



A1-464 Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales agroecológicos y su aporte a la mitigación del cambio climático

Jhoan Sebastián Mora Rave. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. jsmora@unal.edu.co

Diego Iván Ángel Sánchez. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. dangels@unal.edu.co

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la importancia que tienen los sistemas agroforestales agroecológicos (SAA) como mitigadores de cambio climático a partir de la función que tienen principalmente como sumideros de carbono; para ello se compararon sistemas convencionales y SAA, con un ecosistema de bosque secundario (Testigo); en tres diferentes zonas climáticas del departamento del Valle del Cauca, en función del carbono almacenado. Los resultados corroboraron que el bosque secundario es el sistema con mayor almacenamiento de carbono. De igual forma se encontró que los SAA contribuyen a mitigar el calentamiento global, ya que este es el sistema que más se asemeja al bosque, generando un impacto dos veces menor sobre las reservas de carbono que un sistema agrícola convencional.

Palabras Claves: Sistemas agroforestales Agroecológicos, Almacenamiento de carbono.

Abstract.

Evaluate the importance that the agroforestry agroecological systems (AAS) have as mitigators of climate change from its carbon sinks function, was the aim of this study. For this purpose the conventional agricultural systems and the (AAS) were compared with a secondary forest (witness) relative to carbon storage, in three different climate areas of Valle del Cauca. The results corroborate the fact that secondary forest is the more carbon storage. In the same way were found the ASS contribute to climate change mitigation, because is the most similar to forest system generating over carbon stocks an impact two minor times than the conventional agricultural system.

Keywords: agroforestry agroecological systems, carbon storage.

Introducción

La mitigación del cambio climático, se logra a través de la intervención antrópica, dirigida a reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (principalmente CO₂), o crear y/o aumentar los sumideros en la biosfera (IPCC, 2001).

Una de las formas de promover esta intervención es mediante el establecimiento de sistemas agroforestales (Nair, 2012), ya que la incorporación de árboles -vía fotosíntesis- conlleva a una mayor producción de biomasa y por ende de materia orgánica, que incrementa la cantidad de carbono en el agroecosistema (Yepes et al., 2011), el cual es fijado posteriormente en la misma vegetación, en los detritus y en el suelo (Montagnini & Nair, 2004).

Estos sistemas son susceptibles de ser manejado agroecológicamente debido a la diversidad de componentes en el espacio y el tiempo, las múltiples interacciones de los componentes animales y/o vegetales. Situación que da como resultado un óptimo ciclaje de nutrientes y materia orgánica, flujos cerrados de energía, y un uso múltiple del suelo y del paisaje, principios claves de la agroecología (Altieri & Nicholls, 2000).

Diferentes estudios han reportado el rol de los Sistemas agroforestales agroecológicos en la sostenibilidad económica y su contribución a la soberanía alimentaria de las comunidades



rurales (Davalos et al., 2008). Sin embargo, en Colombia son pocos los estudios que han evaluado el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales y los realizados han abordado únicamente el carbono orgánico en el suelo (Alvarado et al, 2013; Carvajal, 2009) desconociendo además los sistemas agroecológicos.

Este estudio pretende mostrar la importancia que tienen los SAA como mitigadores de cambio climático a partir de la función que tienen principalmente como sumideros de carbono, analizando los agroecosistemas desde los diferentes componentes involucrados: biomasa aérea, hojarasca y carbono en el suelo; comparándolos con sistemas convencionales, teniendo como referente (testigo) el ecosistema bosque.

Evaluar el impacto que estos sistemas productivos tienen sobre el medio ambiente- para el caso de este estudio el carbono almacenado- se constituye en una forma de visibilizar ante la población colombiana, la contribución de los sistemas agroforestales agroecológicos en la mitigación del cambio climático y de esta forma tender redes entre la universidad y el campo, con miras a incidir sobre políticas públicas que promuevan la agricultura ecológica.

