



Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú

Carbon stock in five land use systems in the region of San Martin, Perú

*Percy Díaz Chuquizuta¹, Grecia Fachin Ruiz², Cheryl Tello Salas³, Luis Arévalo López¹

¹ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES). San Martín, Perú. E-mail: * pdiaz023@gmail.com; larevalol@iiap.org.pe. ² Tesista de Pre Grado, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. ³ Investigador en estudios en adaptación de cultivos al cambio climático

Recibido 03 de abril 2016; recibido en forma revisada 04 de octubre 2016; aceptado 04 de octubre 2016

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: bosque Primario, bosque secundario, Pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth), Cacao (*Theobroma cacao* L.) y Café (*Coffea arabica* L.). Se instalaron tres transectos de 100 m² (4 m x 25 m), en cada sistema. Se evaluó la biomasa aérea viva, la hojarasca y el suelo (0 - 30 cm). Se utilizó la metodología desarrollada por el ICRAF. El carbono total en el bosque primario y secundario fue de 398.78 y 396.78 t ha⁻¹, mientras que los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 22.68, 17.46 y 17.88 t ha⁻¹; respectivamente. Tanto el bosque primario como el bosque secundario superaron por 20 veces más a los demás sistemas estudiados. En el componente suelo el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 t ha⁻¹, el bosque primario tuvo el 81%; y los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 43.4%, 48.7% y 49.81% respectivamente, con relación al bosque primario. Estos resultados indican que el cambio de bosques a plantaciones y de una sola especie, disminuyen la capacidad de capturar carbono y por ende de CO₂ uno de los gases causante del cambio climático.

Palabras claves: Biomasa aérea, carbono, hojarasca, sistema de uso de tierra, suelo.

ABSTRAC

The aim of this study was to quantify the carbon stored in aboveground biomass and soil in five sets of land use: primary forest, secondary forest, Pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth), Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Coffee (*Coffea arabica* L.). Three transects of 100 m² (4 m x 25 m) in each system were installed. Live aboveground biomass, litter and soil (0 - 30 cm) was evaluated. The methodology developed by ICRAF was used. The total carbon in the primary and secondary forest was 398.78 and 396.78 t ha⁻¹, while systems peach palm, cocoa and coffee with values of 22.68, 17.46 and 17.88 t ha⁻¹; respectively. Both the primary forest and secondary forest exceeded by 20 times the other systems studied. In component secondary forest floor had a total carbon storage of 113.94 t ha⁻¹, the primary forest was 81%; and systems pijuayo, cocoa and coffee values were 43.4%, 48.7% and 49.81% respectively, compared to primary forest. These results indicate that the change of forest plantations and a single species decrease the ability to capture carbon and CO₂ thus one of the gases causing climate change.

Keywords: ground biomass, carbon, litter system, land use, soil.

INTRODUCCIÓN

El ciclo global del carbono es uno de los principales ciclos biogeoquímicos debido a la regulación de la concentración de CO₂ en la atmósfera, un importante gas de efecto invernadero. Este gas en la atmósfera aumentó de 280 ppm en el año 1750 a 379 ppm en el 2004, y continúa incrementándose a una tasa anual mayor a 1 ppm (Epstein y Rogers, 2004). Se estima que el cambio de uso de la tierra emite 1.6 ± 1.0 Gt ($1 \text{ Gt} = 1 \times 10^9 \text{ t}$) de carbono al año (Lal y Kimble et al., 1998) y que se ha agravado en los últimos cien años.

En el Perú y la región San Martín, el cambio de uso de tierra, especialmente por la agricultura tradicional - migratoria, trae consigo la deforestación y la quema, ambos grandes contribuyentes de la emisión de anhídrido carbónico (CO₂) y otros gases en la atmósfera, responsable de 20 a 25% de las emisiones anuales mundiales de CO₂ (Moutinho et al., 2005).

En el bosque tropical el carbono está en equilibrio, no obstante, de acuerdo a la FAO (2002), en tan pronto ocurre la deforestación o la reforestación, el equilibrio es afectado, ya que se estima que cerca de 7000 toneladas de carbono se liberan cada año por la actividad humana a la atmósfera. Tipper (1996), reporta que los bosques son los almacenes más importantes del mundo y son los responsables por la mayor parte de los flujos de carbono, siendo estos flujos a través de la fotosíntesis (captura de CO₂ para formar carbohidratos) y la respiración (la oxidación de carbohidratos para liberar CO₂).

Por otro lado, la capacidad de los ecosistemas para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos, la densidad de la población de cada estrato y de la comunidad vegetal (Alegre et al., 2000).

El tiempo desde que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura de la planta hasta que es enviado al suelo o la atmósfera, se considera almacenado (Rodríguez et al., 2006). El suelo también almacena grandes cantidades de carbono (Marín-Muñiz et al. 2014) siendo por sí solo más que la biomasa forestal, pero esto depende de la zona climática, siendo el máximo en las áreas frías y un mínimo en áreas tropicales (IPCC, 2000).

