

CUANTIFICACION DE CARBONO ALMACENADO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES EVALUADOS EN LA SIERRA ECUATORIANA¹

Raúl Ramos², Carlos Nieto³, Johanna Muñoz⁴, José Riofrío³

1. INTRODUCCION

En las últimas décadas, con el desarrollo desmesurado de algunas economías la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera ha aumentando 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 (Wigley, 1999).

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 (Mintzer, 1992). Entre 1989 y 1990 las emisiones de CO₂ provenientes del uso de combustibles fósiles se estimó en $6.0 \pm 0.5 \text{ Gt}^5 \text{ C}$, comparada con $5.7 \pm 0.5 \text{ Gt C}$ emitidas en 1987 (IPCC, 1990). Por otro lado, el flujo neto de CO₂ emitido por cambio en el uso del suelo (principalmente por deforestación), se ha estimado en $1.6 \pm 1 \text{ Gt C}$ para la década de los 80 (IPCC, 1992).

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 proyectos forestales dentro del marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio o mercados paralelos de biocarbono (Benítez *et al.*, 2002).

Los sistemas agroforestales son no sólo una alternativa de producción sostenible, sino una oportunidad para diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos con la posible venta de servicios ambientales por reducción del CO₂ atmosférico. 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. El desarrollo de estos mercados puede conducir al surgimiento de nuevas actividades económicas, generación de empleo y de ingresos a los propietarios de recursos generadores de servicios ambientales. También, permite la transferencia de conocimientos y de recursos de otros sectores nacionales e internacionales al medio rural (Ruiz, 2002).

Giraldo, *et al.* (2003) en un experimento realizado 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

¹ Basado en información generada con el proyecto PIC-093 de INIAP-FUNDACYT.

² Responsable Programa de Forestería de la Sierra EESC- INIAP. Quito-Ecuador. Telefax. (593) 2-690692. rramos@catie.ac.cr

³ Director Ejecutivo de la "Fundación Desde el Surco"

⁴ Estudiante tesista del Programa de Forestería de la Sierra EESC- INIAP.

⁵ Gt = 10^9 t = gigatón = mil millones de toneladas.

bajo el suelo), mientras que en potreros sin árboles encontró 272.03 t C ha⁻¹. De ésta manera, existe un gran 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); es así por ejemplo en países como Costa Rica, los Sistemas Agroforestales ya son reconocidos en programas de PSA a través del decreto No. 30962 (MINAE, 2003) en virtud de los servicios ambientales que brindan a la sociedad, entre los cuales se encuentran el secuestro de carbono.

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 del INIAP, cuyo objetivo inicial fue probar los sistemas agroforestales para optimizar el uso del suelo y buscar una alternativa sostenible de manejo de pequeñas parcelas que representan el minifundio de la sierra ecuatoriana. En este estudio se cuantifico la biomasa y carbono almacenado en la fitomasa aérea (biomasa y mantillo) y el suelo a 0,20 m de profundidad.

2. OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial de fijación y almacenamiento de carbono en dos sistemas agroforestales, probados para la Sierra ecuatoriana, en comparación con un sistema agrícola, a campo abierto, para contribuir con información técnica a la iniciativa de pago por servicios ambientales (PSA) y generar referencias útiles para el cambio de uso del suelo de sistemas convencionales a sistemas sostenibles y amigables con el ambiente.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Descripción del sitio

La evaluación de la biomasa y carbono se realizó en un experimento agroforestal de doce años de edad, ubicado en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, a 3050 m de altitud, 0° 22' Latitud Sur y 78° 23' de Longitud Oeste, 12° C de temperatura promedio y 1200 mm de precipitación anual. Los suelos corresponden al orden Andisoles, de textura franca y de topografía relativamente plana.

Descripción del ensayo

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

Cada sistema agroforestal, esta 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. Las barreras están orientadas de Norte a Sur; el área ocupada por el sistema es de 2808 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*); en parcelas de 20m 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).

