

LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN PROYECTOS REDD+ PARA EL DESARROLLO RURAL

AGROFORESTRY SYSTEMS IN REDD+ PROJECTS FOR RURAL DEVELOPMENT

Fecha de recepción: 24/09/2014 // Fecha de aceptación: 25/11/2014

Florencia Montagnini

Investigadora Científica,
Universidad de Yale, Escuela
Forestal y de Estudios Ambien-
tales, 360 Prospect St., New
Haven, CT 06511, EE.UU.
florence.montagnini@yahoo.com,
florence.montagnini@yale.edu

RESUMEN

En Latinoamérica existen 200-357 millones de hectáreas de sistemas agroforestales (SAF), principalmente sistemas silvopastoriles y árboles con cultivos anuales y perennes (café, cacao, yerba mate). La captura de carbono (C) por SAF en biomasa aérea es 0,29-15,21 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ y en suelos es 30-300 Mg C ha⁻¹ dependiendo del sitio, diseño, especies, edad y manejo. En SAF con yerba mate, *Ilex paraguariensis*, los árboles cumplen función protectora y mejoran la fertilidad del suelo. En Rio Grande do Sul, Brasil fue estimado que la yerba puede capturar 5,45 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹ en promedio en biomasa aérea, con reservas en el suelo >56 Mg C/ha. Los SAF diversifican los ingresos y disminuyen los riesgos de producción y de mercados. Los SAF capturan carbono, y pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, siendo una herramienta para proyectos de desarrollo que incluyen REDD+.

Palabras clave: América Latina, carbono, diversificación, microclima, yerba mate

SUMMARY

In Latin America there are approximately 200-357 million hectares of agroforestry systems (AFS), mainly silvopastoral systems and shaded annual and perennial crops (coffee, cacao, yerba mate). Carbon sequestration by AFS in aerial biomass is 0.29-15.21 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ and in soils it is 30-300 Mg C ha⁻¹ depending on site, design, species, age and management. In AFS with yerba mate, *Ilex paraguariensis*, trees have a protective function and improve soil fertility. In Rio Grande do Sul, Brazil, yerba mate was estimated to capture an average of 5.45 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ in aerial biomass, with soil reserves >56 Mg C/ha. AFS diversify farm income and can contribute to decrease both market and production risks. AFS can capture carbon and also avoid deforestation by providing timber products in lands already deforested, thus serving as tool for development projects that include REDD+.

Key words: carbon, diversification, Latin America, microclimate, yerba mate

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) cumplen con muchas de las funciones necesarias para lograr objetivos productivos y de desarrollo rural, porque los árboles mejoran el microclima, promueven diversificación de ingresos, acumulan carbono (C) y contribuyen a recuperar suelos y aumentar la productividad (MONTAGNINI y NAIR 2004; MONTAGNINI et al. 2014). El papel de los SAF en el desarrollo rural depende de su diseño y manejo, incluyendo especies anuales o perennes bajo sombra, sistemas silvopastoriles (SSP), sistemas multiestrato (huertos familiares, SAF sucesionales), y sistemas complementarios (cercas vivas, rompevientos, corredores ribereños) (MONTAGNINI et al. 1992).

Mundialmente existen aproximadamente 1000 millones de hectáreas de SAF (NAIR et al. 2010). Los SAF se encuentran ampliamente difundidos en América Latina, con un total de 200-357 millones de ha incluyendo 14-26 millones en América Central y 88-315 en América del Sur, siendo los más prominentes los sistemas silvopastoriles (SSP) (combinación de árboles con pasturas/ganado en la misma unidad de producción) y los de cultivos anuales y perennes bajo sombra (SOMARRIBA et al. 2012). Los SAF con cultivos perennes tienen mayor potencial para la captura del C que los SAF con cultivos anuales, ya que el cultivo perenne contribuye a la captura de C total del sistema en su biomasa y suelos (MONTAGNINI y NAIR 2004).