Sin embargo, con un manejo sostenible de los recursos naturales y sus cultivos, se pueden mitigar los efectos del cambio climático y reducir las emisiones, manteniendo constante el stock de capital natural, tales como el suelo y su calidad, el agua (superficial y subterránea), la biomasa de la tierra y agua, y la capacidad de asimilación de desechos de los ambientes receptores (Pearce y Atkinson, 1995).

Actualmente el Perú cuenta con muy pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono en la biomasa aérea, especialmente en sistemas agroforestales donde al combinar los cultivos o frutales con especies forestales incrementan sus niveles de captura de carbono, mejorando además su productividad (Lapeyre et al., 2004); sin embargo, se han realizado otros estudios que evalúan las reservas de carbono en otros diferentes sistemas de uso de la tierra en las regiones de Amazonas y Ucayali (Alegre et al., 2000).

El objetivo del presente estudio fue evaluar en forma cuantitativa el carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra en la región San Martín, Perú (bosque primario, bosque secundario, pijuayo, cacao, y café), en tal sentido se tiene la hipótesis de que aquellos sistemas con mayor producción de biomasa, y que resultan en stocks más elevados de carbono, tienen el potencial de proveer múltiples beneficios ambientales y socioeconómicos.

Descripción de los sistemas evaluados en la región San Martín.

Sistema de Bosque primario. Ubicado en el sector Alto Ahuashiyacu, distrito de la Banda de Shilcayo, provincia y región San Martín, en el km 19 de la carretera Tarapoto – Yurimaguas, siendo el acceso principal, hasta el “Centro Académico, Investigación y Ecoturismo Biodiversidad” de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto”, que está dentro del Área de Conservación Regional Cerro Escalera, que tiene 149 870 hectáreas, según la clasificación de zonas de vida de Holdridge está como Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PT), se caracteriza por colinas altas, depresiones, laderas y montañas. La temperatura promedio anual fue de 22.5 °C, con fluctuaciones aproximadas de 21 a 24 °C, con

precipitaciones de 1500 a 2000 mm y altitudes de 350 a 1050 msnm (ACR-CE, 2007).

El área evaluada fue una hectárea a 1038 msnm (Cuadro 1 y 2); hace más de 50 años, que está protegida y no presenta aprovechamiento de especies, el relieve del lugar evaluado es ondulado con pendientes de máximo 50%. Las especies de mayor abundancia son Cumala (*Virola sebifera* Aubl.), Moena (*Aniba spp*), Pona (*Euterpe deltoidea.*) y Sacha Shimbillo (*Inga spp*), los diámetros a la altura del pecho (DAP) van de 3.4 a 76.4 cm. y las alturas de 1.9 a 26.9 m.

Sistema de Bosque secundario. Se encuentra en el Área de Conservación Ojos de Agua, ubicada en el distrito de Pucacaca, provincia de Picota, tiene 2 413.13 ha. El área corresponde a un bosque seco estacional menor de 50 años, con un periodo de precipitaciones aisladas que inician en los meses de Octubre a Diciembre y otro periodo de precipitaciones más frecuentes entre los meses de Febrero a Abril. Su topografía es de montañas bajas de laderas empinadas con relieves colinosos con pendientes que varían de 25% a 50%. Presenta suelos arcillosos (INIBICO, 2012), con temperatura promedio de 29.9 °C, precipitación anual de 958.2 mm. y la humedad relativa de 80.3%.

El área evaluada fue una hectárea, donde la flora de mayor abundancia es Quinilla (*Manilkara bidentata*), Sabina (*Mosannonna vasquezii*), Uchumullaca (*Trichilla japurensis*) y Chucchumbo (*Eugenia limbosa*) y los diámetros a la altura del pecho (DAP), van de 1.14 a 68.75 cm. y alturas de 1.99 a 25.62 m.

Sistema de Pijuayo (*Bactris gasipaes*). La plantación se encuentra en el distrito de Pongo de Caynarachi, provincia de Lamas, de propiedad del Sr. Fermín Tirado Herrera con 3 ha de 7 años de edad. La zona de estudio cuenta con más de 1 500 ha (GORESAM, 2008), la temperatura promedio fue 25.3 °C, la precipitación anual, 3628.4 mm, la humedad relativa 86.7% y la altitud fue de 272 msnm (Cuadro 1 y 2), con suelo franco arenoso, presenta topografía de relieves semiplanos con pendientes de 5 a 8%. El estudio se realizó en 1 ha. La plantación es un monocultivo destinado a la producción de palmito, sembrado con distanciamiento de 2 x 1 m, las alturas de las

plantas van de 1 a 2.2 m y los diámetros de los tallos a 30 cm del suelo van de 4.5 cm a 11.23 cm, con rendimiento promedio de 3000 tallos/ha.

