

Efecto del cambio de uso del bosque tropical sobre carbono total almacenado, cuenca de Aguaytía, Perú

José Eloy Cuéllar Bautista¹; Evelin Judith Salazar Hinostroza²;
Karen Rosita Fernández Ruiz³

Resumen

El presente trabajo se realizó en la cuenca del Aguaytía, región Ucayali, tuvo como objetivo medir el efecto del cambio del uso del suelo en la biomasa y el carbono almacenado; para ello se formaron clústeres con los seis principales tipos de uso de la tierra, simulando una sucesión a partir de un bosque primario remanente, se utilizó metodologías establecidas por el IPCC para la biomasa aérea y de la Universidad de Gottingen para evaluaciones bajo el suelo. En la biomasa aérea se encontró diferencias muy significativas entre el bosque primario remanente con los demás sistemas evaluados, reportando 314,7 t/ha para el bosque primario r., 104,4 t/ha para purma alta, 45,1 t/ha para purma baja, 44,3 t/ha para pastizal, 35,6 t/ha para cultivos y 33,95 t/ha para palma aceitera. En el almacenamiento total de carbono, se evidencia diferencias significativas en las cantidades almacenadas por los diferentes sistemas de uso de tierra; los bosques primarios r., reportan 307,44 tC/ha, 149,85 tC/ha, purma alta, 142,37 tC/ha, para palma aceitera, 96,12 tC/ha, para pastizal, 93,53 tC/ha, para purma baja y 90,52 tC/ha, para cultivos. Se evidencia una disminución de la biomasa y de la capacidad para almacenar carbono en palma aceitera, debido principalmente al tipo de manejo agronómico en la zona. En pastizales, el reporte es mayor que en el caso de palma aceitera, debido al abandono por pérdida de productividad, y a que la dinámica forestal tiende a formar biomasa, también porque los troncos caídos de los grandes árboles aún continúan en el lugar. Podemos concluir que existe una pérdida en la biomasa, riqueza y capacidad de almacenamiento del bosque primario remanente. En el análisis a nivel de depósitos de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra se evidencia pérdidas significativas en el depósito arbóreo, igual situación sucede con hojarasca y madera muerta, mientras que se evidencia diferencias significativas mínimas en el caso arbustiva herbácea y

¹ INIA - Sede Central Lima. jcuellar@inia.gob.pe

² INIA - EEA Pichanaki. esalazarh30@gmail.com

³ Universidad Nacional de Ucayali. karenfr1@hotmail.com

raíces finas; en el caso del carbono, en el suelo mantiene un comportamiento similar, salvo en las plantaciones de palma aceitera, lo cual demuestra que el bosque tropical está perdiendo la capacidad para regenerar y de volver a su estado fisiográfico natural, luego de intervenciones severas.

Palabras clave: Carbono, depósitos de carbono, bosques, sistemas de uso de la tierra, biomasa.

Effect of change in use of tropical forest on the total carbon stored, basin Aguaytia Peru

Summary

This work was done in the basin of Aguaytia, Ucayali region, aimed to measure the effect of changing land use on biomass and carbon stocks, were formed six cluster with the main types of land use, simulating a sequence from a remnant primary forest, using methodologies established by the IPCC for biomass and the University of Gottingen for assessments under the ground were found significantly different in aboveground biomass was between the primary forest remnant with the other systems evaluated, reporting 314.7 t / ha . R for the primary forest , 104.4 t / ha for high Purma , 45.1 t / ha for low Purma , 44.3 t / ha for grassland, 35.6 t / ha for crops and 33.95 t / ha for oil palm. In the total carbon stock, were found significant differences in the quantities stored by different land use systems, primary forests reported 307.44 tC / ha, 149.85 tC / ha, high Purma , 142.37 tC / ha for oil palm plantation 96.12 tC / ha for grassland 93.53 tC / ha for low and Purma 90.52 tC / ha for crops. A decrease in biomass and carbon storage capacity in oil palm plantation mainly due to the type of agricultural management in the area is evident. In pastures the report is higher than in oil palm plantation due to the abandonment by lost productivity then forest biomass dynamics tend to form again and also the fallen trunks of large trees are still in place. We can conclude that there is a loss in biomass richness and storage capacity of the remaining primary forest and the carbon deposits in the different systems of land use significant losses are evident in the arboreal storage the same situation happens to litter and dead wood while significant differences were minimal evidence in the case herbaceous and shrub fine roots, in the case of soil carbon maintains a similar behavior except in the case of oil palm plantations. This shows that the rainforest is losing the ability to regenerate and return to its natural state after severe interventions.