Entre los SAF con cultivos perennes, los más frecuentes incluyen especies como café, cacao, y yerba mate. En la yerba mate, *Ilex paraguariensis*, cultivada en NE de Argentina, S de Brasil y Paraguay los árboles cumplen una función protectora además de mejorar la fertilidad del suelo (MONTAGNINI et al. 2011). El cultivo de yerba mate orgánica en SAF está en aumento debido a sus beneficios financieros.

Los SAF son uno de los mecanismos para la adaptación al cambio climático (CC) debido a su diseño que promueve un microclima moderado bajo la sombra de los árboles, donde la temperatura en promedio puede disminuir en 2 a 5°C (MURGUEITIO et al. 2011). Una ventaja adicional de los SAF es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta para los programas de REDD+.

El presente trabajo evalúa el papel de los sistemas agroforestales sobre la mitigación del cambio climático y proyectos de deforestación evitada (REDD+). Basado en una revisión de literatura se presentan datos sobre la mitigación del CC con toma de C en diferentes tipos de SAF (SAF con cultivos anuales y perennes y sistemas silvopastoriles (SSP) en biomasa aérea y en suelos. Finalmente se plantea cómo pueden los SAF ser una herramienta efectiva para proyectos REDD+.

Los SAF y la mitigación del cambio climático

Los SAF cumplen un papel importante en la mitigación del CC al disminuir la presión sobre los bosques, los cuales son el mayor reservorio de C, además de contribuir a la toma de C en el componente arbóreo, en cultivos y en suelos (MONTAGNINI y NAIR 2004). El potencial para la captura de C por los SAF es muy variable, con tasas de 0,29-15,21 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹ para la parte aérea, y acumulación de 30-300 Mg C ha⁻¹ para los suelos, dependiendo del sitio, tipo de SAF, especies involucradas, edad y manejo (MONTAGNINI y NAIR 2004; NAIR et al. 2010). Para los SSP, se citan cifras de captura de C para la vegetación (aérea y subterránea) de 1,1-6,55 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹ (NAIR et al. 2010).

Acumulación de C en SAF con cultivos anuales

En SAF de cultivos anuales existe acumulación de C en las partes 'lábil' del sistema (follaje y ramas de los árboles y en los cultivos anuales), y almacenamiento 'permanente' en los troncos de los árboles, el cual es mayor que en las lábil. En Tabla 1 se ven valores de acumulación de C en biomasa aérea en SAF con cultivos anuales, que presentan un rango variable, que va de 0,65 a 30 Mg C/ha. En general los SAF con cultivos anuales acumulan cantidades de C menores que los SAF con especies perennes (MONTAGNINI y NAIR 2004). Sin embargo, en Tabla 1 se ven valores que llegan hasta 120 Mg C/ha especialmente en SAF de plantaciones con cultivos anuales intercalados ("Taungya") don-

de los árboles son especies maderables de buen crecimiento.

Los sistemas Multiestrato que se muestran en Tabla 1 incluyen huertos familiares, barbechos mejorados, y otros SAF con árboles de bosque o plantados asociados con cultivos anuales y perennes. La acumulación de C en SAF Multiestrato depende principalmente de los árboles acompañantes, los cuales si son de bosque maduro pueden llegar a valores de hasta casi 200 Mg C/ha en clima ecuatorial (Af), en SAF en bosque lluvioso tropical. En cambio en climas tropicales con estación seca (Am y Aw) los valores de acumulación de C para los SAF Multistrato son más variables, llegando a alrededor de 100 Mg C/ha (Tabla 1).