Metodología

Área de estudio

La evaluación se realizó en tres sistemas agroforestales agroecológicos, tres sistemas agrícolas convencionales y tres relictos de bosque secundario ubicados en tres localidades del Valle del Cauca. En el Municipio de Andalucía y las veredas Guadualejo, y El Diamante pertenecientes al municipio de Buga. Las zonas presentan un gradiente altitudinal, con tres zonas climáticas. (a) “Andalucía”. Valle geográfico del Río Cauca, ubicado a 950 msnm, precipitación anual de 900 mm y una temperatura de 23 °C. (b) Guadualejo. Estribaciones de la cordillera central a 1200 msnm, precipitación anual de 1100 mm y una temperatura de 21 °C (b) El Diamante. En la cordillera central a 1750 msnm, precipitación anual de 1900 mm y temperatura de 16 °C (CVC, 2014).

Acorde con la USDA para el caso de las zonas “Guadualejo” y “El Diamante” los suelos dominantes son los Andisoles., mientras que para “Andalucía” son los molisoles (USDA,2010).

Sistemas Agroforestales Agroecológicos: Caracterizados por presentar una amplia agrobiodiversidad, Donde el componente perenne leñoso es principalmente café (*Coffea arábica*), cítricos (*Citrus sp.*) y aguacate (*Persea americana*), asociado con cultivos agrícolas como plátano (*Mussa sp*), maíz (*Zea mays*), yuca (*Manihot sculenta*). Además proveen madera, leña, fibra y plantas medicinales para la familia.

Son sistemas manejados bajo principios agroecológicos, donde se promueven las múltiples interacciones entre plantas y animales, buscando un ciclaje de nutrientes y materia orgánica a través de la utilización de abonos orgánicos, coberturas vegetales y técnicas de labranza mínima. Además el uso de la diversidad funcional y los biopreparados biológicos, dan como resultado la regulación de plagas y enfermedades.

Sistemas Convencionales: Caracterizados por su estrecha diversidad, monocultivos de arboles de café (*Coffea arábica*), guanábana (*Anona sp.*) y limón (*Citrus sp.*). Estos sistemas utilizan fertilizantes químicos para suplir los requerimientos nutricionales de los cultivos, herbicidas para controlar las arvenses y diversos fungicidas e insecticidas, para la regulación de plagas y enfermedades.

Bosque Secundarios: Ecosistemas en sucesión natural, de por lo menos 25 años, ubicados en la misma zona de los sistemas productivos a comparar, caracterizados por una amplia diversidad de especies pioneras, arboles maduros y arbustos en crecimiento. la zona climáticas “Andalucía” y la zona “Guadualejo” se clasifica como Bosque Seco subtropical, y la zona “El Diamante” es clasificada como húmedo montano bajo.

Estimación de las reservas de Carbono:

En cada uno de los sistemas se establecieron 3 parcelas de 250 m² (25x10), las cuales fueron trazadas y demarcadas según (Vallejo, 2005). En cada una de las parcelas se analizaron las siguientes variables.

Carbono almacenado en Biomasa Arbórea: Se uso la metodología propuesta por (Rugnitz et al, 2009). Para determinar la cantidad de biomasa en sistemas agroforestales y convencionales se utilizaron las ecuaciones alométricas sugeridas por (Yepes et al, 2011) y para el sistema bosque las sugeridas en (Alvarez et al, 2011). Para calcular el contenido de carbono se asume que la cantidad de carbono en la biomasa corresponde a un 50 % (IPCC, 2001).

Almacenamiento de carbono en el Suelo: Se uso como base la metodología de (Yepes et al, 2011). El contenido de carbono en el suelo, fue determinado por combustión seca (Perkins-Elmer analizador 2400) en el centro de agricultura tropical (CIAT). Debido a que no se obtuvieron concentraciones considerables de Carbonato de calcio, este porcentaje se tomo como carbono orgánico del suelo (COS). (Chirinda et al, 2009). El contenido de carbono para cada nivel de profundidad fue determinado de acuerdo a (Callo-Cocha et al., 2000).

