestales que se ha venido investigando durante doce años consecutivos en la Estación Experimental Santa Catalina, EESC, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, cuyo objetivo fue probar los sistemas agroforestales para optimizar el uso del suelo y generar referencias útiles para el cambio de uso de sistemas convencionales a sistemas sostenibles y amigables con el ambiente, como alternativa de manejo sostenible de pequeñas parcelas que representan el minifundio de la sierra ecuatoriana. En este estudio se cuantificó la biomasa y carbono almacenado en la fito-masa aérea (biomasa y mantillo) y el suelo a 0,20 m de profundidad.



2. Materiales y Métodos

2.1 Descripción del sitio

La evaluación de la biomasa y carbono se realizó en un experimento agroforestal de doce años de edad, ubicado en la EESC del INIAP, a 3 050 m de altitud, 0° 22' Latitud Sur y 78° 23' de Longitud Oeste, 12° C de temperatura promedio y 1 200 mm de precipitación anual. Los suelos corresponden al orden Andisoles, de textura franca y de topografía relativamente plana.

2.2 Descripción del ensayo

Los sistemas agroforestales (SAF) estudiados fueron: 1) La combinación Acacia-Quishuar, *Acacia melanoxylum* L. y *Buddleja incana* Ruiz y Pavón; y 2) La combinación Aliso-Retama, *Alnus acuminata* O. Ktze y *Spartium junceum* L.; donde Acacia y Aliso, entraron como componentes arbóreos, mientras que Quishuar y Retama, como componentes arbustivos. Se utilizó una parcela control, a campo abierto, de las mismas dimensiones y con el mismo manejo de cultivos (durante el periodo de investigación) que en las parcelas agroforestales.

Cada SAF, estaba formado por dos hileras de árboles de 30 m de largo, con 30 árboles y 30 arbustos, separados en forma alternada a 1 m dentro de hileras y a 2 m entre hileras. Las barreras están orientadas de Norte a Sur, el área ocupada por cada sistema es de 2 840 m², incluidos caminos.

En el espacio entre las hileras de árboles y arbustos se sembraron tres opciones de pastos: alfalfa (*Medicago sativa* L); Rye Grass (*Lolium perenne* L.) y una mezcla de Rye Grass con trébol blanco (*Trifolium repens* L.), en parcelas de 20 m² cada uno. Del mismo modo, a un metro de la línea de árboles, a los dos costados externos de las barreras se sembraron parcelas con cultivos propios de la zona (Figura 1).

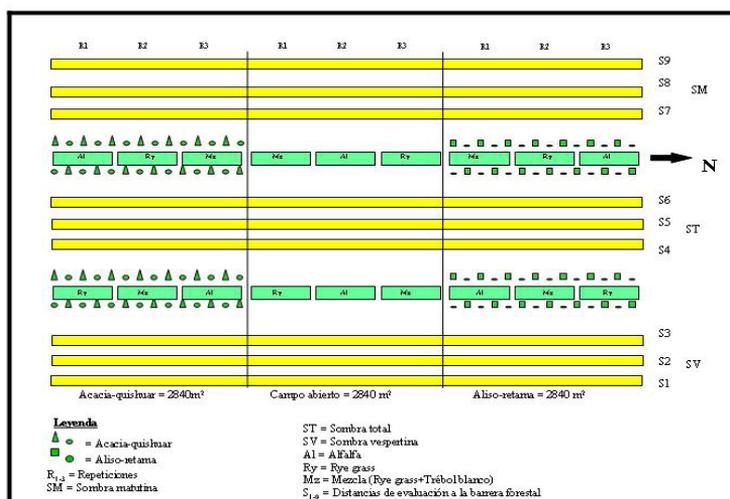


Figura 1. Disposición de los componentes de los Sistemas agroforestales evaluados.