Key words: carbon, carbon deposits, forests, systems of land use, biomass.

Introducción

Los bosques tropicales brindan, a millones de personas, materia prima en forma de alimentos, combustible, materiales de construcción y suministran servicios ecológicos que son vitales para todos los habitantes del planeta, tales como la regulación hídrica, control de la erosión y fijación de carbono (Locateli *et al.*, 2009; Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, 2011). Sin embargo, en los últimos años, debido a diversas actividades antrópicas que encuentran sus raíces en un complejo de realidades ambientales, sociales, políticas e institucionales (Forner *et al.*, 2006), están produciendo un proceso acelerado de deforestación, ocasionando el cambio de uso y la degradación de los bosques, que amenaza la biodiversidad y libera gases de efecto invernadero (GEI), favoreciendo el incremento del cambio climático global (Lanly, 2003; White *et al.*, 2005), situación que fue advertida en el cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), que presentó pruebas incontrovertibles que el clima mundial está cambiando debido principalmente a las actividades humanas. Se estima que las emisiones producidas por la deforestación y degradación del bosque en los países en desarrollo son responsables de casi el 20% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero anuales (Asner *et al.*, 2005). Estos cambios tienen marcada influencia sobre la economía local de los países de la región sudamericana, se ha estimado que un aumento de 2°C en la temperatura, representaría una pérdida del 1,3% del producto bruto interno (PBI) del sector productivo (Mendelsohn, 2007). Sin embargo, esta cifra sería mayor si se incluye en el cálculo el impacto del cambio climático y de los eventos extremos sobre los sectores no productivos; entonces, el cambio climático constituye una amenaza contra los elementos básicos de la vida humana en distintas partes del mundo: acceso a suministro de agua, producción de alimentos, salud, uso de las tierras y medio ambiente (Stern, 2007).

El Perú posee una superficie total de bosques, al 2011, de 79 942 865 ha, de los cuales 15 736 030 ha (20,96%) se encuentran en la región selva y alrededor de 8 704 896,5 ha de bosques en Ucayali, que representan el 85% de la superficie del territorio regional (10 241 055 hectáreas), esta riqueza natural explica su condición de mayor productor nacional de madera (MINAM, 2011; GOREU, 2012).

La zona de estudio es la cuenca de Aguaytía, tiene una historia de deforestación de casi 70 años, iniciándose con la llegada de los primeros colonizadores en los años 1940 (IIAP, 2003). Es una zona de referencia nacional e internacional ya que posee una gran cantidad de suelos y asociaciones representativas para la selva baja y alta del país, cuenta con interesantes estudios desarrollados anteriormente sobre aspectos biofísicos y socioeconómicos del bosque por casi cuatro décadas (White *et al.*, 2005). Sin embargo aún no cuenta con estudios que nos permitan responder con conocimiento científico cómo se ha producido el movimiento del carbono almacenado en el bosque, situación que se pretende resolver mediante la presente

investigación, y así contribuir con las iniciativas para reducir las emisiones por la degradación y deforestación para el país.