Sistema de cacao (*Theobroma cacao*). La plantación se encuentra ubicada en el distrito de campanilla, provincia de Mariscal Cáceres, de propiedad del Sr. Cesar Trigozo Lolo, presenta pendiente de 5 a 20%, con suelo arcilloso no inundable, temperatura promedio de 30.7 °C, precipitación de 1 766.2 mm y una humedad relativa de 78.5%. La plantación tiene 7 años de edad y es manejada como monocultivo, con los clones ICS 95 y CCN 51, con una producción promedio de 780 kg.ha⁻¹. El área de la plantación es de 4 ha⁻¹, haciéndose el estudio dentro de 1 ha⁻¹. Los meses de mayor cosecha son entre Abril y Agosto y los meses con menor cosecha, Setiembre a Diciembre. El mantenimiento se realiza mediante podas regulares para el cacao y el desmalezado mediante machete, no se aplica insecticidas, tampoco abonos químicos u orgánicos. La densidad de la plantación 1 250 plantas a distanciamiento 3 x 3 metros en tres bolillo (Cuadro 1 y 2).

Sistema de café (*Coffea arabica*). Ubicado en el Distrito de Chirapa, provincia de Lamas, con trocha carrózable de acceso a la parcela, de propiedad del Sr. Raúl Tapullima Tuanama, El terreno tiene suelo franco Arcilloso, no es inundable y posee una pendiente de 70% en los lugares más inclinados, con temperatura promedio 26.4 °C, precipitación anual de 1501.5 mm, 928 msnm y humedad relativa de 87.6%. La plantación tiene 7 años de edad, sembrado a 2 x 1 m, combinada con especies de guaba (8 plantas/ha), con un total de 5 ha⁻¹ plantadas haciendo el estudio en 1 ha⁻¹, con las variedades catimor, típica y pache. La época de cosecha son los meses de Marzo a Junio La producción promedio es de 14 quintales por hectárea. No usa abono para el mantenimiento y los deshiero son manuales con machete. Presenta ataque de roya. El diámetro de las plantas van de 3.14 cm a 6.54 cm (a 30 cm del suelo) y la altura de 1.61 m al 3.12 m (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1: Ubicación de los sistemas de uso de tierras estudiadas.

Provincias	Distritos	Sistemas	Densidad Plantas/ha	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Edad años
				S	W		
Lamas	Chirapa	<i>C. arabica</i>	5 000	8°11'16''	76°31'27''	928	7
	Pongo de Caynarachi	<i>B. gasipaes</i>	10 000	8°11'19''	76°16'47''	272	6
Mariscal Cáceres	Campanilla	<i>T. cacao</i>	1 250	7°30'56''	76°37'46''	448	7
Picota	Pucacaca	Bosque secundario	240* 1700**	6°50'29''	76°27'28''	521	<50
San Martín	Banda de Shilcayo	Bosque Primario	440* 2000**	6°27'57''	76°17'22''	1038	>50

Fuente: Elaboración propia (2012). *: Diámetro > 30 cm. **: Diámetro < 30 cm

Cuadro 2: Condiciones climáticas en los sistemas de uso de tierra

Distritos	Parcela	T°(C°)	Precipitación anual (mm) 2012	Humedad Relativa (%)	Características del suelo al tacto
Chirapa	Cafeto	26.4	1501.5	87.6	Franco Arcilloso
Pongo de Caynarachi	Pijuayo	25.3	3628.4	86.7	Franco arenoso
Campanilla	Cacao	30.7	1766.2	78.5	Arcilloso
Pucacaca	Bosque secundario	29.9	958.2	80.3	Arcilloso.
Banda de Shilcayo	Bosque Primario	21.2	1593.5	87.6	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia (2012) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en cinco Sistemas de Uso de Tierra (SUT): Bosque primario, Bosque secundario, Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Cacao (*Theobroma cacao* L.) y Cafeto (*Coffea arabica*) (Cuadro 1). La metodología que se utilizó fue desarrollada por el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), siguiendo los procedimientos del manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierra (Arévalo et al., 2003).

Estimación de biomasa aérea. En cada sistema de uso de tierra se hicieron tres transectos al azar, con dimensiones de 4 x 25 m. Se midió DAP (cm) y altura total (m), de árboles dentro de los transectos, para la aplicación de las formulas alométricas concretas para cada sistema (Cuadro 3). Para el caso del cacao, cafeto y pijuayo se

tomó el diámetro a 30 cm desde el suelo (Andrade, 2003) y en caso de los bosques primario y secundario, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m. En el bosque primario y secundario se encontraron árboles que superaron los diámetros de 30 cm, por ello se extrapolo una parcela de 5 m x 100 m, superpuesta al transecto de 4 m x 25 m.

Calculo de la Biomasa arbórea viva (t ha⁻¹).