El manejo agronómico de los sistemas agroforestales evaluados y la tecnología aplicada fue similar al manejo de los agroecosistemas típicos de subsistencia de la sierra ecuatoriana, es decir, sin la aplicación reiterada de pesticidas, en cada ciclo de cultivo; de igual forma, las especies arbóreas y arbustivas se manejaron con podas anuales, para conseguir la formación de fuste comercial de los árboles, y para obtener leña de árboles y arbustos y biomasa fresca (forraje) de los arbustos.

Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis Systems para Windows V8 (SAS V8) y se aplicaron diferentes metodologías, así: medidas de tendencia central y de dispersión, análisis de varianza. El nivel de significancia utilizado en las pruebas estadísticas realizadas fue del 95%. Para comparar las medias de las variables se realizaron pruebas de rangos múltiples de Duncan.

2.3 Metodología de toma de datos

• Inventario de árboles y arbustos

En todos los árboles presentes en cada SAF en estudio se registraron las siguientes variables: Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) a 1,3 m del suelo, en cm, altura del fuste (m) y altura total (m). En arbustos se cuantificó la biomasa total en forma destructiva (n=9).

• Estimación de biomasa aérea y carbono en el componente leñoso

Para estimar la biomasa aérea de las especies arbóreas se utilizó el modelo alo-

métrico elaborado por Riofrío (25) para *A. melanoxylum* y Muñoz (26) para *A. acuminata*. Se prefirió utilizar estos modelos alométricos ya que fueron generados en las mismas condiciones climatológicas y de ubicación que los sistemas agroforestales estudiados.

Modelo alométrico para *A. melanoxylum*, (25):

Dónde: Y = Biomasa aérea total (kg/árbol), DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm), elevado al cuadrado.

Modelo alométrico para *A. acuminata*, (26):

Dónde: Y = Biomasa aérea total (kg/árbol), DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm), Ht= Altura total elevado al cuadrado

El carbono almacenado en las especies leñosas se estimó multiplicando la biomasa aérea total por el factor 0,5 recomendado por el IPCC.

- **Carbono orgánico en el suelo (CO)**

En nueve puntos de muestreo ubicados en un transecto Este-Oeste, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 0,2 m y se envió al Laboratorio de Suelos de la EESC del INIAP, para determinar el porcentaje de carbono orgánico, con estos resultados se estimó la cantidad de carbono presente en el suelo. Para tal efecto se utilizó la siguiente fórmula.

Dónde: CS = Carbono en el suelo (t C ha⁻¹)

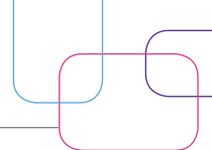
P = Profundidad de muestreo en (m), CC = Contenido de Carbono (%), Da = Densidad aparente en (t m⁻³), Se multiplica por 100 para convertir a toneladas ha⁻¹.

- **Densidad aparente (Da)**

Para esta variable se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido” (27), donde se tomaron muestras de 0-0,2 m de profundidad, ubicando el cilindro muestreador en el tercio medio de la profundidad en estudio, las muestras se analizaron en el laboratorio de Suelos de la EESC del INIAP.

- **Carbono almacenado en el mantillo/hojarasca**

La hojarasca se cuantificó con la ayuda de un cuadrante de 0,25 x 0,25 m, realizando seis evaluaciones por SAF. Los contenidos de hojarasca de cada muestra fueron pesados en el campo y se enviaron al laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP para obtener la biomasa del material. El contenido de carbono de la hojarasca se calculó con base en biomasa total y el



factor de conversión (0,5) recomendado por el IPCC.

- **Carbono almacenado en los sistemas de uso de la tierra en estudio**

La cantidad de carbono almacenado por los sistemas de uso de la tierra evaluados fue la sumatoria del carbono de: la biomasa aérea, la hojarasca o mantillo y la capa arable del suelo y se expresó en $t\ ha^{-1}$.

