

## Almacenamiento de carbono en suelos de sistemas agroforestales y cultivos integrados en Buenaventura (Colombia)\*

Luz Nancy Rentería C.<sup>70</sup>  
Juan Carlos Montoya Salazar<sup>\*\*</sup>  
Víctor Hugo Moreno<sup>\*\*</sup>

### RESUMEN

La acumulación de carbono en biomasa y/o suelo en ecosistemas terrestres es una alternativa para la mitigación de gases efecto invernadero; muchos autores señalan la importancia de realizar investigaciones relacionadas con el almacenamiento de carbono en los diferentes usos del suelo; los sistemas agroforestales (saf) pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. El propósito del trabajo fue cuantificar el potencial de almacenamiento de carbono orgánico (co) en el suelo de un saf comparado a un sistema integrado de cultivo (sic). El estudio se realizó en la vereda zacarías, buenaventura d.e., ubicado a 23,5m.s.n.m., con temperatura y precipitación promedia de 25,5°C y 7.407,9mm. El muestreo fue completamente al azar, en parcelas de 5.000m<sup>2</sup> (saf y sic). En ambos sistemas, usando un marco de 0,25m<sup>2</sup> se colectaron muestras de hojarasca para determinar el aporte de co, y en el mismo lugar se colectaron muestras de suelo a 0-10, 10-20 y 20-30cm. el co en hojarasca se determinó mediante walkley-black y en suelo por colorimetría (curva de glucosa). Se determinaron ph, nitrógeno, textura y densidad aparente (da) del suelo. La tasa de descomposición de hojarasca se evaluó mediante mallas en campo. el almacenamiento de co mostró diferencias significativas entre sistemas ( $p < 0.01$ ). la prueba dms ( $\alpha = 5\%$ ) indicó que el co-total en el saf fue 45,22ton/ha en suelo y 0,52ton/ha en hojarasca y en el sic 59,64ton/ha y 2,03ton/ha respectivamente. el 68,69% del co del saf está almacenado a 0-20cm frente al sic con 66,78%, aunque el co fue mayor a 20-30cm que en 10-20cm, indicando acumulación de humus. en ambos sistemas el co disminuyó en profundidad, contrario a la da; el ph fluctuó entre 5,2 a 6,3 en ambos suelos, aumentando en profundidad. la tasa de descomposición de hojarasca indicó que en 178 días el 46,5% y 44,8% del material vegetal se mineralizó en el saf y sic respectivamente.

**Palabras claves:** captura de carbono, sistema agroforestal, suelos.

### ABSTRACT

The carbon accumulation in biomass and/or soil in terrestrial ecosystems are an alternative for greenhouse gases mitigation; many authors have noted the importance of relating to carbon storage on different land uses research; the agroforestry systems (saf) can maintain and even increase carbon stocks in vegetation and soils. The purpose of this study was to quantify the potential storage of organic carbon (oc) in the soil of a saf compared to an integrated culture system (sic). The study was conducted

\* Fecha de recepción Febrero 4 de 2014 y fecha de aceptación Julio 8 de 2014

<sup>70</sup> Estudiante programa de Agronomía- Universidad del Pacífico. Luznancy\_90@hotmail.com

<sup>\*\*</sup> Docente de Planta, Universidad del Pacífico.  
jcmontoya\_agro@yahoo.com; vitico\_73@hotmail.com

in zacarias Buenaventura d.e. (Colombia), located at 23.5 meters above sea level, temperature and precipitation average are 25.5°C and 7407.9mm. Sampling was completely randomized in plots of 5000m<sup>2</sup> (saf and sic). In both systems, using a frame of 0.25 m<sup>2</sup> were collected litter samples to determine the contribution of CO<sub>2</sub>, and in the same place were collected samples soil 0-10, 10-20 and 20-30cm. The OC in litter was determined by Walkley-Black and soil by colorimetry (glucose curve). pH, nitrogen, texture and bulk density (bd) of the soil was determined. The decomposition rate of litter was evaluated by field meshes. Storage of OC showed significant differences between systems ( $p < 0.01$ ). The DMS test ( $\alpha = 5\%$ ) indicated that the total OC-saf was 45.22ton/ha in soil and 0.52ton/ha in the litter and sic 59.64t/ha and 2.03t/ha respectively. The 68.69% of OC-saf stored at 0-20cm in front of the sic with 66.78%, while the CO<sub>2</sub> was greater than 20-30cm 10-20cm, indicating accumulation of humus. In both systems the OC decreased in depth, contrary to bd; pH ranged from 5.2 to 6.3 in both soils, increasing cross. The rate of decomposition of leaf litter in 178 days indicated that 46.5% and 44.8% of the plant material was mineralized in the saf and sic respectively.