Revisión de literatura

El cambio climático

El cambio climático es una variable que forma parte de la historia de la Tierra, anteriormente fue gradual y permitió a las especies generar mecanismos de adaptación para sobrevivir. Sin embargo, en los últimos 150 años el clima está sufriendo una serie de alteraciones, debido principalmente a la alta concentración de gases que provocan el efecto invernadero en la atmósfera, como el dióxido de carbono CO_2 , metano CH_4 , óxido nitroso N_2O , hidrofluoro- carbonados HFC, perfluoro carbonados PFC y hexafluoruro de azufre SF_6 , que ocasionan cambios en el régimen climático; calentamiento global y aumento de la variabilidad climática con graves consecuencias para el equilibrio del planeta (IPCC, 2007).

Mitigación del cambio climático

Son las medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, evitando las emisiones en la fuente y/o de incrementar pérdida por la eliminación del carbono almacenado en los sumideros. Para la mitigación, debemos favorecer el secuestro de carbono mediante el incremento de biomasa en crecimiento, aumentar el tamaño de los reservorios, favorecer la permanencia de la vegetación, en especial de los árboles grandes y, finalmente, consolidar la permanencia de carbono en los productos de la biomasa vegetal. Para ello, es importante comprender cómo se moviliza el carbono en los diferentes depósitos del ecosistema (FAO, 2011).

El carbono y el ciclo del carbono

El carbono C es el elemento básico en la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleídos, todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de carbonos enlazados entre sí. Es la unidad principal de la vida en este planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos. Se acumula en compartimientos llamados depósitos y circula activamente entre ellos, de estos depósitos, los océanos almacenan 38 000 Gt, el suelo 15 000 Gt, la atmósfera 750 Gt y las plantas 560 Gt (FAO, 2002). La atmósfera y la hidrósfera son las reservas fundamentales de carbono (en moléculas de CO_2) disponibles para los seres vivos. En el ciclo del carbono, el CO_2 de la atmósfera es fijado por las plantas (hojas y otras partes verdes de las plantas), mediante el proceso de fotosíntesis, que es la conversión de CO_2 gaseoso a glucosa, de ello se libera el oxígeno, se convierte en carbohidratos y tejidos que se utilizan para formar la biomasa de la planta (FAO, 2011).

La biomasa vegetal

Es un parámetro referido a la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo y está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema (Brown, 1997; Eamus *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2009). Según el IPCC (2007), es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies y asociaciones en diferentes sitios (Brown, 1997; Malhi y Grace, 2000; Aceñolaza *et al.*, 2007). La biomasa de las raíces comprende la parte subterránea de una vegetación, constituye el soporte de todo el crecimiento aéreo y juega un rol vital en el abastecimiento y almacenamiento de agua y nutrientes. Investigaciones señalan que existe gran variabilidad en la producción de raíces finas y gruesas, según sea el tipo de clima, especie, estado de desarrollo o edad de los individuos. En sitios pobres se desarrolla mayor biomasa de raíces vs sitios de mejor calidad. Creighton *et al.* (2007) señalan que la proporción de la biomasa de raíces es mayor cuando existen restricciones de humedad y nutrientes (Ibrahim, 2007; Canadell *et al.*, 1986, citado por Olupot *et al.*, 2010).

Los bosques como sumideros de carbono

El almacenamiento de carbono se efectúa como resultado del intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Herrera, 2010). Durante la fotosíntesis, la vegetación consume agua, luz, CO₂ y desprende oxígeno. Por ello, los bosques en expansión son calificados como “sumideros de carbono”. La cantidad de carbono almacenado estará en función con la capacidad para mantener la biomasa por hectárea, su heterogeneidad, condiciones del suelo y clima. Se considera que el carbono se encuentra almacenado, cuando se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y/o planta, (Ordóñez, 1999; Arévalo *et al.*, 2003). Los bosques almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico). Grandes cantidades del carbono almacenado en el suelo vienen de raíces muertas, en suelos de la Amazonia las raíces finas constituyeron más del 50% del carbono total encontrado en los primeros 10 cm del suelo. Cualquier actividad relacionada al uso del suelo, que modifique la biomasa vegetal del ecosistema, va a alterar la cantidad de carbono almacenado, dando lugar a menores existencias de carbono que en el bosque original. (Phillips, 1998, citado por Aceñolaza 2007; Trumbore, 2006).