3. Resultados y discusión

3.1 Inventario de árboles y arbustos

En el componente leñoso de cada SAF evaluado se registraron las siguientes variables de crecimiento: DAP a 1,3 m del suelo, en árboles, diámetro del fuste a 0,1 m del suelo, en arbustos y altura total tanto en árboles como en arbustos. En la Tabla 1 se presentan los datos promedios de estas variables, evaluadas al décimo segundo año de la plantación, donde se observa un comportamiento diferenciado de las especies evaluadas por estas variables. En el caso de *A. melanoxyllum* presentó un DAP de $22,22 \pm 3,96$ cm y una altura total de $15,51 \pm 1,57$ m en comparación a *A. acuminata* que presentó un DAP de $13,97 \pm 3,19$ cm y una altura total de $9,25 \pm 1,25$ m. En el caso del componente arbustivo, la retama (*S. junseum*) presentó un diámetro del fuste a 0,1 m del suelo de $16,91 \pm 3,19$ cm, frente a $12,04 \pm 1,97$ cm de quishuar (*B. incana*); las dos especies arbustivas presentaron una altura total de alrededor de 4 m. La variabilidad encontrada en las especies estudiadas por medio de las variables de crecimiento del componente leñoso de los SAF, se debe posiblemente al comportamiento característico de cada una de las especies, más no al efecto de la asociación en cada uno de los SAF.

Especie	Promedio	
	Diámetro (cm)	Altura total (m)
<i>A. melanoxyllum</i>	$22,22 \pm 3,96$ *	$15,51 \pm 1,57$
<i>A. acuminata</i>	$13,97 \pm 3,19$ *	$9,25 \pm 1,25$
<i>B. incana</i>	$12,04 \pm 1,97$ **	$4,05 \pm 0,62$
<i>S. junseum</i>	$16,91 \pm 3,19$ **	$4,88 \pm 1,25$
* = Diámetro del fuste a 1,3 m del suelo		
** = Diámetro del fuste a 0,1 m del suelo		

Tabla 1. Resultados de la evaluación del crecimiento del componente leñoso (árboles y arbustos) de los Sistemas Agroforestales en la EESC.

3.2 Biomasa seca aérea el componente leñoso

Para evaluar esta variable se sumó la biomasa presente tanto en árboles como en arbustos de cada SAF. Los promedios de biomasa aérea de los sistemas de uso del suelo evaluados fueron diferentes entre ellos. El mayor rendimiento promedio de biomasa aérea, se registró en el sistema Acacia-Quishuar con $63,00 \pm 7,40$ $t\ ha^{-1}$,

seguido por el sistema Aliso-Retama con apenas $18,75 \pm 1,79 \text{ t ha}^{-1}$ y finalmente, para el sistema control (campo abierto), por obvias razones no se registró biomasa leñosa (Figura 2). En esta gráfica se puede observar también que del total de biomasa leñosa presente en SAF Acacia-Quishuar, el 93,67 % corresponde al componente arbóreo y únicamente un 6,33 % al componente arbustivo; mientras que en el SAF Aliso-Retama el componente arbóreo aportó con el 74,75 % y el componente arbustivo con el 25,25 %. La gran diferencia en el aporte de biomasa entre las especies del componente leñoso de los SAF evaluados depende principalmente al hábito de crecimiento de las especies evaluadas, ya que *A. melanoxylum* presentó un IMA2 para DAP y altura Total del 48 % superior a *A. acuminata*, en las condiciones medioambientales de EESC. Según Nair PKR (28), es de esperar estos comportamientos de las especies arbóreas en áreas intervenidas y degradadas, lo que podría ser relativamente eficiente comparada con otras estrategias de uso de la tierra, debido a que los SAF producen aportes significativos de hojarasca que mejoran paulatinamente la fertilidad de los suelos y favorecen la acumulación de carbono a corto plazo.