Acumulación de C en SAF con cultivos perennes

En la literatura disponible los valores de acumulación de C para SAF de café con árboles plantados van de 47 a 237 Mg/ha, y para café con árboles de bosque, existen valores de 20 a casi 50 Mg/ha (Tabla 1). Para cacao se muestran valores de 24 a 52 Mg C/ha (árboles plantados). En Rio Grande do Sul, Brasil fue estimado que la yerba mate puede capturar 5,45 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹ en promedio en biomasa aérea, con reservas en el suelo >56 Mg C/ha (ALEGRE *et al.* 2007). En general los SAF con especies perennes acumulan más C que los SAF con especies anuales debido a la contribución adicional de los árboles o arbustos del cultivo perenne.

Acumulación de C en sistemas silvopastoriles (SSP)

En Tabla 1 se muestran para clima Af, en SSP de árboles plantados en pasturas, valores de acumulación de C de 13-58 Mg C/ha, y en SSP de pasturas con árboles residuales de bosque, valores de 19-74 Mg C/ha. Los árboles residuales de bosque en pasturas pueden alcanzar valores elevados de biomasa, dependiendo de la especie y la edad. Los SSP de bancos forrajeros dan valores menores (2-7 Mg C /ha), debido a que los arbustos forrajeros son podados para facilitar el ramoneo por los animales.

En clima subtropical, datos de Misiones, Argentina muestran valores elevados de acumula-

ción de C en SSP con árboles plantados, de 51 a 92 Mg C/ha. Estos SSP son basados en especies maderables seleccionadas y con buen manejo en establecimientos comerciales con buenos ingresos tanto por la madera como por los animales (PINAZO *et al.* 2007; FASSOLA *et al.* 2010).

Acumulación de C en suelos en SAF

A nivel mundial, los suelos, dependiendo del ecosistema y clima de la región de que se trate, contienen tanto o más C que la vegetación que crece sobre ellos, de manera que el carbono orgánico del suelo (COS) juega un papel crucial en el ciclo global del C (LAL 2005). Las técnicas que aumentan la toma y conservación del COS y evitan la erosión tales como las utilizadas en “agricultura alternativa”, en sistemas orgánicos, y en SAF tienen efectos positivos sobre la mitigación del CC (LAL 2005).

Estimaciones del COS almacenado por los SAF dan valores de 30 a 300 Mg C/ha en estudios realizados hasta 1 m de profundidad en el suelo (NAIR *et al.* 2010). Para los SSP se dan valores de COS de 6,9 a 24,2 Mg/ha en regiones templadas y de hasta 130 a 173 Mg/ha en regiones tropicales, sin embargo estas cifras dependen de la profundidad de muestreo del suelo y los métodos utilizados para el análisis del COS (NAIR *et al.* 2010).

Ecuaciones alométricas para especies utilizadas en SAF

Debido al interés creciente en los proyectos de carbono y a la urgencia en estimar la contribución de los diferentes componentes de los sistemas de uso de la tierra con referencia a sus funciones como emisores o acumuladores de C, numerosos trabajos han sido realizados recientemente para evaluar la cantidad de biomasa y C. Como las cosechas de partes de la biomasa del sistema son destructivas, han sido desarrollados modelos para poder estimar el C basados en mediciones de campo de diámetro, altura, y cosecha de biomasa con las cuales se construyen ecuaciones alométricas que permiten realizar los cálculos sin destruir el sistema.

En Tabla 2 se muestran ecuaciones alométricas para especies utilizadas en SAF, que han sido plantadas, cuyas edades son conocidas. Se muestran ecuaciones para troncos, ya que es la parte de la biomasa que representa un almacenaje de C a largo plazo, y en algunos casos se presentan ecuaciones para biomasa total.

Tabla 1. Rangos de acumulación de carbono (“C stock”) en biomasa aérea en SAF ordenados según el clima. Según el sistema Koeppen para clasificación de climas, Af es tropical sin estación seca, Am es tropical con estación seca corta, Aw es cálido con estación seca en invierno, Cfa es sub-tropical sin estación seca y verano cálido.