Depósitos o reservorios de carbono en el ecosistema

El IPCC (2003) ha definido cinco depósitos de carbono en el ecosistema; biomasa arbórea, arbustiva y herbácea, hojarasca y madera muerta, raíces y carbono orgánico del suelo. Siendo más común el método de medir la biomasa sobre el suelo, pero es un dato que genera muchos vacíos. De acuerdo a Woomer *et al.* (1998) el bosque tropical amazónico es el ecosistema que contiene la mayor cantidad de carbono

(305 tC/ha, de las cuales el 28% se encuentra en el suelo). El carbono en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica; el carbono inorgánico es capturado en formas más estables, tales como el carbonato de calcio (Kanninen, 2007; Casanova, 2011). El carbono orgánico, presente en los suelos naturales, viene a ser un balance dinámico entre la absorción de material vegetal y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sólo una pequeña fracción (1%) del que ingresa se acumula en la fracción húmica estable (FAO, 2000; FAO, 2002; Casanova, 2011; Oades, mencionado por Krull *et al*, 2011).

El cambio de uso de la tierra en la cuenca del Aguaytía

Tiene múltiples causas, está relacionado con la economía de subsistencia, las políticas públicas, el mercado internacional de consumo ilícito de la coca, la tala ilegal, invasión de tierras, superposición con concesiones forestales, agricultura migratoria de tumba y quema y los procesos migratorios de la población, tanto como los grandes proyectos ganaderos y agrícolas de monocultivo (palma aceitera), producción de carbón vegetal e incendios del sotobosque. El 28% de las áreas están deforestadas, de ello, un 32% son pasturas naturalizadas y mejoradas (82 000 ha), representando el cambio más importante en el uso del suelo en la región. Últimamente, el GOREU viene promoviendo, en la zona, la siembra de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), se cuenta con 17 000 ha sembradas de palma aceitera, de las cuales casi el 80% se encuentra en la provincia de Padre Abad, el 2012 se instalaron 4 350 ha (GOREU, 2012).

Deforestación

Es la conversión directa de tierras forestales (bosques) a tierras no forestales, provocado generalmente por la acción humana, principalmente debido a la tala o quema realizada para la obtención de suelo para la agricultura, minería, la ganadería y la industria maderera (FAO, 2011).

Degradación

Es la pérdida inducida directamente por el hombre (persistiendo por “X” años), de al menos “Y” % de los reservorios de carbono forestales (y otros beneficios del bosque) (IPCC, 2003a).

Principales sistemas de uso de la tierra en la zona

Bosque primario remanente

Son ecosistemas que conservan parte de su vegetación original, caracterizados por la abundancia o dominancia de árboles maduros de especies del dosel superior,

donde en algún momento ha existido aprovechamiento selectivo de algunas especies de valor comercial.

Purma alta

Consiste en masas boscosas heterogéneas y disetáneas que se encuentran en crecimiento, producto de la regeneración natural, luego de un proceso de tala rasa; para efecto del estudio se va a considerar poblaciones con más de 15 años de edad.

Purma baja

Consiste en masas boscosas heterogéneas y disetáneas que se encuentran en la etapa inicial de crecimiento producto de la regeneración natural, luego de un proceso de tala rasa; para efecto del estudio se va a considerar poblaciones con 10 años de edad.

Plantaciones de palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq.

Área de cultivo comercial, con predominancia de esta palmera, el manejo con tecnología intermedia, utilizando fertilizantes como abono orgánico y dolomita, el control de maleza se realiza mediante deshierbo manual con machetes (a lo largo del año).

Sistemas silvopastoriles

Conformado por pasto mejorado *Brachiaria decumbens* instalado en un inicio y pasto natural *Paspalum conjugatum* que se instaló a medida que el pasto mejorado perdió su capacidad de cobertura, además árboles establecidos por regeneración natural.