Vegetación herbácea y hojarasca: Como base se utilizó la metodología propuesta por (Yepes et al, 2011). El contenido de carbono fue determinado por combustión seca (Perkins-Elmer analizador 2400) en el laboratorio de servicios analíticos del CIAT.

Análisis estadístico

Se planteó un diseño de Bloques completamente al azar (cada bloque es un rango altitudinal) con Submuestreo; En cada bloque se agrupo un sistema agrícola convencional, un SAA y el bosque secundario como testigo.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias entre tratamientos, con un nivel de confianza del 90 %. Para determinar entre cuales Sistemas de Manejo se encuentran las diferencias se realiza la Prueba PostAnova de Dunnett, con un nivel de confianza del 95 %; que permite realizar comparaciones de Tratamientos donde se ha observado un testigo. El análisis estadístico se realizara con el programa *R console*.

Las variables evaluadas son: densidad aparente, carbono orgánico del suelo (COS), carbono en hojarasca y vegetación herbácea (CH), carbono en biomasa arbórea (CAB), Carbono Total (CT). Se realizó el análisis de coeficiente de correlación lineal de *Pearson* para algunas variables seleccionadas.

Resultados y discusiones

Carbono Almacenado en vegetación arbórea, herbácea y hojarasca

El sistema bosque, fue el sistema que almacenó mayor cantidad de CAB, con un valor promedio de 69,29 t C /ha; 2, 5 veces más que los SAA (27,79 t C/ha), y 8 veces más que los sistemas convencionales (8,63 t C/ha), se encontraron diferencias significativas entre el

CAB del bosque y el del sistema convencional, pero no existen diferencias entre el SAA y el sistema bosque ($D=58,31$), con lo que se infiere que para esta variable el SAA tiene una tendencia similar a la del testigo.

Del mismo modo se observa que los sistemas de bosque ($15,81 \pm 3,22$ t C/ha) son los que registran mayor promedio de CH, seguido de los SAA ($7,25 \pm 5,44$ t C/ha), que almacenan en este compartimento el doble de los convencionales ($3,5 \pm 1,28$ t C/ha), sin embargo ambos sistemas difieren significativamente del testigo ($D=1,96$).

El componente forestal maduro, como era de esperarse jugó un papel fundamental en la CAB y CH, lo cual se observó especialmente en la zona climática “El diamante”, donde el componente cafetero del SAA y del sistema convencional presentaban la misma edad, sin embargo en el SAA se respetaron los árboles existentes, mientras en el sistema convencional se estableció un monocultivo de café eliminando el componente forestal. En consecuencia el sistema convencional perdió el 94% del CAB y 63,3 % del CH comparado con el SAA.

Carbono orgánico almacenado en el suelo

Los sistemas agroforestales agroecológicos y los sistemas boscosos, fueron los que más COS almacenaron, con $67,55 \pm 9,9$ y $69,77 \pm 18,9$ t C/ha respectivamente. Seguidos muy de cerca por los sistemas convencionales los cuales almacenaron en promedio $54,5 \pm 16,6$ t C/ha. Sin embargo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,1$).

Al igual que los resultados encontrados en el presente estudio, diferentes investigaciones han encontrado que los sistemas agroforestales almacenan una cantidad mayor de COS que los sistemas convencionales. (Hager, 2012), en sistemas agroforestales en Costa Rica, encontró que los sistemas agroforestales orgánicos almacenaban un 28% más COS que sistemas convencionales; mientras que (Soto-Pinto, 2010) encontró que SAA almacenaban 20 % más COS, que cultivos transitorios. En ambas investigaciones este hecho se relaciona con la aplicación de enmiendas orgánicas y la mayor cantidad de carbono almacenado en biomasa, lo cual es congruente con la presente investigación, ya que los tres SAA evaluados reciben varias aplicaciones de abonos orgánicos durante el año y presentaron en promedio mayores CAB que los sistemas convencionales, que se traduce en mayores aportes de materia orgánica al suelo.