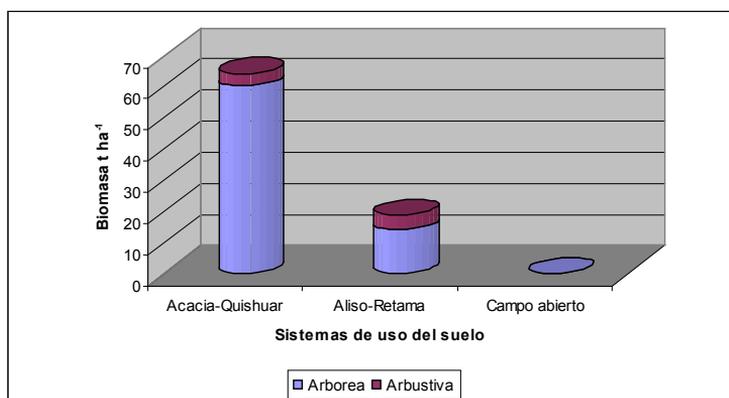


Figura 2. Biomasa seca aérea total de árboles y arbustos de los Sistemas Agroforestales en la EESC.

3.3 Densidad aparente (D_a) y Carbono Orgánico en el suelo (CO)

En estudios de contenidos de carbono en suelo es muy importante conocer la densidad aparente de éste ya que una de las formas de reportar el contenido de CO es por unidad de volumen. En el análisis de varianza realizado para el contenido de carbono en el suelo, no se encontró diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los sistemas de uso de la tierra en estudio, encontrándose un promedio de $0,99 \text{ g/cm}^3$, en los primeros $0,2 \text{ m}$ de profundidad. Un alto contenido de materia orgánica en el suelo tiende a disminuir su densidad aparente, debido a que sus componentes son menos densos que los componentes minerales (29).

Varios investigadores (30, 31) indican que la dinámica del carbono en el suelo puede dividirse en tres fracciones: la fracción activa o carbono microbiano el

cual representa entre 1 y 2% del carbono orgánico total (CO total), la fracción de carbono orgánico lento (CO lento) y el carbono orgánico pasivo (CO pasivo). En esta investigación se analizó únicamente el CO total en la capa superficial (0 a 0,2 m). La evaluación del efecto de los SAF en estudio sobre el CO total se realizó a través de un análisis de varianza para un diseño irrestricto al azar (DIA) con tres observaciones. De los resultados de este análisis se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,0001$) para SAF. La comparación múltiple de Duncan con un α del 5% para SAF en la variable contenido de CO total, determinó que los SAF Aliso-Retama con $136,52 \text{ t ha}^{-1}$ y Acacia-Quishuar con $131,48 \text{ t ha}^{-1}$ de CO, respectivamente, fueron significativamente mayores que el sistema Campo Abierto que presentó $122,22 \text{ t ha}^{-1}$ de CO total (Figura 3).

Estos contenidos de carbono en suelo, a 0,2 m de profundidad, son el doble de los promedios reportados por otros investigadores (32, 22, 30) en estudios de suelo bajo diferentes sistemas de uso de la tierra en Centro América. El contenido del CO total en el suelo se relaciona con la biomasa de raíces finas (30). Es decir, tiene una tendencia a disminuir con el incremento en profundidad ya que una de las principales entradas de carbono al suelo está dado por la muerte constante de raíces finas (27, 28, 20).

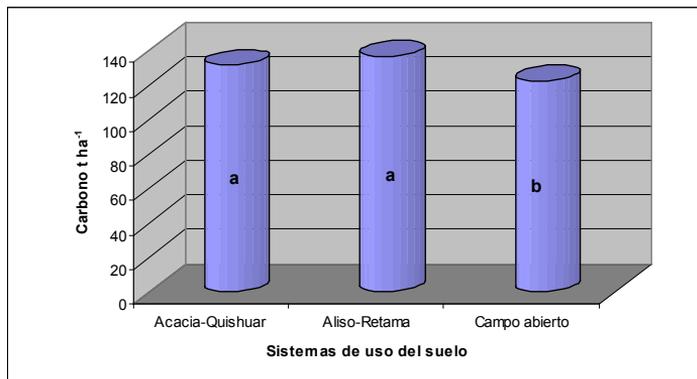


Figura 3. Promedios de Carbono total en suelo, a 0,2 m de profundidad, de Sistemas Agroforestales y Campo Abierto, evaluados en la EESC. (Letras iguales no difieren significativamente Duncan $p < 0,05$).