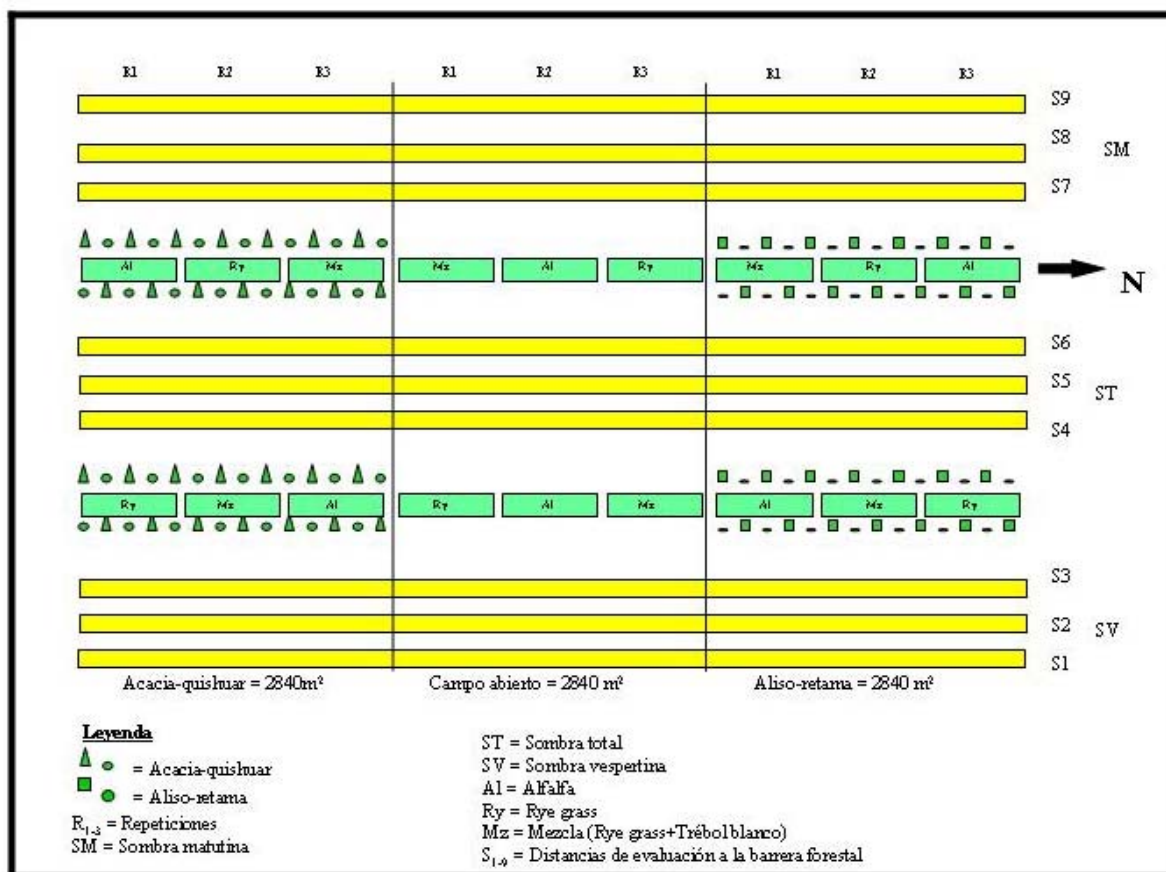


Figura 1. Disposición de los componentes de los sistemas agroforestales evaluados y del sistema control.

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.

Metodología de toma de datos

- **Inventario de árboles y arbustos**

En todos los árboles presentes en cada sistema 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 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 utilizaron los modelos alométricos elaborados por Riofrío (2006)⁶ para *Acacia melanoxylum* y Muñoz (2006)⁵ para *Alnus 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 *Acacia melanoxylum*, Riofrío, *et al.* (2006):
 $Y = -126,18 + 5,68 * DAP + 0,56 * DAP^2$

Donde:

Y = Biomasa aérea total (kg/árbol).

DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm).

Modelo alométrico para *Alnus acuminata*, Muñoz, *et al.* (2006):
 $Y = -85,23 + 11,87 DAP - 1,34 HT$

Donde:

Y = Biomasa aérea total (kg/árbol).

DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm).

HT= Altura total

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**

En nueve puntos de muestreo ubicados en un transecto Este-Oeste, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-0,2 m y se envió al Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Santa Catalina 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.

$$\text{Carbono en el suelo (tC/ha)} = CC * DA * P * 100$$

Donde:

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

⁶ Tesis de pregrado en edición

- **Densidad aparente**

Para ésta variable se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido” (MacDiken, 1997), 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 Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

- **Cantidad de carbono 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 sistema agroforestal. 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 calculo con base en biomasa total y el factor de conversión (0,5) recomendado por el IPCC.

- **Cálculo del carbono almacenado en los sistemas en estudio**

La cantidad de carbono almacenado por los sistemas agroforestales evaluados fue la sumatoria del carbono de: la biomasa aérea, la hojarasca o mantillo y la capa arable del suelo y se expreso en t ha⁻¹.

4. RESULTADOS ESPERADOS

A través de mediciones realizadas en campo y determinaciones en laboratorio. Como resultados de ésta investigación se espera conocer el potencial de rendimiento de biomasa y de almacenamiento de carbono de dos sistemas agroforestales en comparación con un sistema agrícola, en la sierra ecuatoriana. Esta información servirá de apoyo para contribuir con información técnica a la iniciativa de pago por servicios ambientales (PSA) y generar referencias útiles para el cambio de uso del suelo de sistemas convencionales a sistemas sostenibles y amigables con el ambiente.

5. BIBLIOGRAFIA

- 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.
- 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.
- IPCC, 1992. Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.

- 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.
- Mintzer, I. 1992. Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses. Cambridge, University Press, Cambridge.
- Muñoz, J.; Ramos, R.; Riofrío, J. y Nieto, C. 2006. Modelos alometricos para estimación de carbono en aliso (*Alnus acuminata* O. Ktze) bajo sistema agroforestal en la sierra ecuatoriana (En edición).
- Riofrío, J.; Ramos, R. y Muñoz, J. 2006. Ajuste de modelos alometricos para biomasa de *Acacia melanoxylum* L. bajo Sistema Agroforestal en la Sierra ecuatoriana (En edición).
- 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.
- Wigley, T. M. L., 1999. The science of climate change: global and US perspectives. Washington, Pew Center on Global Climate Change. 48 p.