**Keywords:** carbon sequestration, agroforestry system, soil.

## Introducción

El cambio climático representa una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido al gran impacto negativo que está causando en la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física (Eguren, 2004).

Dicha problemática mundial y sus posibles efectos en las generaciones actuales y futuras y sobre los recursos naturales, radica en que la mitigación del cambio climático se ha convertido en un reto primordial para la economía y la ciencia dedicada a la conservación del medio ambiente. Una forma de mitigar el cambio climático es la reducción de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera mediante el establecimiento de sistemas agroforestales (saf) capaces de capturar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y almacenarlo como biomasa aérea y subterránea y también en el suelo, donde se almacena por largos periodos de tiempo (Gayoso y Guerra, 2005).

En la costa pacífica por sus condiciones climáticas, los agricultores generalmente establecen parcelas agroforestales para obtener sus alimentos y beneficios económicos por la venta de productos. Actualmente existen pocos registros o estudios que muestren la capacidad o cantidad de carbono almacenado en el suelo de los saf del distrito de Buenaventura. La importancia y el aporte de esta investigación en el ámbito regional es que conociéndose la potencialidad del almacenamiento de carbono en los suelos de los saf se pueda implementar los incentivos económicos como pago por servicios ambientales (PSA), además que esta información sirva como línea base para la estimación del carbono capturado en los saf de la zona. El objetivo general de la investigación fue: cuantificar el carbono orgánico almacenado en el suelo de un sistema agroforestal y un sistema integrado de cultivo en la vereda Zacarías, distrito de Buenaventura; como objetivos específicos se tuvieron los siguientes: determinar el aporte del carbono orgánico de la hojarasca en la superficie del suelo en dos sistemas de producción, estimar el contenido de carbono orgánico almacenado en el suelo a tres profundidades, comparar el efecto del uso de la tierra (saf vs sic) sobre el carbono orgánico del suelo.

## Metodología

### Descripción del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el distrito de buenaventura en dos parcelas de la vereda zacarías río dagua, que pertenece al corregimiento n° 8. Las condiciones ambientales del corregimiento son de temperatura promedio anual es de 25,5°c, con una máxima de 31,8°c y una mínima de 28.6°c, precipitación anual de 7.407,9 mm en promedio, humedad relativa 90%, brillo solar 2 horas días de luz, altura de 23.5 m.s.n.m. y un ecosistema bosque húmedo pluvial tropical.

### Localización

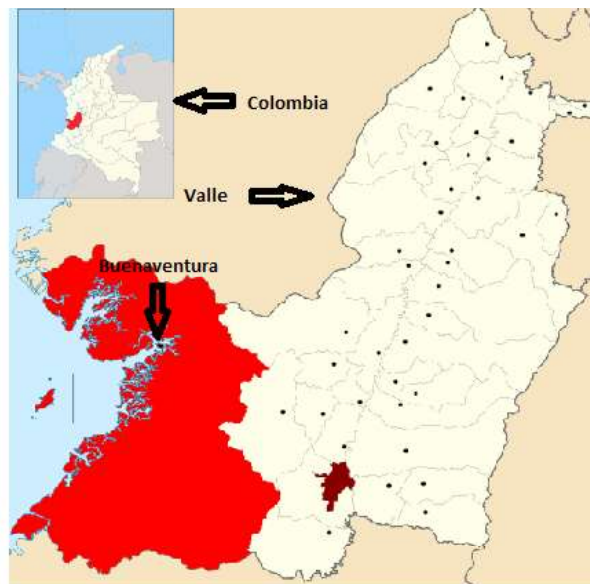


imagen1. Ubicación geográfica del área de estudio  
(fuente: wikipedia, izq; tynipic, der.)