Para calcular la cantidad de biomasa por hectárea, se sumó la biomasa de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en los transectos de 4 m x 25 m, es decir: **BAVT (t ha⁻¹) = BTAV * 0.1**

Donde,

BAVT= Biomasa árboles vivos en t ha⁻¹

BTAV= Biomasa total en los transectos de 4 m x 25 m

0.1= Factor de conversión cuando el transecto es de 4 m x 25 m

Cuadro 3: Formulas alométricas utilizadas para encontrar la biomasa (kg árbol⁻¹)

Especies	Nombre científico	Formula alométrica	Autor.
Pijuayo	<i>Bactris gasipaes</i>	$BA = 0.97 + 0.078 \times AB - 0.00094 \times AB^2 + 0.0000065 \times AB^3$	Schroth et al. 2002
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	$BA = 0,4849 (DAP)^{1,42}$	Larrea y Alegre (2007)
Café	<i>Coffea arabica</i>	$BA = 10^{(-1.11 + (1.58 \times \log(DAP)) + (0.58 \times \log \times h))}$	Segura et al. (2006)
Bosque secundario	---	$\text{Exp}(-2.977 + \ln(0.64 \times \text{dap}^2 \times h))^*$	Chavé et al. (2005)*
y Bosque primario	---	$\text{Exp}(-1.7689 + 2.377 \times \ln(DAP))^{**}$	Nascimento y Laurance (2002)**

AB: área Basal; DAP: Diámetro a la altura del pecho. *: Dap 5 a 156 cm. **: Dap 1 a 5 cm.

Estimación de biomasa muerta (Hojarasca). Se usaron cuadrantes de madera de 0.25 m² (50 cm x 50 cm), que se lanzaron al azar dentro de cada transecto de cada uno de los SUT, enseguida se colectó en bolsas plásticas el total de muestra del cuadrante, siendo rotuladas y llevadas al laboratorio. Del total de la muestra fresca colectada se extrajo una sub muestra de 200 g, para ser secado en la estufa a 60 °C, por 3 días hasta obtener un peso constante para determinar la cantidad de carbono.

Cálculos de la biomasa de hojarasca (t ha⁻¹). Para estimar la biomasa en t ha⁻¹, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Bh (t ha^{-1}) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 40$$

Donde,

- Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca
- PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)
- PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)
- PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (Kg)
- 40 = Factor de conversión

Estimación de carbono orgánico en el suelo (COS). En cada transecto de los cinco sistemas, se tomó muestras de suelo hasta 30 cm de profundidad, para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido” descrito por MacDicken (1997) haciendo uso de un cilindro metálico de 10 cm de largo x 5 cm de diámetro que fue totalmente introducido en el suelo de manera vertical, a tres profundidades (0-10, 10-20, y 20-30 cm) para lo cual se utilizó un mazo de acero. Luego se extrajo con una pala y seguidamente se eliminó el sobrante de suelo de los bordes del cilindro. Una vez lleno y nivelado, se extrajo el suelo contenido cuyo volumen corresponde al del cilindro. Luego las muestras fueron depositadas en bolsas etiquetadas para su pesado y ser secadas en una estufa a 105°C, por 3

días hasta obtener un peso constante. El porcentaje de carbono, se analizó en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cálculo del peso del volumen del Suelo (t ha⁻¹). Para calcularlo se determinó la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes evaluados.

Cálculo de la densidad aparente (g/cc)

$$DA (g/cc) = PSN / VCH$$

Donde,

- DA = Densidad Aparente (g/cc)
- PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro
- VCH = Volumen del cilindro (constante).

Cálculo del peso del volumen de suelo por horizonte en muestreo

$$PVs (t ha^{-1}) = DA \times Ps \times 10\ 000$$

Donde,

- PVs (t.ha⁻¹) = Peso del volumen del suelo
- DA = Densidad Aparente
- Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo
- 10 000 = Constante

Cálculo del carbono en el suelo (t ha⁻¹)

$$CS (t ha^{-1}) = (PVs \times \%C) / 100$$

Donde,

- CS (t ha⁻¹) = Carbono en el suelo, en t.ha⁻¹
- PVs = Peso del volumen de suelo
- %C = Resultados porcentaje de C, analizados en laboratorio.
- 100 = Factor de conversión

Cálculo del Carbono Total

$$CT (t ha^{-1}) = CBV + CS$$

Donde,

- CT = Carbono Total (t.ha⁻¹)
- CBV = Carbono en la biomasa vegetal total
- CS = Carbono en el suelo

RESULTADOS

Análisis estadístico. Se realizó utilizando el diseño experimental de bloque completo al azar (Gómez y Gómez, 1984), según cada estrato de estudio (biomasa, suelo y hojarasca) para cada sistema de uso de tierra, estos fueron procesados mediante programa SAS Versión 9.2 (SAS, 2009) y para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p=0.05$).

Estimación del carbono en biomasa aérea ($t\ ha^{-1}$).