3.4 Cantidad de carbono en el mantillo/hojarasca

La presencia del componente leñoso en los sistemas agroforestales estudiados influyó considerablemente primero en el volumen de mantillo acumulado en la superficie del suelo y luego, en el de secuestro de carbono en el mantillo (hojarasca). El aporte de carbono en el mantillo u hojarasca (Figura 4) fue de $5,52 \text{ t ha}^{-1}$ para Acacia-Quishuar y de $3,03 \text{ t ha}^{-1}$ para Aliso-Retama, correspondiendo al 3,26 % y 2,03 % del carbono total de los SAF antes indicados, respectivamente. Datos parecidos reportan varios autores entre ellos, (8, 20) en SAF en ecozonas húmedas y sub-húmed

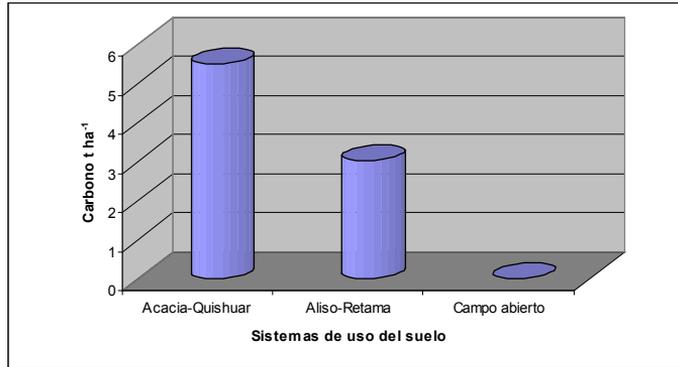


Figura 4. Carbono almacenado en mantillo/hojarasca de Sistemas de uso del suelo (Acacia-Quishuar, Aliso-Retama y Campo Abierto) evaluados en la EESC.

3.5 Carbono almacenado en los sistemas de uso del suelo en estudio

Para evaluar esta variable se sumó el CO total almacenado en los componentes evaluados (en la parte aérea y bajo el suelo hasta 0,2 m de profundidad), en cada uno de los sistemas de uso del suelo. Con estos datos, se realizó un análisis de varianza para un Diseño Irrestringido al Azar (DIA). Este análisis detectó que los Sistemas de uso de la tierra Acacia-Quishuar (168,49 t ha⁻¹), Aliso-Retama (148,93 t ha⁻¹) y Campo Abierto (122,22 t ha⁻¹) de CO, fueron estadísticamente diferentes entre ellos ($p < 0,05$), (Figura 5) y al realizar la prueba de significación Duncan al 5%, esta encontró que los sistemas agroforestales Acacia-Quishuar y Aliso-Retama almacenan mayor cantidad de carbono que un sistema agrícola a campo abierto, por lo cual proporcionan un servicio ambiental. En ese sentido, (33) corroboran lo encontrado en la investigación y manifiestan que se estima que el establecimiento de sistemas agroforestales a escala global puede capturar cerca de 38 billones de megagramos de carbono, con una capacidad de almacenamiento de carbono que oscila entre 12 y 200 Mg ha⁻¹, y aproximadamente 95 Mg ha⁻¹ en zonas tropicales