Por otra parte, en esta investigación se encontró que en el caso de las zonas climáticas a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, los sistemas acumulan mayor cantidad de COS en el suelo, resultados que han sido corroborados por (Soto-Pinto, 2010) y (Mena et al., 2011), en sistemas agroforestales en Centroamérica. Lo anterior se explica por el hecho de que a mayor altitud sobre el nivel del mar, menor temperatura y en consecuencia tasas de descomposición de la materia orgánica menores (Sánchez de P. et al 2001).

En las profundidades evaluadas, se observó que en promedio los niveles de COS disminuían con la profundidad. Para los tres sistemas, los primeros 10cm, fueron los que presentaron un porcentaje mayor de COS, almacenando el 38,84; 41,9 y 34,7 % para los SAA, sistemas convencionales y bosque, respectivamente. Se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre la profundidad de 0-10 cm y el resto de profundidades evaluadas ($P<0,1$). Lo cual es acorde con los resultados encontrados por (Carvajal et al., 2009).

El COS es un indicador indirecto de la calidad de los suelos y esta íntimamente ligado con la cantidad de materia orgánica (Alvarado et al, 2006), la cual según (Hergoualc’h et al, 2012),



se acumula en mayor proporción en las primeras capas del suelo, debido al aporte de necromasa, restos de poda y a la mortalidad y exudados de las raíces superficiales.

Carbono Total

El sistema bosque fue el sistema que más carbono acumuló al evaluar la totalidad de los compartimentos, con valores promedio de $152,65 \pm 38,8$ t C/ha. Seguido de los SAA con $104,15 \pm 15,44$ t C/ha, mientras el sistema convencional presentó los valores más bajos para esta variable $66,74 \pm 7,7$ t C/ha.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas, y al realizar las respectivas pruebas de promedios, para experimentos donde existe un testigo, se observó que existían diferencias estadísticamente significativas entre el SAA y bosque; y entre el sistema convencional y el bosque (Testigo) ($D=28,19$). Sin embargo las diferencias entre el sistema convencional y el bosque sobrepasan casi dos veces, a las diferencias encontradas entre el SAA y el testigo.

Del mismo modo, los resultados encontrados por (Avila et al, 2001), muestran que a medida que los sistemas agroforestales son más complejos y antiguos presentan mayores tasas de CT. Lo anterior fue corroborado en el presente estudio, ya que los SAA que eran sistemas más complejos, presentaron mayores valores de CT en comparación con los sistemas convencionales.

La mayor parte del carbono total, para los SAA y convencionales, correspondió al carbono orgánico del suelo, 66 % y 82 % respectivamente; seguido del CAB y el CH. Estos resultados en el caso de los SAA son congruentes a lo reportado por (Lal, 2005) y en el caso de los sistemas convencionales a los reportados por (Avila et al, 2001) y (Hergoualc'h et al, 2012). Esta situación evidencia el gran potencial que tiene los suelos como sumideros de carbono, ya que según (Nair, 2009) a nivel global, las reservas de carbono orgánico del suelo llegan a 2300 Pg, más de tres veces el carbono atmosférico.

Según lo hallado en este estudio, es evidente que los SAA tienen el potencial de almacenar casi el doble de carbono orgánico que los sistemas convencionales, lo cual es congruente con lo encontrado por (Hager, 2012) y (Soto-Pinto, 2010) en sistemas similares en Centroamérica.

Conclusiones

El bosque secundario fue el sistema que más almacena carbono orgánico, lo cual ratifico su calidad como testigo, sin embargo los SAA fueron los que más se acercaron a esos valores, con lo cual a través del análisis de los resultados mostrados en el presente artículo, se puede deducir que al establecer estos sistemas se genera un impacto dos veces menor sobre las reservas de carbono en un ecosistema dado; respecto a sistemas agrícolas convencionales. Esto se traduce en una menor emisión de CO_2 y en consecuencia un aporte a la mitigación del cambio climático.