Table 1. Ranges of carbon accumulation (“C stock”) in aerial biomass in AFS sorted by climate. According to the Koeppen climate classification, Af is tropical without dry season, Am is tropical with short dry season, Aw is warm with a dry winter, Cfa is sub-tropical without a dry season and with a warm summer.

Sistemas Agroforestales			C en biomasa aérea	
Clima	Categoría	Subcategoría	C almacenado (Mg/ha)	# de datos
Af	Cultivos anuales	Taungya	35	1
Af	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	22 a 35	2
Af	Multistrato	Cultivos alimentarios con árboles de bosque	64 a 69	2
Af	Multistrato	Barbecho mejorado	21 a 294	9
Af	Multistrato	SAF indígena	59	1
Af	Silvopastoril	Árboles plantados en pasturas	13 a 58	7
Af	Silvopastoril	Pasturas con árboles residuales	19 a 74	2
Af	Complementario	Cercas vivas	70	1
Am	Cultivos anuales	Cultivos en callejones	0.65	1
Am	Cultivos anuales	Taungya	58 a 120	1
Am	Cultivos perennes	Cacao con árboles plantados	24	1
Am	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	47 a 237	1
Am	Cultivos perennes	Café y cacao en bosque	19 a 47	1
Am	Cultivos perennes	Café orgánico en bosque (policultivo)	39	1
Am	Cultivos perennes	Café orgánico con árboles de Inga naturales	46	1
Am	Cultivos perennes	Policultivo de café bajo sombra, no orgánico	39	1
Am	Cultivos perennes	Varios cultivos en bosque	41 a 74	2
Am	Multistrato	SAF Comercial	3 a 114	8
Am	Multistrato	Huertos familiares (indígenas)	72	1
Am	Multistrato	Barbecho mejorado	4 a 60	6
Am	Silvopastoril	Banco forrajero	2 a 7	3
Am	Silvopastoril	Árboles plantados en pasturas	0,31 a 3,3	9
Am	Silvopastoril	Pasturas con árboles residuales	2 a 31	11
Am	Complementario	Bosquetes	21	1
Aw	Cultivos anuales	Cultivos en callejones	30	1
Aw	Cultivos perennes	Cacao con árboles plantados	31 a 52	3
Aw	Multistrato	SAF Comercial	64,5	1
Cfa	Cultivos anuales	Cultivos con árboles plantados	7 a 23	6
Cfa	Cultivos perennes	Yerba mate con árboles plantados	12 a 169	5
Cfa	Silvopastoril	Árboles plantados en pasturas	51 a 92	2

Para usar estas ecuaciones es importante tener en cuenta el sitio donde se han realizado las mediciones ya que éste influye sobre la biomasa producida. Asimismo es necesario usar ecuaciones que

hayan sido preparadas para edades similares de los árboles del proyecto para el cual se quiera estimar su biomasa y C.

Aplicaciones de SAF en proyectos REDD+

Desde hace algunas décadas los esquemas de compensación y pago por servicios ambientales (PSA y REDD) se vienen constituyendo en instrumentos económicos aptos para la conservación de los servicios ambientales o ecosistémicos en juego (biodiversidad, provisión y purificación de agua, control de erosión, polinización, absorción y fijación de carbono forestal, etc.). Con su implementación es posible estimular además el progreso económico de las poblaciones involucradas mejorando así su calidad de vida. Vistos de este modo, tales proyectos parecen convertirse en el paradigma de la sostenibilidad y el desarrollo sostenible al presentar, en forma clara, beneficios ambientales, económicos y sociales (GALARZA 2014).

Desde el año 2005, los mecanismos REDD, que proveen incentivos para evitar deforestación y degradación de bosques, han emergido como un componente central de los esfuerzos coordinados por la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). De acuerdo a este convenio, 5 tipos de intervención para la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera han sido aprobadas (par. 70 decisión 1/16; UNFCCC 2011): evitar la deforestación, evitar la degradación de bosques, conservar los stocks de carbono en los bosques, a través del manejo forestal sustentable, y aumentar los almacenamientos de carbono en bosque (REDD+).