Cultivos anuales

Áreas a las que recientemente se les ha hecho tala rasa, y que son utilizadas, generalmente, para productos de pan llevar, de corto periodo vegetativo, se les instalan cultivos transitorios, en algunos casos pueden ser asociados o puros.

Almacenamiento de carbono en la cuenca del Aguaytía

Existen diferentes trabajos para la cuantificación de carbono, siendo el ICRAF uno de los pioneros que realizó diversos estudios de almacenamiento de carbono. Baldoceda (2001) determinó la cantidad de carbono aéreo almacenado en bosques secundarios de diferentes edades (cuadro 1), concluye que los bosques secundarios son buenos receptores de carbono en cortas edades, y que van aumentando la ca-

pacidad de almacenaje en sus componentes de acuerdo a la edad, a más edad más capacidad de almacenamiento. Por otra parte, Alegre *et al.* (2002) determinaron carbono en diferentes SUT en la cuenca del Aguaytía (cuadro 2); hacen una comparación de los cambios que se producen en los depósitos de carbono al someter actividades antropogénicas; como es el caso de un bosque primario 161,7 tC/ha (100%), cuando se aprovechan las especies maderables el bosque disminuye a 122,8 tC/ha (75,9%).

Cuadro 1. Carbono aéreo en bosques secundarios de Neshuya - Curimaná.

Sistema de uso de tierra	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)
Bosque Secundario 10 años	205,79	92,61
Bosque Secundario 8 años	176,65	79,50
Bosque Secundario 6 años	108,18	48,68
Bosque Secundario 4 años	51,43	23,14
Bosque Secundario 2 años	24,10	10,85

Fuente: Baldoceña (2001).

Cuadro 2. Reservas de carbono de diferentes SUT en Pucallpa.

Sistema de uso de la tierra	Árbol	Sotobosq.	Hojarasca	Raíz	Suelo	Total
Bosque primario no tocado	160,1	0,83	0,73	2,61	76,81	241,10
Bosque primario remanente	120,3	0,69	1,83	3,48	47,03	173,3
Bosque secundario (15 años)	121	2,21	2,85	1,04	68,33	172,3
Bosque secundario (3 años)	13,2	1,83	3,9	0,28	19,63	40,8
Area recientemente quemada	68,33	0	0	3,27	29,71	101,3
Cultivo anual (maíz)	4,5	1,24	2,12	0,81	22,36	31
Cultivo anual (yuca)	0,7	1,75	0,98	0,5	34,16	38,1
Cultivo bianual (plátano)	6,2	8,08	1,99	0,84	39,16	56,2
Pastura degradada	0	2,42	0,68	0,68	35,74	39,5
Plantación de hevea de 30 años	66,6	0,91	6,47	0,35	78,2	152,6
Plantación de palma aceitera	0	37,24	4,14	0,71	57,15	99,2

Fuente: Alegre et al., 2002. Profundidad del suelo de 0-40 cm, raíces de 0 a 20 cm

Materiales y métodos

Ubicación política y geográfica

El estudio se ubica en la parte media de la cuenca del Aguaytía, entre los distritos de Curimaná e Irazola (provincia de Padre Abad) y Campo Verde (provincia de Coronel Portillo), en la región Ucayali. La cuenca del Aguaytía tiene una superficie de 1 762 086,0 ha, que equivale al 7,21% de la región Ucayali (figura 3) (IIAP, 2003; GOREU, 2012).