## Características de los sistemas evaluados

Se seleccionaron dos sistemas para la evaluación: sistema agroforestal (saf) y un sistema integrado de cultivos (sic).

el saf que se evaluó está compuesto por asociaciones de cedro (*cedrela odorata l.*), chontaduro (*bactris gasipaes*), borojo (*borojoapatinoicuatrec*), árbol del pan (*artocarpus communis*), árbol de pomarrosa (*eugenia sp*) y el sic por banano (*musa acuminata*) y chivo (*musa sp.*) y papa china (*colocasia esculenta l.*). Los componentes de los sistemas se encuentran distribuidos al azar dentro de la parcela, no se tienen distancias de siembras específicas entre las especies.

## Diseño de muestreo

Dentro de cada parcela se realizó un muestreo completamente al azar, cada parcela seleccionada presentó un área de 100m x 50m (5000 m<sup>2</sup>). en la parcela del sistema agroforestal se seleccionaron 10 sitios y en el sic o testigo se seleccionaron 4 en forma aleatoria.

## Recolección del material vegetal (hojarasca)

Para seleccionar los sitios de muestreo y hacer la recolección de las muestras de hojarasca se utilizó un marco de 50cm x 50cm (0.25 m<sup>2</sup>), el marco se lanzó en forma aleatoria dentro de las parcelas, se recogió cuidadosamente toda la hojarasca que quedó dentro del marco. Todo el material recolectado en cada sitio se colocó en una bolsa plástica debidamente etiquetada.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se les registró el peso fresco, posteriormente se secaron en horno a 80°C durante 24 horas para obtener las siguientes variables: porcentaje de humedad, porcentaje de materia seca, biomasa, fracción de carbono y tasa de descomposición.

El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente fórmula

$$Ch = \frac{p_{hs} - p_{ss}}{P_{ss}} \times 100 \quad \text{fórmula 1.}$$

Dónde: ch: contenido de humedad (%); p<sub>hs</sub>: peso húmedo sub-muestra (g); p<sub>ss</sub>: peso seco sub-muestra (g)

El % de materia seca se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\%ms = [p_{sh} / p_{fm}] \times 100 \quad \text{fórmula 2.}$$

Dónde: %ms: porcentaje de materia seca; p<sub>sh</sub>: peso seco de la muestra (g) p<sub>fm</sub>: peso fresco de la muestra (g).

Para obtener biomasa seca se utilizó la siguiente fórmula:

$$b = [(p \times ms (\%)) / 100] \quad \text{fórmula 3.}$$

Dónde: b: biomasa (t); p: peso total húmedo (t); ms: materia seca (%)

## Carbono almacenado en la hojarasca

La fracción de carbono se determinó en el laboratorio de agroquímica de la universidad del cauca en popayán por el método walkley y black. el cálculo del contenido de carbono orgánico en la hojarasca se obtuvo multiplicando la biomasa seca por la fracción de carbono mediante la siguiente ecuación:

$$ca = bs * fc \quad \text{fórmula 4.}$$

Dónde: ca: carbono almacenado; bs: biomasa seca; fc: fracción de carbono

### **Tasa de descomposición**

La tasa de descomposición de la hojarasca se evaluó en ambos sistemas (saf y sic), mediante el uso de bolsas hechas con malla plástica de tipo angeo en las cuales se introdujo hojarasca previamente secada y recolectada de cada sitio de muestreo de acuerdo a la metodología descrita por usda (1999).

Por cada sistema de uso se empacaron 250 gramos de material seco, distribuido en 3 mallas (25cm \* 25cm), dos con 100g y una con 50g. estas fueron llevadas a campo y dejadas bajo las condiciones climáticas del sitio de muestreo; posteriormente estas se llevaban al laboratorio para tomar el peso en húmedo y en seco de cada malla, previo secado a 80°C por 24 horas. Una vez tomados los datos las mallas se llevaban nuevamente al sitio en campo.