Se debe realizar una evaluación más profunda, donde se tenga en cuenta además la huella de carbono de los insumos utilizados en el proceso productivo de cada uno de los sistemas, con el fin de generar datos más exactos.

Por otra parte, como consecuencia de esta investigación, surgió un acercamiento con los SAA que evidencio el potencial que tienen de brindar otras contribuciones ecosistémicas, ya que la diversidad en el componente forestal y las practicas agroecológicas, posibilitan la

protección del suelo y de los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad, la permanencia del paisaje y el suministro de alimentos saludables, entre otros. Contribuciones que no han sido lo suficientemente valoradas, y que podrían ser temas de futuros esfuerzos investigativos

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. A. & Nicholls, C. I. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. México D.F. : Programa de las naciones Unidas para el Medio Ambiente. 275p.
- Alvarado J., Andrade H. J. & Segura M. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. Revista Colombia Forestal Vol. 16(1): 21 - 31 / enero - junio, 2013 Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Álvarez, E., Saldarriaga, J.G., Duque, A.J., Cabrera, K.R., Yepes, A.P., Navarrete, D.A., Phillips, J.F. 2011 Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 26 p.
- Avila, G.; Jimenez, F.; Beer J.; Gomez, M.; Ibrahim, I. 2001 .Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforesteria en las Américas. V o l . 8 N° 30 2001
- Callo-Cocha, D., Krishnamurthy L.; Alegre J. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos en tres pisos ecológicos de la amazonia Peruana. Simposio Internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.
- Carvajal, A.F.; Feijoo, A.; Quintero, H.; Rondon, M. 2009. Soil Organic Carbon in Different Land Uses of Colombian Andean Landscapes. J. Soil. Sci. Plant Nutr. 9(3): 222-235
- Chirinda N., Carter M., Albert K., Ambus P., Olesen J., Porter J., Petersen S. 2009. Emissions of nitrous oxide from arable organic and conventional cropping systems on two soil types. Agriculture, Ecosystems and Environment 136 (2010) 199–208.
- CVC. 2014. Dirección técnica ambiental, grupo de sistemas de información ambiental. Red de Hidroclimatología. [En línea]. [citado el 2 de noviembre de 2014]. Disponible en Internet: <URL://http://www.cvc.gov.co/boletin_hidroclimatico/index.htmf>
- Hager A. 2012. The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. Agroforest System. 86: 159-174.
- Hergoualc'h K.; Skiba, U.; Harmand J.; Hénault, C. 2008. Fluxes of greenhouse gases from andosols under coffee in monoculture or shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica. Biogeochemistry 89:329-345.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático). 2001. Tercer Informe de Evaluación, Cambio Climático. La base Científica. Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Lal, R. (2010) Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. Bioscience 60:708–721
- Montagnini F.; Nair P. 2004 Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 281–295.
- Nair P. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check Agroforest Syst (2012) 86:243–253.
- Nair P., Nair, V , Kumar c, Haile. 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. environmental science & policy 12 (2009) 1099– 1111.
- Sanchez de P, M., Marmolejo, F., Bravo N. 2001. Microbiología Aspectos Fundamentales. Departamento de Ciencias Básicas. Universidad nacional de Colombia, Sede Palmira.
- Soto-Pinto L., Anzueto M., Mendoza J., Jimenez G., De Jong B. 2010. Secuestro de Carbono a través de agroforesteria en Comunidades Indígenas de Chiapas, México. Agroforest Systems 78: 39-51.
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. I. & Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Manual Técnico No. 11. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.
- USDA, United State Department of Agriculture. 2010. Key oil taxonomy. Eleventh Edition.



- Vallejo, M.I., Londoño, A.C., López, R., Galeano, G., Alvarez, e. & Devia, W. 2005. Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo: Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Volumen I. 309 pp.
- Yepes A., Navarrete D., Duque A., Phillips J., Cabrera K., Álvarez E., García M., Ordoñez M. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C. Colombia. 162 p.