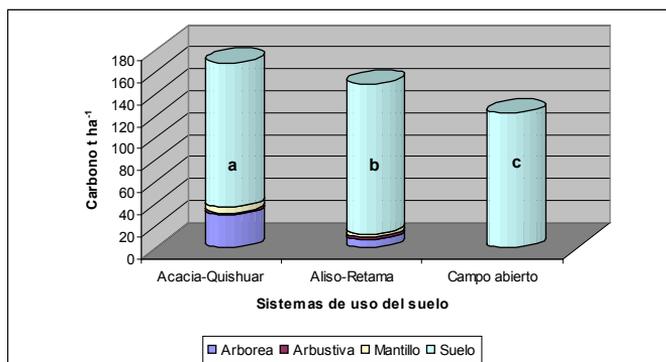
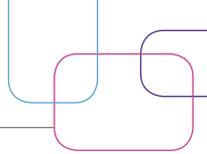


Figura 5. Carbono almacenado en Sistemas de uso de la tierra (Acacia-Quishuar, Aliso-Retama y Campo Abierto), evaluados en la EESC (Letras iguales no difieren significativamente Duncan $p < 0,05$).



En la Figura 5, se puede observar también que los SAF se presentan como sumideros eficaces de carbono (38 % en el caso de Acacia-Quishuar y 22 % en Aliso-Retama), superiores, en comparación al sistema Campo Abierto; de los cuales, el 22,26 % y 8,37 % son incrementos de carbono en los SAF Acacia-Quishuar y Aliso-Retama por efecto de las especies leñosas. Por otra parte, se puede observar que el suelo es un componente muy importante para almacena el carbono, debido a que sobre el 75 % del CO total de los SAF se encuentra en éste, lo cual indica la importancia que hay que darle a este recurso en cuanto a su manejo, ya que si no se utiliza tecnología adecuada éste se puede perder por erosión, situación observable en más del 80 % de los suelos de la Sierra ecuatoriana. Estos datos corroboran a lo reportado por varios autores entre ellos (32, 28, 22, 30), donde manifiestan haber encontrado en estudios bajo Sistemas Silvopastoriles sobre el 80% del CO total en el suelo y el 20% en componentes sobre el suelo.

4. Conclusiones

Los Sistemas Agroforestales probados en la EESC (Acacia-Quishuar y Aliso-Retama), en comparación con el sistema agrícola a Campo abierto, proporcionan un servicio ambiental de almacenamiento de carbono que es significativo, aunque variable dependiendo de las especies leñosas que conforman los sistemas.

Un Sistema Agroforestal con *Acacia melanoxylum* y *Budlejja incana* almacena 13 % más carbono que un Sistema Agroforestal con *Alnus acuminata* y *Spartium junceum* y 38 % más que un sistema agrícola a campo abierto, evaluados a los doce años desde su plantación.

Alrededor del 75 % del carbono almacenado en un Sistema Agroforestal se encuentra en la capa superficial del suelo (0 a 0,2 m), ésta característica indica la importancia del cuidado que se debe tener con el recurso suelo agrícola, especialmente al momento de decidir en el tipo de uso y labranza, para evitar no solamente la erosión del mismo sino la oxidación de la materia orgánica contenida y con ello la pérdida de CO.

Agradecimientos

Dejamos nuestro sincero agradecimiento al equipo técnico del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de INIAP Santa Catalina por su apoyo brindado en la ejecución del proyecto de investigación en Agroforestería, y a la SENESCYT (FUNDACYT) quienes aportaron económicamente en el desarrollo de la iniciativa.

Conflicto de intereses

No existe ningún tipo de conflicto en razón de que la información generada en la investigación es para apoyo de quienes puedan necesitar en beneficio técnico científico.