Los datos fueron tomados a 31, 75, 144 y 178 días después de colocados en campo para un total 4 de lecturas.

### **Suelos para análisis químicos**

Una vez recolectadas las muestras vegetales, sobre la misma área y en cada uno de los sitios se realizó una calicata de 30cm x 30cm de ancho y 50cm de profundidad y en ella se recolectaron las muestras de suelo. estas fueron tomadas a tres profundidades: 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm en cada uno de los sitios.

Cada muestra se colocó en una bolsa plástica debidamente etiquetada. Se recolectaron 30 muestras en el saf y 12 en el sic, las cuales fueron secadas al aire, tamizadas y llevadas al laboratorio para análisis.

Las variables físicas y químicas evaluadas fueron: textura, ph, nitrógeno, fracción de carbono orgánico.

### **Densidad aparente del suelo**

La determinación de la da es importante para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo. Se utilizó el método del "cilindro de volumen conocido" descrito por Márquez (2000).

En cada uno de los sitios donde se recolectaron las muestras de suelo se introdujo el cilindro metálico para extraer las muestras a cada una de las profundidades: 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm, las muestras se llevaron al laboratorio y se secaron en horno a 105°C durante 24 horas

La densidad aparente se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$da = (p2) / \text{vol. cilindro} \quad \text{fórmula 5.}$$

Dónde: da: densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>); p2: peso del suelo seco (g); volumen del cilindro = área en la base x longitud (cm<sup>3</sup>)

### **Carbono almacenado en suelo**

El porcentaje de carbono en el suelo se determinó en el laboratorio de agroquímica de la universidad del Cauca en Popayán, por el método colorimétrico (curva de glucosa). El carbono almacenado en el suelo se calculó a partir de los valores de porcentaje de carbono, densidad aparente y profundidad con la siguiente ecuación:

$$ca = pc \times da \times p \quad \text{fórmula 6.}$$

dónde: ca: carbono almacenado; pc: carbono en el suelo (%); da: densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>); p: profundidad del suelo (cm).

### Nitrógeno en el suelo

El porcentaje de nitrógeno de la hojarasca y suelo fue determinado por el método de kjeldahl (bravo, 2003).

### Análisis estadístico

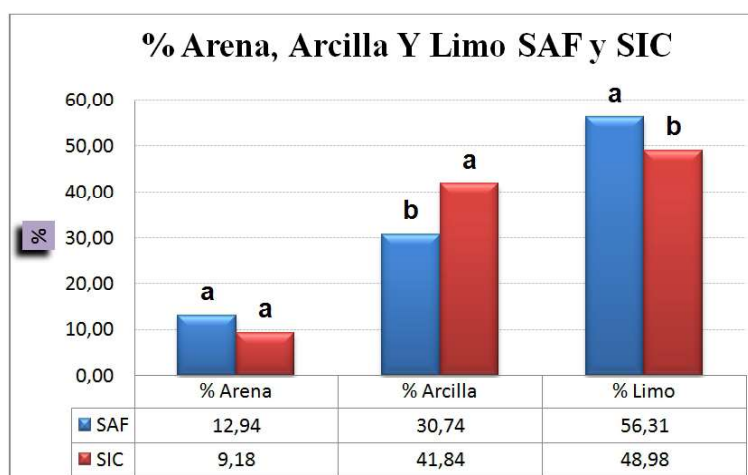
Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza con el fin de analizar si existen diferencias significativas entre las variables de los sistemas evaluados. Así mismo se realizaron las pruebas de comparaciones de medias por prueba de tukey (0,05) entre las variables. Se utilizó el sistema sas para manipular los datos obtenidos.

## Resultados y discusión

### Propiedades físicas y químicas

#### Textura

Según la prueba de dms hay diferencia significativa ( $<.0001$ ) entre los porcentajes de arena, arcilla y limo de los sistemas. Se encontró que en los dos sistemas evaluados las partículas de limos presentaron mayor porcentaje en todas las profundidades, siguiéndole las partículas de arcilla y en menor proporción las arenas. Los porcentajes promedio de partículas de arena, limo y arcilla indican que el saf presenta textura franco-limo-arcillosa y el sic arcillo-limoso. Los valores promedio también indicaron que el saf presenta mayor porcentaje de arena y limos que el sic (figura 1).