Clima y ecología

La temperatura media anual es 25°C, la precipitación anual es 1 752 mm. La humedad relativa es 77%, el número de horas de sol es 11,28 y los vientos tienen una velocidad promedio de 3,5 nudos y con dirección dominante de norte a sur. Según el Mapa Ecológico del Perú, se ubica en la zona de vida; bosque húmedo Premon-tano Tropical, transicional al bosque húmedo Tropical (bh-PT/bh-T) (ONERN, 1976, mencionado por IIAP, 2003)

Fisiografía

Se observa dos grandes paisajes fisiográficos: planicie y colinoso. El primero se extiende hasta el kilómetro 29, está conformado por superficies planas y onduladas con pendientes que oscilan entre 0 y 8%. El paisaje colinoso está constituido por lomadas y colinas de relieve complejo, con pendientes que varían entre 8% y 25%, se extiende desde el kilómetro 29 en forma paralela al curso del río Aguaytía km 160. En general las zonas de estudio presentan una fisiografía ondulada o semi ondulada, con pendientes promedio entre 18% (IIAP, 2003; GOREU, 2012).

Suelos y capacidad de uso mayor

Son ácidos, con un pH promedio de 4, con valores mínimos de 3,6 y máximos de 4,4. El contenido de materia orgánica es bajo, situándose en un promedio de 2% hasta una profundidad de 20 cm y de 1,6% a una profundidad de 20 a 40 cm. Son de escaso a mediano desarrollo genético, textura media a moderadamente fina y extremadamente ácidos. Gran parte de la superficie corresponde a vocación forestal (37,3%), pastos (29,8%), cultivos permanentes (20,8%) y cultivos en limpio (7,5%), (IIAP, 2003; GOREU, 2012).

Metodología

Se trabajó con una integración de metodologías destructivas y no destructivas (Arévalo *et al.*, 2002; IPCC, 2003; Rugnitz *et al.*, 2009; Universidad de Gottingen, 2011), comprendida en el flujograma de la figura 1.

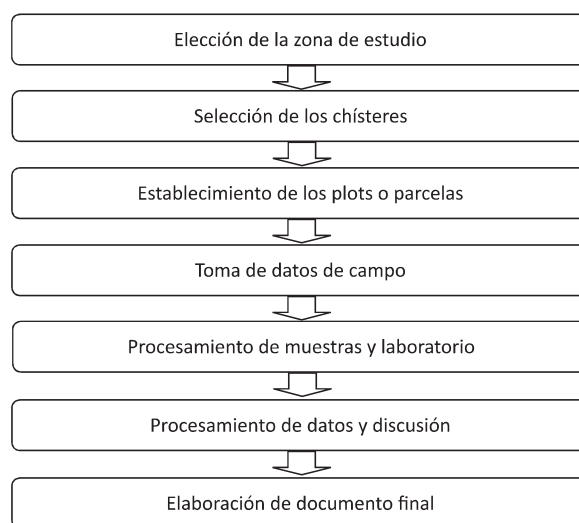


Figura 1. Metodología a desarrollar para el presente estudio.

Resultados y discusión

En el cuadro 3 y la figura 2 se muestran los resultados a nivel de capacidad de almacenamiento de carbono a nivel de los cinco depósitos y de los seis sistemas de uso de la tierra. La comprobación estadística (cuadro 4) se realizó mediante la prueba de comparación de medias para las variables con distribución normal y con varianzas homogéneas, mediante el estadístico de Dunnet para un nivel de significancia de 0,05; demostrando que todas son significativas. Finalmente, en la figura 3, se puede establecer el patrón de cambios que se ha producido en el carbono almacenado a nivel de los cinco depósitos del ecosistema y por cada sistema de uso de la tierra, lo cual nos da la tendencia de estabilidad o inestabilidad del carbono ante los cambios de uso de la tierra.

Cuadro 3. Carbono almacenado a nivel de los cinco depósitos en tC/ha

Sistema de uso de la tierra - SUT	Depósitos de carbono en tC/ha (toneladas de carbono por hectárea)					
	Arboles	Arbustiva Herbácea	Hojarasca mad Muert	Raíces Finas	Suelo	Carbón Stock (tC/ha)
Bosque primario r.	121,5	1	33,6	4,81	71,47	232,38
Purma alta	59,5	1,2	15,1	3,26	71,08	150,14
Palma aceitera	7,8	0,5	6	4,76	71,87	90,93
Purma baja	5	2,1	14,1	2,95	67,77	91,92
Pasturas	0,6	1,6	19,7	3,54	71,01	96,45
Cultivo	3,9	1	12	1,83	71,44	90,17
Promedio	33,05	1,23	16,75	3,53	70,77	