Referencias

1. Wigley, T. M. L., 1999. The science of climate change: global and US perspectives. Washington, Pew Center on Global Climate Change. 48 p.
2. Thompson ID, J Ferreira, T Gardner, M Guariguata, LP Koh, K Okabe, Y Pan, CB Schmitt, J Tylianakis. 2012. Forest biodiversity, carbon and other ecosystem services: relationships and impacts of deforestation and forest degradation. In Parrota J, C Wildburger, S Mansourian eds. Understanding Relationships between Biodiversity, Carbon, Forests and People: The Key to Achieving REDD+ Objectives. Viena, Austria. A global assessment report IUFRO. p. 21-52.
3. Thompson ID, M Guariguata, V Kapos, K Okabe, C Bahamondez, V Heymell, R Nasi, C Sabogal. 2013. An operational framework for defining and monitoring forest degradation. *Ecology and Society* 18(2): 20. <<http://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss2/art20>>.
4. Ciais, P.; C Sabine, G Bala, L Bopp, V Brovkin, J Canadell, A Chhabra, R DeFries, J Gal- loway, M Heimann, C Jones, C Le Quéré, RB Myneni, S Piao, P Thornton. 2013. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In Stocker, TF, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, PM Midgley eds. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York. Cambridge University Press. p. 465-570
5. Mintzer, I. 1992. Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses. Cambridge, University Press, Cambridge.
6. IIPCC, 1990. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
7. IPCC, 1992. Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
8. Pan Y, RA Birdsey, J Fang, R Houghton, P Kauppi, WA Kurz, OL Phillips, A Shvidenko, SL Lewis, JG Canadell, P Ciais, RB Jackson, SW Pacala, AD McGuire, S Piao. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993. DOI: 10.1126/science.1201609.
9. Porro R, RP Miller, MR Tito, JA Donovan, JL Vivan, R Trancoso, RF Van Kanten, JE Gri- jalva, BL Ramirez, AL Gonçalves 2012. Agroforestry in the Amazon Region: A Pathway for Balancing Conservation and Development. In Nair PKR, D Garrity eds. Agroforestry: The Future of Global Land Use. Advances in Agroforestry 9. p. 391-428. DOI 10.1007/978- 94- 007-4676-3_20.
10. Boucher, D.; S. Roquemore, E. Fitzhughl. 2013. Brazil's Success in Reducing Deforestation. *Tropical Conservation Science* 6 (3): 426-445.
11. Benítez, P.; De Koning, F.; López, M.; Paredes H. 2002. Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente del Ecuador. Informe TWF-31s. Del Programa de Apoyo Ecológico (TÖB) de la Cooperación Técnica Alemana GTZ. Eschborn – Alemania. 2 p.
12. Laurance WF, MA Cochrane, S Bergen, PM Fearnside, P Delamonica, C Barber, S D' Ange- lo, T Fernandes. 2001. The future of the Brazilian Amazon. *Science* 291: 438-439.
13. Laurance WF, AKM Albernaz, FM Fearnside, HL Vasconcelos, LV Ferreira. 2004. Defor- estation in Amazonian. *Science* 21: 1109-1111.
14. Gatti LV, M Gloor, JB Miller, CE Doughty, Y Malhi, LG Domingues, LS Basso, A Martin- ewski, CSC Correia, VF Borges, S Freitas, R Braz, LO Anderson, H Rocha, J Grace, OL Phillips, J Lloyd. 2014. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmo-