El contenido de carbono en los sistemas de uso de tierra presentó diferencias altamente significativas ($p<0.0007$), como se muestran en Cuadro 4, del análisis de varianza. La prueba de rangos múltiples de Tukey ($p=0.05$), indica que los bosques primario y secundario tuvieron promedios de 300.27 y $275.73\ tC\ ha^{-1}$ superiores a los demás sistemas de uso de tierra, como cafeto, cacao y pijuayo cuyos promedios de carbono fueron 2.35 ; 11.92 y $13.90\ tC\ ha^{-1}$, respetivamente (Cuadro 5).

Cuadro 4: Significancias obtenidas en el análisis de variancia para para la cuantificación de carbono en diferentes sistemas de uso de tierra.

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr> F	Sign.	R ²	Coef. Var.
Carbono en Biomasa aérea ($t\ h^{-1}$)								
Biomasa	4	280599.06	70149.766	834.48381	<.0001	**	99.76%	7.59%
Carbono en Hojarasca ($t.h^{-1}$)								
Hojarasca	4	210.12267	52.530668	9.3169774	0.0042	**	84.85%	28.02%
Carbono Orgánico del suelo ($t\ h^{-1}$)								
Suelo	4	9602.38	2400.595	9.301297	0.0042	**	83.56%	21.78%

**= Significativo con $p<0,01$; *=significativo con $p<0,05$; ns= No significativo con $p=0,05$

Estimación del stock de carbono en hojarasca ($t\ C\ ha^{-1}$).

En cuanto al stock de carbono en hojarasca, el análisis de varianza en la Cuadro 4, nos muestra que existe diferencia significativa ($p<0.0136$) entre los cinco sistemas de uso de tierra. Estos datos al ser sometidos a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p=0.05$), en la Cuadro 5, nos indica que el sistema de uso de tierra de Cafeto existe mayor stock de carbono en hojarasca con un promedio de $15.33\ tC\ ha^{-1}$, siendo estadísticamente significativo y superando a los demás sistema de uso de tierra.

Estimación del stock de carbono orgánico en suelo ($tC\ ha^{-1}$).

Para conocer el carbono orgánicos en el suelo se determinó la densidad aparente de los diferentes

SUT, estos fueron significativos según la prueba estadística ($p=0.05$) encontrando mayores densidades en el sistema de Cacao ($1.59\ g.cm^3$), café ($1.33\ g.cm^3$) y pijuayo ($1.32\ g.cm^3$), y por último los datos más bajos en Bosque secundario ($1.22\ g.cm^3$) y Bosque primario ($0.88\ g.cm^3$) (Cuadro 4).

Carbono total almacenado ($tC\ ha^{-1}$) en cada sistema de uso de tierra.

Los diferentes SUT tuvieron diferencias estadísticas marcadas entre los bosques primario y secundario, con los sistemas de café, cacao y pijuayo, debiéndose a la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos, la densidad de la población y de la comunidad vegetal.

Cuadro 5: Comparación de medias del contenido de carbono entre los cuatro sistemas de uso de tierra ($p < 0,05$).

Componentes en estudio	Sistemas de uso de tierra				
	Bosque Primario	Bosque Secundario	Pijuayo <i>B. gasipaes</i>	Cacao <i>T. cacao</i>	Café <i>C. arabica</i>
Carbono en Biomasa aérea (t.ha ⁻¹)	300.27 a	275.73 a	13.90 b	11.92 b	2.35 b
Carbono en Hojarasca (t.ha ⁻¹)	5.39 b	7.11 b	8.78 b	5.54 b	15.53 a
Total Carbono en Biomasa aérea (t.ha⁻¹)	305.66	282.84	22.68	17.46	17.88
Carbono orgánico en el suelo (t.ha ⁻¹)	93.12 ab	113.94 a	49.54 b	55.45 b	56.76 b
Carbono total en SUT (t.ha⁻¹)	398.78	396.78	72.22	72.91	74.54

*Medias con diferentes letras en una misma fila difieren estadísticamente según la Prueba de Tukey ($p=0.05$).

DISCUSION

Estimación de C en biomasa aérea (t ha⁻¹)

Los resultados en los bosques primario y secundario superan a lo encontrado por Alegre *et al.*, (2002), en Yurimaguas y Pucallpa donde se reporta 184.40 tC ha⁻¹ y 121.30 tC ha⁻¹, por lo tanto mientras más diverso es un sistema tiende a ser un mayor reservorio de carbono, lo cual concuerda por lo mencionado por Arévalo *et al.*, (2003), que la cantidad de carbono almacenado está en función a su heterogeneidad y está determinado por las condiciones del suelo y clima, ya que existen plantas con diversos diámetros, crecimientos y especies, a diferencia de plantaciones de una sola especie que crecen en un solo tiempo y tiene una limitante debido a la menor superficie total foliar (índice foliar), y eso hace que consuman menos bióxido de carbono en comparación con los bosques (Panhwar, 1996). Por ello, la corta de bosques para transformarlos en cultivos agrícolas ocasiona la reducción en el almacén del bióxido de carbono.