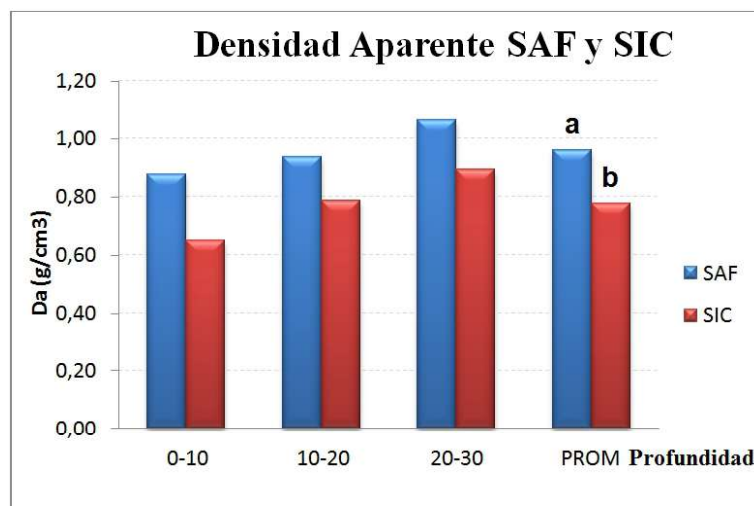


Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según dms ( $p < 0.05$ ).  
Figura 1. Promedio general del porcentaje de arena, limos y arcilla en el suelo del saf y sic

#### Densidad aparente

Se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.0003$ ) entre los sistemas evaluados y las profundidades ( $p < .0001$ ) el saf presentó en promedio una da de  $0.96 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$  mientras que el sic fue de  $0.78 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Los resultados indican que dicha variable aumenta en la profundidad. Según Sutton (1991) la densidad aparente generalmente se incrementa con la

profundidad a medida que el contenido de materia orgánica y la actividad biológica se reduce.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según dms ( $p < 0.05$ ).

Figura 2. Densidad aparente saf y sic

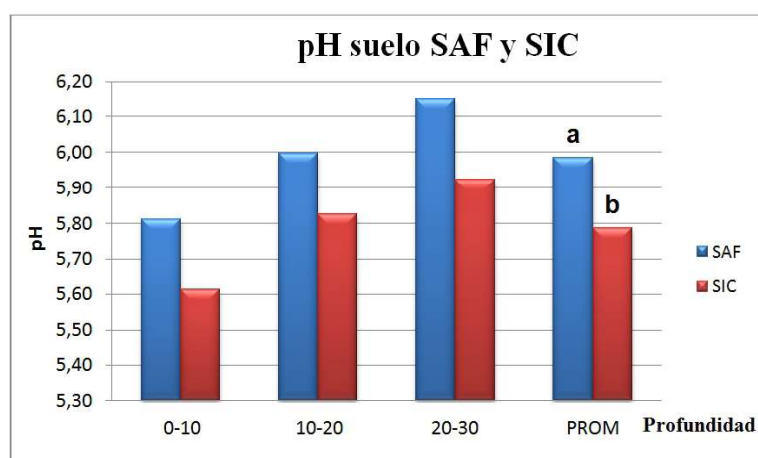
El saf presenta mayor da en profundidad que el sic, los promedios generales de los dos sistemas son menores a  $1.0 \text{ g} \cdot (\text{cm}^3)^{-1}$  que de acuerdo a la clasificación hecha por Cairo (1995) son clasificadas como muy bajas, por ser inferiores a  $1.0 \text{ g} \cdot (\text{cm}^3)^{-1}$ . Dichos valores asociados a que los suelos de la región pacífica están clasificados como entisoles indican que el manejo del sistema no ha generado compactación del suelo (figura 2).

### Ph del suelo

Los resultados indican que el ph aumenta en la profundidad, es decir disminuye la acidez del suelo. De acuerdo a León y Arregocés (1981) y Sánchez (1982) en los suelos inundados los ph ácidos aumentan debido a la reducción de óxidos de manganeso e hidróxidos férricos lo que deja libre iones  $\text{OH}^-$ . Situación que se corroboró con los valores obtenidos en ambos sistemas evaluados, que al presentar un nivel freático alto presentan mayor ph en profundidad (figura 3).