- spheric measurements. *Nature* 506: 76-86. DOI: 10.1038/nature12957.
15. Soares-Filho BS, DC Nepstad, LM Curran, GC Cerqueira, RA Garcia, CA Ramos, E Voll, A McDonald, P Lefebvre, P Schlesinger. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 440: 520-523. DOI: 10.1038/nature04389.
 16. Nobre CA, LDS Borma. 2009 'Tipping points' for the Amazon forest. *Current Opinion Environment Sustainability* 1: 28-36. DOI: 10.1016/j.cosust.2009.07.003.
 17. Nepstad DC, BS Soares-Filho, F Merry, A Lima, P Moutinho, J Carter, M Bowman, A Cattaneo, H Rodrigues, S Schwartzman, DG McGrath, C Stickler, R Lubowski, P Piris-Cabezas, S Rivero, A Alencar, O Almeida, O Stella. 2009. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 326: 1350-1351. DOI: 10.1126/science.1182108.
 18. Soares-Filho B, P Moutinho, D Nepstad, A Anderson, H Rodrigues, R Garcia, L Dietzsch, F Merry, M Bowman, L Hissa, R Silvestrinia, C Maretti. 2010. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 10821-10826. DOI: 10.1073/pnas.0913048107.
 19. Aragão LEOC, B Poulter, J Barlow. 2014. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews* 89(4): 913-931. DOI: 10.1111/brv.12088.
 20. Kapos V, WA Kurz, T Gardner. 2012. Impacts of forest and land management on biodiversity and carbon. In Parrota JA, C Wildburger, S Mansourian eds. *Understanding Relationships between Biodiversity, Carbon, Forests and People: The Key to Achieving REDD+ Objectives*. Viena, Austria. A global assessment report IUFRO. p 53-78.
 21. Tremblay S, M Lucotte, JP Revéret, R Davidson, F Mertens, CJ Passos, CA Romaña. 2015. Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in smallscale agriculture. *Agroforestry Systems* 89: 193-204. DOI: 10.1007/S10457-014-9753-Y.
 22. Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 106 p.
 23. Giraldo L. A.; Zapata M.; Naranjo J. F.; Sneider M.; Cuartas C. A.; Botero A.; Arias L. 2003. Estimación de las existencias de carbono en el sistema silvopastoril *Acacia decurrens* con *Pennisetum clandestinum*. In *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Contribuciones para la mitigación del cambio climático*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Departamento de Ciencias forestales/Centro Andino para la economía en el medio ambiente. Colombia 314 p.
 24. Villa, PM.; Martins, S.; Delgado L.; Nolasco de Oliveira, Silvio, Mota N. 2015. La agroforestería como estrategia para la recuperación y conservación de reservas de carbono en bosques de la Amazonía. *Bosques* 36(3):347-356. DOI: 10.4067/S0717-92002015000300002
 25. Riofrío, J.; Ramos, R. y Muñoz, J. 2006. Ajuste de modelos alométricos para biomasa de *Acacia melanoxylum* L. bajo Sistema Agroforestal en la Sierra ecuatoriana.
 26. Muñoz, J.; Ramos, R.; Riofrío, J. y Nieto, C. 2007. Modelos alométricos para estimación de carbono en aliso (*Alnus acuminata* O. Ktze) bajo sistema agroforestal en la sierra ecuatoriana.
 27. MacDiken, K. 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International, 1611 N. Kent St., Suite 600, Arlington, VA 22209, USA. 87 p.
 28. Nair PKR, VD Nair, BM Kumar, JM Showalter. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances Agronomy* 108: 237-307. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)08005-3.
 29. Henríquez C.; Cabalceta G. 1999. *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. Universidad de Costa Rica/ACCS. 1 ed. San José, C. R. 112 p.
 30. Ramos, R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la

tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.

31. Ramos, R. Miranda, A. Crisanto, T. 2017, Romero, F. 2017. Comparativo de almacenamiento de carbono en Bosque Análogo y dos tipos de uso de la tierra, en el cantón Cumandá-Chimborazo-Ecuador. *In* memorias Primer Congreso de Bosques y Agroforestería para el Siglo XXI. ESPOCH 2017. Riobamba-Ecuador (en edición).
32. López, M.; Koning, F.; Paredes, H.; Benítez, P. 2002. Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el noroccidente de Ecuador (en línea). Proyecto CO₂-GTZ / University of Gottingen, Gottingen-Alemania. Consultado el 10 de oct. del 2003. Disponible en <http://www.gtz.de/toeb>
33. Albrecht A, ST Kandji. 2003. Carbon sequestration in tropical Agroforestry Systems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 99: 15-27.