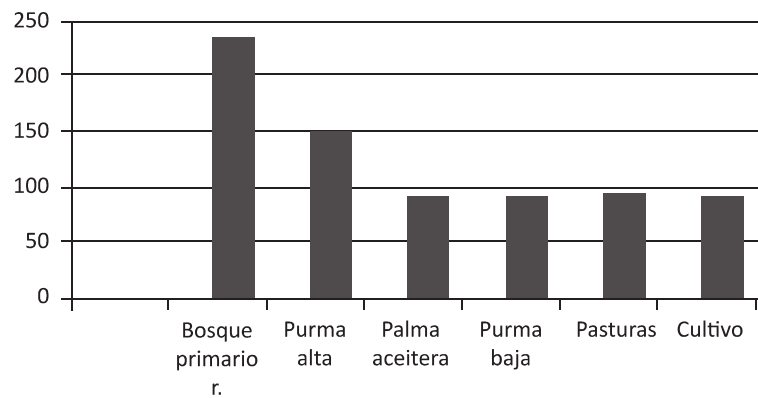


Figura 2. Carbono almacenado a nivel de los cinco depósitos en tC/ha

Cuadro 4. Comparaciones múltiples prueba T3 de Dunnet

(I) Sistema de uso de tierra numérico	(J) Sistema de uso de tierra numérico	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite superior	Límite inferior
Palma aceitera	Bosque primario	-2,13333(*)	0,30992	0,0000000	-3,2644	-1,0023
Pasturas	Bosque primario	-2,06333(*)	0,32636	0,001	-3,2183	-0,9084
Puma alta	Bosque primario	-1,32167(*)	0,31302	0,019	-2,4559	-0,1874
Puma baja	Bosque primario	-2,09333(*)	0,31351	0,001	-3,2282	-0,9585
Cultivo	Bosque primario	-2,14667(*)	0,31461	0,0000000	-3,2828	-1,0105

* La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Carbono en el SUT bosque primario remanente

Se reporta 232,6 tC/ha, es mayor en comparación con otros estudios, Barbarán (2000) obtuvo 169,8 tC/ha en el sector de Sarita Colonia; Alegre *et al.* (2002) reportaron 173,30 tC/ha en Pucallpa; en los trópicos el carbono en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 tC/ha para bosques primarios. En el análisis destacan los sectores de Bellavista y Nuevo Satipo debido a que en estos sectores aún se conservan especies de mucho valor comercial, con densidades medias a altas de la madera. En cantidades globales, el componente arbóreo almacena el 52,8% (117,5 tC/ha) de carbono, esto incluye todos los estratos arbóreos; árboles maduros (>30 cm DAP), fustales (10-30 cm DAP), latizales altos (5-10 cm DAP) y latizales bajos (1,5-5 cm diámetro). Por otra parte, Alegre *et al.* (2002) sugieren que la cantidad es 69% (120,3 tC/ha) para la zona de Pucallpa. En la vegetación arbustiva herbácea es de 0,43% (1,0 tC/ha), comparado con lo obtenido por Alegre *et al.* (2002)

0,39% (0,69 tC/ha). En cuanto a madera muerta es muy variable, un árbol puede “morir en pie” como resultado de agentes bióticos extrínsecos, como sombra por competencia con canopias y lianas en estratos superiores, ataques de patógenos, perturbaciones fisiológicas abióticas extrínsecas como rayos, sequía e inundaciones y perturbaciones abióticas como vientos catastróficos. Sin embargo, los factores que causan el desraizado de los árboles pueden ser similares a los de los árboles quebrados, incluyen características intrínsecas específicas de cada especie (densidad de madera, anclaje de las raíces, arquitectura de los árboles) (Putz *et al.*, 1984). En cuanto a la hojarasca y detritos es 33,9 tC/ha, representando el 14,6% del total de carbono, es muy superior a Barbarán (2000) que indica de 1 al 3%, mientras que Asner *et al* (2005) sugieren que la hojarasca representa 5–6% del carbono total en bosques de Brasil.