Los SAF pueden ser utilizados para contribuir en varias de esas intervenciones. Por ejemplo, una ventaja de los SAF con respecto a la mitigación del CC es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta importante para este tipo de intervenciones de los programas de REDD+. En proyectos REDD+, los SAF son frecuentemente implementados en la periferia de la zona núcleo donde se quiere proteger al bosque, para contribuir con beneficios nutricionales y productos forestales y agrícolas para las comunidades del proyecto de desarrollo de que se trate.

En particular, los mecanismos de REDD+ están siendo utilizados como parte de programas de desarrollo rural en regiones donde cumplen con funciones tales como frenar la deforestación, evitar degradación, y, a la vez, contribuir a proveer productos para la subsistencia y desarrollo económico de los pobladores locales. Por ejemplo, en Brasil y en Perú varios proyectos REDD+ promueven SAF con especies perennes como cacao, café, frutales,

palmas y otras especies asociadas con árboles de múltiples usos, en las zonas periféricas para beneficiar a las comunidades que viven en zonas alejadas a los proyectos (REALU 2012; SILVA *et al.* 2014). En estos proyectos, mecanismos basados en incentivos locales son útiles para explorar distintas estrategias que promuevan la conservación y usos de la tierra ricos en carbono. De esta manera se integran los mecanismos REDD+ a los objetivos de desarrollo local y al cumplimiento de las políticas de manejo agrícola y forestal sustentable del país (SILVA *et al.* 2014). Según las experiencias del proyecto REALU en Perú, relatadas por Silva *et al.* (2014), se concluye que los proyectos REDD+ que tomen en cuenta el mosaico agrícola traen una serie de ventajas en cuanto a la posibilidad de trabajar en áreas degradadas y con procesos de deforestación. Sin embargo éstos provocan una serie de complejidades debido a la variabilidad entre las características socioeconómicas de los productores, las dinámicas que existen entre las estrategias de vida, la forma en que deciden las trayectorias de los distintos usos de la tierra y su impacto a nivel de paisaje. De manera que la implementación de proyectos REDD+ no es sencilla ya que exige gestión con los diferentes actores que influyen sobre las decisiones en el uso de la tierra en una región donde los objetivos de desarrollo rural tienen prevalencia.

Posibilidades para proyectos REDD+ vinculados al desarrollo rural en Argentina

En la Argentina se encuentran avanzadas formulaciones de varios proyectos REDD+. Por ejemplo, para Misiones, han sido avanzadas varias propuestas. Los SAF de yerba mate son una de las opciones a utilizar en zonas circundantes a los bosques protegidos. Además del valor de los SAF en proveer beneficios a las comunidades, es necesario señalar su contribución en la captura de C. Para la estimación de captura de C por la yerba, se pueden utilizar ecuaciones alométricas para los arbustos de yerba mate tales como las desarrolladas por ALEGRE *et al.* (2007) (Tabla 2). Sin embargo en Brasil los árboles de yerba mate son podados de manera diferente que en Argentina, alcanzando mayores tamaños que en las plantaciones en la Argentina. Sería recomendable desarrollar ecuaciones alométricas para yerbales de diferentes edades para las situaciones de sitios y manejo que se dan en la Argentina.