De acuerdo a la clasificación de Quintana et al (1983), y los resultados promedio del ph de las profundidades del saf y el sic se clasifican en el rango de medianamente ácido (5.6 – 6.2).

Al comparar los valores de ph de ambos sistemas se observa que el saf presenta valores promedio superiores al sic en todas las profundidades como se observa en la figura 3.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según dms ( $p < 0.05$ ).

Figura 3. Ph del suelo en profundidad de los sistemas evaluados.

#### Contenido de nitrógeno en hojarasca y el suelo (kg/ha)

Según la prueba de dms hay diferencia significativa en la cantidad nitrógeno de la hojarasca del sistema integrado de cultivo que presentó 285,07kg frente al saf que reportó 62,90kg. Se observa que el nitrógeno del suelo en los dos sistemas aumentó con la profundidad del suelo siendo mayor de 20-30cm (figura 4). el saf a pesar de haber presentado menor contenido de nitrógeno en la hojarasca, en el suelo presentó mayor contenido que el sic.

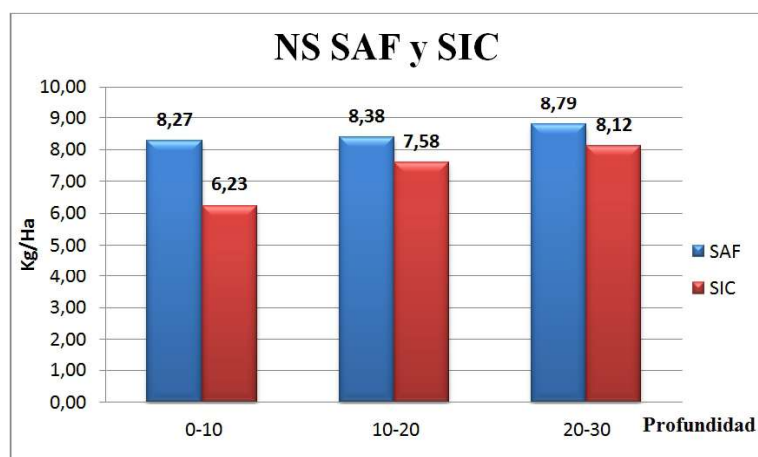
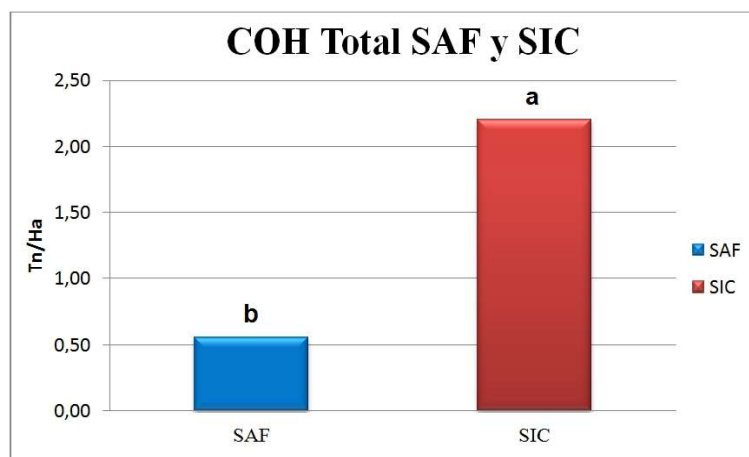


Figura 4. Nitrógeno del suelo en profundidad de los sistemas evaluados

#### Carbono orgánico y materia orgánica de la hojarasca (ton/ha)

Se encontró diferencia significativa en el carbono almacenado en la hojarasca de los sistemas evaluados. El sic presentó mayor contenido de carbono con 2,03ton/ha y 3,50ton/ha de materia orgánica y el saf presentó menor cantidad con 0,52 y 0,90ton/ha respectivamente (figura 5).





Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según dms ( $p < 0.05$ ).