Al respecto Norberto (2006) y Acosta *et al.* (2001), afirmaron que los ecosistemas que almacenan más carbono en la biomasa vegetal son los de mayor edad, puesto que suelen preservar individuos mayores y más robustos, también la densidad y la mezcla de especies, como en los bosques primarios y secundarios ya que las plantaciones de cacao, pijuayo y café son monocultivos y presentan bajos contenidos de carbono en biomasa en este estudio.

Estimación del stock de carbono en hojarasca (t C ha⁻¹).

Estos resultados pueden estar influenciado a las condiciones climáticas, corroborando lo mencionado por IPCC (2000) y FONAM (2005), que en zonas templadas existe mayor cantidad de carbono, debido a una menor producción y descomposición de la materia orgánica (FAO, 2002). La cantidad de carbono en hojarasca encontrado en los diferentes sistemas son mayores con lo reportado por Lapeyre *et al.*, (2004), quien menciona que el nivel de hojarasca en el sistema de café es de 3.98 tC ha⁻¹, mientras que en sistema de cacao encontró 5.07 tC ha⁻¹, similar a lo encontrado en esta investigación que fue de 5.54 tC ha⁻¹.

Estimación del stock de carbono orgánico en suelo (tC ha⁻¹).

Este resultado nos indica que son suelos minerales, como lo indica Núñez (2000), que la densidad aparente varía desde 0.1 g cm³ o menos en suelos orgánicos, hasta 1.6 g cm³ en suelos minerales y puede llegar hasta valores de 1.8 g cm³ en suelos arenosos y 2.0 g cm³ en suelos compactados. Como la densidad aparente incluye el espacio poroso, a mayores valores de densidad, disminuye proporcionalmente la porosidad del suelo; a su vez, si la densidad aparente disminuye aumenta la porosidad (Núñez, 2000).

La densidad aparente juega un papel importante en el contenido de carbono (Aguilar *et al.*, 2011). Para bosques primarios se encontró una densidad más baja que en bosques secundarios, indicando mayor cantidad de poros en el suelo. Al existir más poros hay mayor disponibilidad de oxígeno y espacio para los microorganismos que se encargan de la mineralización de la materia orgánica (FAO, 2002).

Los porcentajes de carbono orgánico del suelo (COS%), se reportan como altos si son mayores a 2.5%, medios si se encuentran entre 1 a 2.5% y bajos si son menores a 1% (Núñez, 2000). En el análisis encontró diferencias significativas según la prueba estadística encontrando que los bosques primarios (4.41%) y secundarios (3.65%), el COS% es alto y para los cultivos café (1.44%), pijuayo (1.26%) y cacao (1.22%) son medios, a 30 cm profundidad.

En análisis de varianza en la Cuadro 5, para el stock de carbono orgánico en el suelo ($tC\ ha^{-1}$), indica diferencias significativas entre los SUT ($p < 0.0042$). En la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p = 0.05$), se encontró que en el sistema de bosque secundario almacena más carbono orgánico con un promedio de $113.94\ tC\ ha^{-1}$, seguido del bosque primario con $93.12\ tC\ ha^{-1}$ superando ambos significativamente a los demás SUT (Cuadro 5), siendo similares a lo reportado por Aguilar *et al.* (2011), en bosques en la Península de Osa, Costa Rica, en bosques superiores a 30 años, con el promedio más alto en contenido de carbono orgánico en el suelo ($109.24\ t\ ha^{-1}$), con valores intermedios en bosques primarios ($92.29\ t\ ha^{-1}$).

Los resultados también afirman lo mencionado por Moura-Costa y Stuart (1998), que el suelo almacena cantidades considerables de carbono, pero las prácticas de cultivos mono especies perjudican el carbono en el suelo, como en el caso de los sistemas de cultivos de café, cacao y pijuayo estudiados. Otros factores son los ambientales en cada sistema ya que existe una dependencia de este factor como lo mencionan el IPCC (2000) y Cifuentes *et al.* (S.f.) que explican que en el Bosque seco Tropical (Bs-T) hay mayor acumulación de carbono en el suelo que en Bosque húmedo Tropical y le atribuyen la causa a la humedad disponible en el suelo del Bosque húmedo tropical (Bh-T). Esta condición de humedad es suficiente para no detener completamente la descomposición de materia orgánica, aún durante la época seca, por lo que los procesos de lixiviación y descomposición de la materia orgánica son más constantes y permiten; por tanto, una acumulación mayor de C a través del tiempo. Cifuentes *et al.* (S.f.) también encontraron que en Bosque húmedo Tropical, los bosques secundarios tienen mayor cantidad de

carbono almacenado en el suelo que los bosques primarios, este comportamiento podría estar ligado a la densidad aparente del suelo ya que para los bosques secundarios es mayor que en el Bosque primario, lo que implica más espacio poroso por donde el carbono puede lixivarse.

Carbono total almacenado ($tCha^{-1}$) en cada sistema de uso de tierra.