Para realizar los cálculos es necesario conocer las densidades de plantas de yerba mate así como las de los árboles acompañantes. Por ejemplo, en Misiones un 15% de los productores tiene plantaciones de alta densidad (>1.800 plantas de yerba/ha), 48% tiene densidad mediana (1000–1800 plantas/ha), y 30-35% tiene plantaciones de menor densidad. Con respecto a los árboles acompañantes, se estima que una densidad final de aproximadamente 100 árboles/ha es recomendable para obtener buenos efectos ambientales e ingresos financieros atractivos para los agricultores (MONTAGNINI *et al.* 2011). Además de pino y araucaria, en Misiones especies nativas maderables o de otros usos son asociadas a la yerba mate, existiendo información sobre su productividad y silvicultura (EIBL *et al.* 2012). Con ecuaciones alométricas como las que se muestran en Tabla 2, se puede estimar valores totales de captura de C para SAF de yerba mate. Con ello se determina el valor de mitigación del SAF además de los beneficios económicos y sociales a las comunidades circundantes al proyecto REDD+.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los SAF promueven adaptación a la variabilidad climática con la diversificación propia de estos sistemas, lo cual disminuye los riesgos y da más flexibilidad para cambiar hacia especies o variedades mejor adaptadas a las nuevas condiciones. Los SAF bien implementados y manejados pueden tener tasas de acumulación de C elevadas, y ser una herramienta efectiva para proyectos de desarrollo rural. Los SAF con cultivos perennes tienen mayor potencial para la toma de C que los SAF con cultivos anuales.

Tendencias actuales a nivel mundial abren nuevas oportunidades para los SAF como herramientas de adaptación y mitigación (AyM) del CC, y para su uso en áreas aledañas a bosques protegidos en proyectos REDD+. Los SAF son considerados sistemas claves en la transformación de la agricultura convencional en “Agricultura climáticamente inteligente” (“Climate-smart agriculture”), es decir, una agricultura que aumenta la productividad de manera sostenible, es resiliente (tiene capacidad de adaptación ante los diferentes impactos ambientales o antropogénicos), reduce/evita o disminuye los GEI (mitigación) y a la vez contribuye al logro de metas nacionales de seguridad alimentaria y desarrollo (FAO 2012). La promoción de los SAF para objetivos de AyM del CC requiere herramientas tales como ecuaciones alométricas que permitan la evaluación del potencial de los diferentes

sistemas de uso de la tierra para la captura del C en las regiones de interés de los proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue presentado en las XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones, Argentina, 15-17 mayo 2014. Se agradece al Comité Editorial de las Jornadas por sus comentarios, asimismo se agradece a Ruth Metzler, Universidad de Yale, por sus sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

ALEGRE, J. C.; Montoya Vilcahuaman, L. X.; Correa, G.. 2007. Geração da curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de erva-mate, no sul do Brasil. Colombo: Embrapa Florestas. 19 p. Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Florestas, ISSN 1676-9449; 33.

BRANCHER, T. 2010. Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tome Azu, Amazonia Oriental. MS Thesis, Universidad Nacional do Para, Belem, Para, Brazil. 58pp

EIBL, B. I.; Barth, S. R.; Montagnini, F. 2012. Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas degradadas de la provincia de Misiones. Actas 15as Jornadas Forestales y Ambientales, Fac. Ciencias Forestales, Univ. Nac. de Misiones-EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina, Junio 2012.

FERNÁNDEZ TSCHEDER, E.; Martiarena, R.; Goya, J.; Lupi, A.; Frangi, J. 2004. Ajuste de ecuaciones para la determinación de la biomasa de plantaciones de Araucaria angustifolia (bert.) O. Ktze en el Norte de la provincia de Misiones. 11as Jornadas Técnicas Forestales. Eldorado, Misiones. Octubre de 2004.

FASSOLA, H. E.; Crechi, E. H.; Barth, S. R.; Keller, A.E.; Winck, R. A.; Martiarena, R.; Von Wallis, A.; Pinazo, M. A.; Knebel, O. 2010. Modelos regionales de biomasa aérea de *Pinus taeda* para Misiones y NE de Corrientes, Argentina. 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de Junio de 2010 -Eldorado, Misiones, Argentina

GALARZA, C. J. 2014. Compensación y pago por servicios ambientales: ¿Paradigmas de Desarrollo Sostenible? Parte I – Portal Digital I-Ambiente. <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs%2Fcompensacion-y->

pago-por-servicios-ambientales-paradigmas-de-desarrollosostenible-parte-i#sthash.XUR6fGql.dpuf

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2012. Moving forward with Climate-smart agriculture. www.fao.org/climatechange/climate-smart.