Figura 5. Carbono orgánico de la hojarasca de los sistemas evaluados

### Tasa de descomposición

La figura 6 refleja el porcentaje descomposición de la hojarasca de los dos sistemas evaluados, se observa que a los 31 días el sicobtuvo mayor % de descomposición con un 24,5% mientras que el saf presento 16,5%. La descomposición del sic a partir de los 31 días fue constante mientras en comparación al saf. el saf presento una tasa de descomposición de 46,42% mientras que el sic 44,82%.

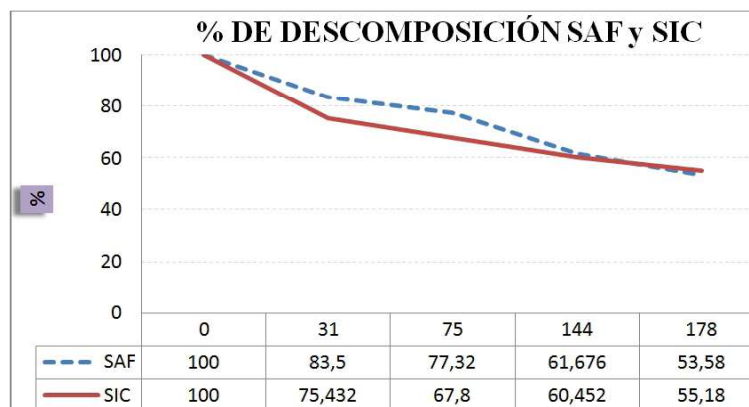


Figura 6. Porcentaje de descomposición de la hojarasca del saf y sic

### Carbono orgánico y materia orgánica del suelo (ton/ha)

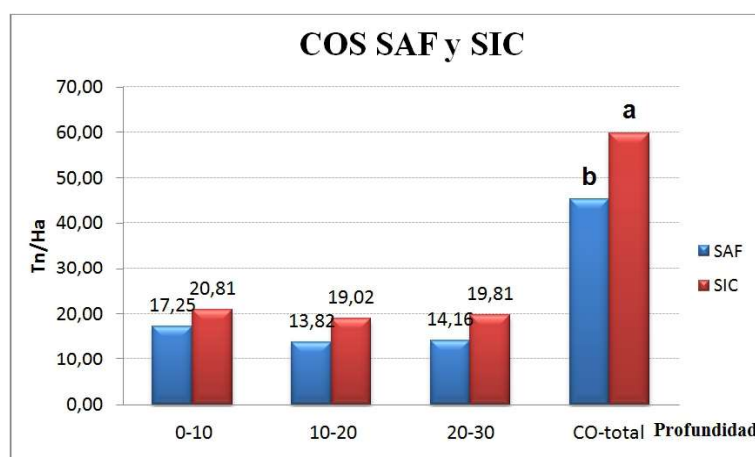
Se presentaron diferencias significativas ( $p < .0001$ ) entre los sistemas estudiados en el carbono, encontrándose la mayor cantidad en el sic con 59,64ton/ha de co y la menor cantidad en el saf 45,22ton/ha el alto contenido de carbono orgánico del sic puede estar influenciado por el aporte de material vegetal del cultivo anterior (figura 7).

En los sitios del saf y el sic el co y la mo tiende a disminuir con la profundidad a aunque 4 sitios (2, 3, 5 y 7,) del saf y 3 sitio (1, 2, 3) del sic mostraron tendencia a aumentar de 20-30cm.

Las profundidades evaluadas presentaron diferencia significativa ( $p=0.0428$ ). en los promedios generales el co y mo del suelo disminuyeron con la profundidad, aunque en ambos sistemas el co y la mo a 20-30cm fueron mayores que en 10-20cm indicando acumulación de humus (figura 7).

Los valores mas altos de carbono almacenado por niveles de profundidad se observan en el sic seguido del saf.

En las profundidades evaluada (0-30 cm) se observa que el 68,69% del carbono en el saf y el 66,78% del sic se encuentra en los primeros 20 centímetros de profundidad del suelo y el restante 31.31-33,22% se encuentra entre la profundidad de 20-30 cm., como es de esperarse el movimiento del humus en el perfil del suelo es de arriba hacia abajo y su concentración disminuye conforme aumenta la profundidad del suelo aunque el carbono aumento de 20-30cm al compáralo con 10-20cm.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según dms ( $p<0.05$ ).