Los resultados encontrados en la investigación corroboran lo mencionado por Raev *et al.*, (1996), quienes mencionan que el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces, materia orgánica y el propio suelo, que puede almacenar cantidades importantes por periodos de tiempos muy largos (Ramos de Freitas, 1998). Por lo tanto el crecimiento de los bosques puede ser entendido como un proceso de entradas y salida de materia, entendiéndose que la entrada es el crecimiento el cual se da por actividad vegetativa de formación de capas a partir de meristemos y salida que es la mortandad (Vanclay, 1995).

Estos resultados son corroborados por el IPCC (2000), quien afirma que en suelos tropicales, existe un mínimo de carbono en el suelo en comparación con la biomasa, por lo tanto se considera que las temperaturas registradas en la Cuadro 2, son importantes ya que son los responsable de la mayor producción y descomposición de la materia orgánica (FAO, 2002). Dado que el estudio mostró a la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos, la densidad de la población y de la comunidad vegetal (Alegre *et al.*, 2000). Esto también da a conocer que los bosques son importantes consumidores de dióxido de carbono por ser capaces de capturar CO_2 (Brown *et al.*, 1993). Por lo tanto, actividades como la conservación, reforestación y diversificación de los sistemas de producción, sería una alternativa para recuperar y controlar los niveles de CO_2 en la atmosfera y de esta manera se tendría una máxima eficiencia en la fijación de CO_2 , especialmente en áreas anteriormente perturbadas, lo cual corroboran Márquez (2000), Callo *et al.* (2002), Lapeyre *et al.* (2004), Loguercio (2005), Marín-Muñiz *et al.* (2015) y Hernández *et al.* (2015), quienes resaltan la importancia del establecimiento de estos

sistemas para la recuperación del potencial de captura de carbono.

CONCLUSIONES

El bosque primario y secundario, almacenan la mayor cantidad de carbono total a diferencia de los sistemas de uso de tierra estudiados, ya que el cambio de bosques a plantaciones de una sola especie, disminuye la capturar de carbono y en consecuencia de CO₂, uno de los gases causantes del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J., Monreal, C. 2001. Un Método Para la Medición del Carbono Almacenado en la Parte Aérea de Sistemas con Vegetación Natural e Inducida en Terrenos de Ladera en México. INFAP. Colegio de Postgraduados, México. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia, Chile.

(www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/08_Acosta.PDF). Acceso: 15/05/2014.

Aguilar, H., Ortiz, E., Vilchez, B., Chazdon, R. 2011. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 22 (9): 22-31.

Área de Conservación Regional Cordillera Escalera-ACR-CE. 2007. Plan maestro 2007 – 2011. Tarapoto - San Martín, 105 pp. (www.regionsanmartin.gob.pe/descargas/transparencia/planes_desarrollo/PM_ACR_CE_Final.pdf). Acceso: 20/03/2014

Alegre, J., Arévalo, L., Ricse, R. 2002. Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. Virtual centre, (www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconf7.htm). Acceso: 15/09/2014.

Alegre, J. C., Ricse, A., Arévalo, L., Barbaran, J., Palm, C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia

peruana. Consorcio para el desarrollo sostenible de Ucayali. CODESU. N° 12, p. 8-9.

Andrade, H. J. 2003. *Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica*. Tesis PhD. Turrialba, Costa Rica. CATIE-University of Wales. 224 pp.

Arévalo, L., Alegre, J., Palm, C. 2003. Manual de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24 pp.

Arévalo, L., Alegre, J., Montoya, L. 2002. Metodología para Estimar o Estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra. Publicación de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Colombo, PR - Brasil. 38 pp.

Brown, S., Hall, Ch., Knabe, W., Raich, J., Trexler, M., y Woomer, P. 1993, Tropical firest their past, present and potential future role in: The Terrestrial Carbon Budget. *Watter, Air and Soil Pollution* 70: 71-94

Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L., Alegre, J. 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo: Ciencias Forestales y Medio Ambiente*. 7: 101-106.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F. et al. 2005 Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecología* 145, 87-99.

Cifuentes, M., Jobse, J., Watson, V., Kauffman, B. S.f. Determinación de carbón total en suelos de diferentes tipos de uso de tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. (www.una.ac.cr/inis/docs/suelos/VicWat.pdf). Acceso: 12/09/2013

Epstein P.R. y Rogers C. 2004. Inside the Greenhouse. The impacts of CO₂ and climate change on public health in the Inner City. The Center for Health and the Global Environment-

Harvard Medical School, Boston-USA. (<http://docs.niwa.co.nz/library/public/EpsteinP.pdf>). Acceso: 18/06/2013.

Fondo Nacional Del Ambiente (FONAM). 2005. Boletín CO₂ comercio. Dedicado a Informar Sobre las Oportunidades del Mercado de Carbono. FONAM/CONAM/Embajada de los Países Bajos. FONAM, (www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guia%20MDL.pdf). Acceso: 27/11/2013.