LAL, R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. In: F. Montagnini (Ed.). Environmental Services of Agroforestry Systems. Haworth Press, New York. pp. 1-30.

MESSA ARBOLEDA, H. F. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. MStesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 225 pp.

MONTAGNINI, F. *et al.*, 1992. Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos. 2da. ed. rev. y aum. Organización para Estudios Tropicales (OTS). San José, Costa Rica. 622 pp.

MONTAGNINI, F.; P. K. Nair. 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 281-295.

MONTAGNINI, F., B. Eibl, S. R. Barth. 2011. Organic yerba mate: an environmentally, socially and financially suitable agroforestry system. *Bois et Forêts des Tropiques* 308: 59-74.

MONTAGNINI, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (Eds.). 2014. Sistemas Agroforestales en el Neotrópico. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico, CATIE, Turrialba, Costa Rica. CIPAV, Cali, Colombia. En prensa.

MONTERO, M.; F. Montagnini. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies forestales nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 45: 118-125.

MURGUEITIO, E.; Z. Calle; F. Uribe; A. Calle; B. Solorio. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261 (10): 1654-63.

NAIR, P. K. R.; V. D. Nair; B. M. Kumar; J. M. Showalter. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances in Agronomy* 108: 237-307.

PINAZO, M.A., R.A. Martiarena, A. Von Wallis, E. Crechi, N.M. Pahr, O. Knebel. 2007. Efectos de la

intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus taeda* L. establecida sobre Ultisoles de Misiones. *RIA* 36 (1): 5-20. Abril 2007. INTA, Argentina.

REDUCING EMISSIONS FROM ALL LAND USES IN PERU. 2012. Carbon Report Year 1. ASB Partnership for the Tropical Forest Margins. Nairobi, Kenya. Preliminary draft, January 2012. 7pp. ICRAF/Peru.

SEGURA, M., M. Kanninen, D. Suárez. 2006. Allometric Models for Estimating Aboveground Biomass of Shade Trees and Coffee Bushes Grown Together. *Agroforestry Systems* 68: 143-150.

SILVA AGUAD, C., V. Robiglio, J. Donovan. 2014. Un enfoque de paisaje a los esquemas REDD+: la experiencia de reducir emisiones en distintos usos de la tierra con productores de cacao en el Amazonas peruano. En: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (Eds.). Sistemas Agroforestales en el Neotrópico. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico, CATIE, Turrialba, Costa Rica. CIPAV, Cali, Colombia. En prensa.

SOMARRIBA, E., J. Beer, J. Alegre Orihuela, H. Andrade, R. Cerda, F. Declerck, G. Detlefsen, M. Escalante, L.A. Giraldo, M. Ibrahim, L. Krishnamurthy, V. Mena, J. Mora-Delgado, L. Orozco, M. Scheelje, J.J. Campos. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. In: Nair PKR, Garrity DP (eds.). *Agroforestry: the way forward. Advances in Agroforestry* 9. Springer, New York, p. 429-453.

SOTO-PINTO, L., M. Anzueto, J. Mendoza, G. Jiménez Ferrer, B. Jong. 2009. Carbon Sequestration Through Agroforestry in Indigenous Communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78: 39-51.

UNFCCC. 2011. United Nations Framework Convention on Climate Change Report of the Conference of the Parties on its Sixteenth Session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010 (FCCC/CP/2010/7/Add.1, United Nations, 2011); Disponible En: <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>

Anexo N° 2. Ecuaciones alométricas para especies leñosas frecuentemente plantadas en SAF en América Latina.
Table 2. Allometric equations for woody species frequently planted in AFS in Latin America.