Figura 7. Carbono orgánico del suelo en profundidad de los sistemas evaluados.

A pesar que el sic presentó mayor contenido de cos total, este se limita al suelo debido a que el sic está compuesto por cultivos temporales que son rotados de acuerdo al ciclo vegetativo del cultivo que generalmente no se extiende a más de dos años, después de la cosecha la biomasa es eliminada y aculada en el suelo, mientras que el saf almacena carbono en el suelo y en la biomasa aérea su establecimiento se extiende a varios años debido al desarrollo de las especies forestales y frutales que durante su crecimiento capturan el carbono mediante la fotosíntesis y lo acumulan en diferentes partes de planta. Por esta razón el co del saf es más estable que el del sic.

## Conclusiones

Se encontró diferencia altamente significativa en el depósito de CO<sub>2</sub> de la hojarasca de los sistemas estudiados, el sic presentó mayor cantidad de carbono almacenado con 2,03 ton/ha, mientras el saf presentó 0,52 ton/ha de CO<sub>2</sub>.

Existe diferencia significativa en el CO<sub>2</sub> almacenado en el suelo de los sistemas evaluados, el mayor contenido se encontró en el sic con 59,64 ton/ha, seguido del saf con 45,22 ton/ha. La mayor cantidad de carbono total se encontró en el st con 61,67 ton/ha, y el menor en el saf con 47,74 ton/ha.

El bajo contenido de CO<sub>2</sub> del saf evaluado indica que el CO<sub>2</sub> se encuentra almacenado en la biomasa aérea.

En ambos sistemas el CO<sub>2</sub> disminuye en la profundidad presentando mayor cantidad de 20-30cm que de 10-20cm.

El pH, DA y nitrógeno incrementaron con la profundidad del suelo en ambos sistemas de producción.

## Recomendaciones

Realizar estudios comparativos del CO<sub>2</sub> almacenado en la biomasa total (aérea y del suelo) de los sistemas agroforestales con otros sistemas de producción.

Para determinar futuras estimaciones de carbono en el suelo se recomienda utilizar esta metodología porque permite estimar de manera rápida el CO<sub>2</sub>.

## Agradecimientos

A la universidad del Cauca y de manera especial a la Doctora Isabel Bravorealpe y Adriana López (estudiante química) de la universidad por su tiempo, colaboración y apoyo que me brindaron durante la realización de la investigación.

## Bibliografía

BRAVO, R; GIRALDO E. 2003. Manual de prácticas de química agrícola: análisis de suelo, universidad del cauca. Facultad de ciencias naturales exactas y de la educación, popayán. 2013.

CAIRO P. 1995. La fertilidad física de suelo y la agricultura orgánica en el trópico. Una - managua, nicaragua. 228p.

EGUREN, LORENZO. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago de Chile: CEPAL, 2004. 83 p. (serie medio ambiente y desarrollo).

GAYOSO, J; GUERRA, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Bosque 26(2). 33-38.

LEÓN, A.; ARREGOCÉS, O. 1981. Guía de estudio química de suelos inundados, centro de agricultura tropical. Marzo 1981. 35p

MÁRQUEZ L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Proarca - Capas. Guatemala, mayo del 2000.

QUINTANA, J. O.; BLANDÓN, J.; FLORES, A.; MAYORGA, E. 1983. Manual de fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial primer territorio indígena libre de América. Ithaca, Nueva York. Residencial Las Mercedes n° 19-a. Managua Nicaragua. 60p.

SÁNCHEZ, L.F. 1982. Algunos aspectos básicos sobre suelos inundados y fertilización del arroz en Colombia. Ica. Tibaitata, marzo de 1982. 39p

SUTTON, R.F. soil properties and root development in forest trees: a review. Ontario: forestry Canada, Ontario region, great lakes forestry centre, 1991. (Information report o-x-413.) USDA. 1999. guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. 88 p.