Gobierno Regional de San Martín. 2008. Plan Estratégico Regional Agrario 2009-2015. Documento de gestión. Dirección Regional Agraria San Martín. 64pp.

Gómez, A.K., Gómez, A. A. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2da. Ed. John Willey y Sons Inc. USA. 680 pp.

Hernández Alarcón, ME., Marín-Muñiz JL., Moreno-Casasola P y Hernández, V. 2015. Comparing soil carbon pools and carbon gas fluxes (CH₄ and CO₂) in freshwater forested wetlands vs flooded grasslands in the coastal plain of Veracruz, Mexico. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem services & Management*, 11(1):5-16.

Instituto de Investigación Biológica de las Cordilleras Orientales. 2012. Plan de manejo de la conservación para la conservación Ojos de Agua. Proyecto Fortalecimiento de las capacidades de Gestión local de la Concesión para Conservación Ojos de Agua en el distrito de Pucacaca, provincia de Picota, departamento de San Martín. 43 pp.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2000. Land Use, Change and Forestry. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. EIA, (www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html). Acceso: 24/02/2014.

Lal, R.; Kimble J. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle. In Lal, R; Kimble, KM; Follett, RF; Stewart, BA. eds. Soil processes and the carbon cycle. Estados Unidos, CRC Press. p. 1-8.

Larrea, G. y Alegre, J. 2007. *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de Theobroma cacao L. y determinación de la ecuación alométrica para el cacao*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias. Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental. 146 pp.

Lapeyre, T. Alegre, J. y Arévalo, L. 2004. Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*. 3 (1-2): 35-44.

Loguercio, G. 2005. Cambio Climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. Secretaría Académica - CIEFAP. (www.ciefap.org.ar/novedades/notas/nota1/default.html). Acceso: 05/01/2014.

Macdicken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Arlington, VA; Winrock International Institute for Agricultural Development. (www.capturacarbono.co.cl/textos/manincar.pdf). Acceso: 20/04/2013

Marín-Muñiz JL., Hernández Alarcón, ME y Moreno-Casasola P. 2015. Greenhouse gas emissions from coastal freshwater wetlands in Veracruz Mexico: Effect of plant community and seasonal dynamics. *Atmospheric Environment*. 107: 107-117.

Marín-Muñiz JL., Hernández Alarcón, ME y Moreno-Casasola P. 2014. Comparing carbon sequestration in coastal freshwater wetlands with different geomorphic features and plant communities in Veracruz, Mexico. *Plant and Soil*. 378: 189-203.

Márquez, L. 2000. Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono, en Uso del Suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31pp.

Moura-Costa, P. y Stuart, M. 1998. Forestry – based greenhouse gas mitigation: a short story of market evolution. *Commonwealth Forestry Review* 77(3): 191-202.

- Moutinho, P., Santilli, M., Schwartzman, S., Nepstad, D., Curran, L. y Nobre, C. 2005. Tropical Deforestation and Kyoto Protocol: MME, (www.mme.gov.br.). Acceso: 15/01/2014.
- Nascimento, H. y Laurance, W. 2002. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management* 168, 311-321.
- Norberto, C. 2006. Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usos del Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestales para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Proyecto Forestal de Desarrollo (SAGPyA/BIRF). B. Aires, Argentina. 20 pp.
- Núñez, J. 2000b. Fundamentos de edafología. 2ª ed. San José, CR, EUNED. 185 p.
- Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación (FAO). 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Dirección de Información VIALE DELLE TERME DI CARACALLA. Roma, Italia. 95 pp.
- Panhwar, F. 1996. Conserving, Agro Forestry is the solution Of-Future Global –Warming and Biodiversity Sindh A Case.
- Pearce, D. y Atkinson, G. 1995. Measuring sustainable development. cap. 8 de Bromley, Daniel W (Ed.) UK, USA, p. 166-181.
- Raev, I., Asan, U. Grozev, O. 1996. Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turkía y Bulgaria en las últimas décadas. XII Congreso Mundial Forestal. Antalya Turkía. p. 123-130.
- Ramos de Freitas, A. 1998. Contribución de las industrias forestales al desarrollo económico y social de América Latina. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia, Chile. 45pp.
- Rodríguez R., Jiménez J., Aguirre Ó.A. y Treviño E.J. 2006. Estimación del Carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*. 9(2):179-187.
- SAS Institute. 2009. Statistical Analysis System (Version 9.2). Copyright (c) by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schroth, G., Angelo, S.A., Teixeira, W., Haag, D., Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after seven years. *Forest Ecology and Management*. 163:131-150.
- Segura M, Kanninen M, Suárez D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agrofor Syst*. 68:143–150.
- Tipper, R. 1996. Hacia un Programa Nacional de Captura de Carbono y Desarrollo Agroforestal. Documento de Trabajo. Versión 1-2. 50pp
- Vanclay, J. k. 1995. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. *For. Sci*. 41: 7-42.