Especies	Edad (años)		Ecuación Alométrica	Sistema Agroforestal	País	Sitio	Fuentes de Información
	Nombre	Tipo					
<i>Araucaria angustifolia</i>	20-40	Tronco	$PS = 635.3 + 32.30 * DAP^2 * ALT$	Cultivos perennes	Argentina	Misiones	Fernández Tscheder et al. (2004)
<i>Araucaria angustifolia</i>	20-40	Total	$PS = -4.1.71 + 0.565 * DAP^2$	Cultivos perennes	Argentina	Misiones	Fernández Tscheder et al. (2004)
<i>Balizia elegans</i>	8	Tronco	$\ln(Biomasa) = -4.491 + 2.672 \ln(DAP)$	Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini (2005)
<i>Calophyllum brasiliense</i>	8	Tronco	$\ln(Biomasa) = -2.570 + 2.454 \ln(DAP)$	Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini (2005)
<i>Coffea arabica</i>	>20	Total	$Y = 0.2811D^{2.0635}$	Cultivos perennes	México	Chiapas	Soto-Pinto et al. (2009)
<i>Cordia alliodora</i>		Total	$\log_{10}(BA) = -0.755 + 2.702 * \log_{10}(DAP(cm))$	Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. (2006)
<i>Dipteryx oleifera</i>	8	Tronco	$\ln(Biomasa) = -2.831 + 2.747 \ln(DAP)$	Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini (2005)
<i>Euterpe oleracea</i>	10-14	Tronco	$PS = \exp(-0.0470 + 0.075 * DAP)$	Multiestrato	Brasil	Tome Acu, Pará	Brancher (2010)
<i>Gliricidia sepium</i>	5-8	Total	$\ln(PS) = -3.5795 + 2.5728 \ln(\text{Diámetro Basal})^2$	Silvopastoril	Venezuela	San Javier, Yaracuy	Messa Arboleda (2009)
<i>Gliricidia sepium</i>	5-8	Tronco	$\ln(PS) = -3.7067 + 2.4567 \ln(\text{Diámetro Basal})^2$	Silvopastoril	Venezuela	San Javier, Yaracuy	Messa Arboleda (2009)
<i>Guazuma crinita</i>		Total	$PS = 0.0423 * (DAP * 2.6514)$	Silvopastoril	Perú	Yurimaguas	REALU II (2012)
<i>Hevea brasiliensis</i>	10-14	Tronco	$C = \exp(-4.07305 + 1.63781 * \ln(DAP) + 1.21724 * \ln(ALT))$	Multiestrato	Brasil	Tome Acu, Pará	Brancher (2010)
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	8	Tronco	$\ln(Biomasa) = -3.136 + 2.591 \ln(DAP)$	Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini (2005)
<i>Ilex paraguariensis</i>	4-35	Total	$PS = -20.255 + 0.8081 * edad + 3.9672 * ALT + 3.6923 * Biomasa Foliar$	Cultivos anuales	Brasil	Rio Grande do Sul	Alegre et al. (2007)
<i>Inga punctata</i>		Total	$\log_{10}(BA) = -0.889 + 2.317 * \log_{10}(DAP(cm))$	Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. (2006)
<i>Inga tonduzzi</i>		Total	$\log_{10}(BA) = -0.936 + 2.348 * \log_{10}(DAP(cm))$	Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. (2006)
<i>Jacaranda copaia</i>	8	Tronco	$\ln(Biomasa) = -3.581 + 1.804 \ln(DAP)$	Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini (2005)
<i>Juglans olanchana</i>		Total	$\log_{10}(BA) = -1.417 + 2.755 * \log_{10}(DAP(cm))$	Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. (2006)
<i>Leucaena leucocephala</i>	2-5	Tronco	$\ln(PS) = -2.9836 + 2.0428 \ln(\text{Diámetro Basal})^2$	Silvopastoril	Venezuela	San Javier, Yaracuy	Messa Arboleda (2009)