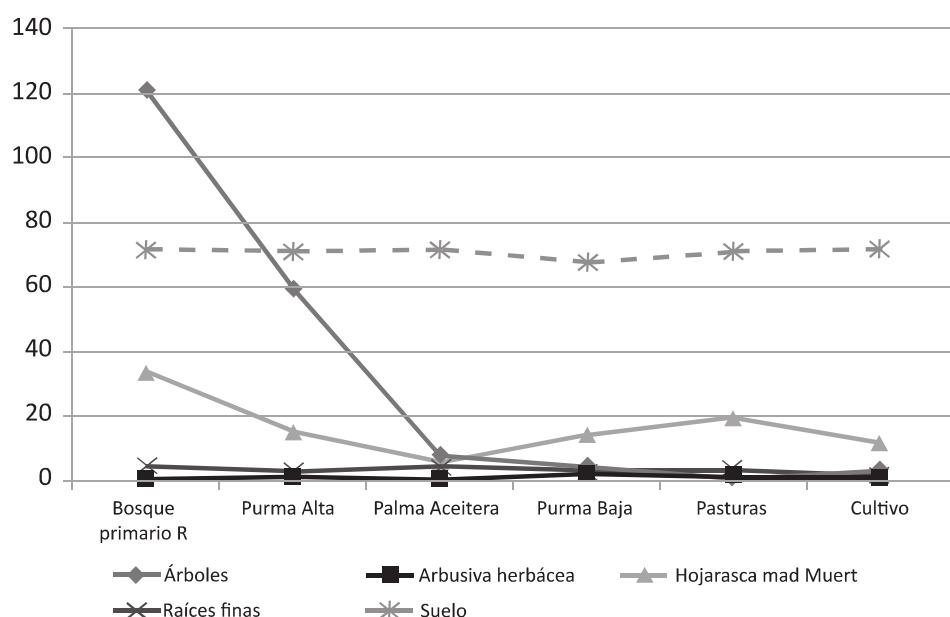


Figura 3. Carbono almacenado a nivel de los cinco depósitos en tC/ha

Carbono en el SUT purma alta

La cantidad media de carbono es de 150,14 tC/ha. La cantidad es superior a la de Barbarán (2000) 109,7 tC/ha para purmas de 15 años evaluados en la zona Sarita Colonia, Baldoceda (2001) reporta 92,6 tC/ha para purmas de 10 años y 79,5 tC/ha en purmas de 8 años en Neshuya-Curimaná, Alegre *et al.* (2002) determinaron 126,1 tC/ha para purmas de 15 años en Pucallpa, Bringas (2010) reporta 102,1 tC/ha para una purma de 11 años, mientras que 50,3 tC/ha y 74,8 tC/ha para 9 y 10 años, respectivamente. Iquise (2010), en la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, reporta 149,5 tC/ha para una purma de 12 años de edad. En el depósito arbóreo el carbono almacenado es 59,5 tC/ha, (78,5% del total), son inferiores a estudios

de Alegre *et al.* (2002) 121 tC/ha para bosques secundarios de 15 años en la zona de Pucallpa y 184,4 tC/ha para la zona de Yurimaguas. Bringas (2010) determinó 21,6 tC/ha, 69,3 tC/ha y 94,7 tC/ha para bosques secundarios de 9, 10 y 11 años, respectivamente. Asimismo, Iquise (2010) determinó 143,2 tC/ha para bosques secundarios de 12 años, ambos estudios realizados en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. El depósito arbustivo–herbáceo almacena 1,2 tC/ha (1,6% del carbono total), Alegre *et al.* (2002) determinaron 2,2 tC/ha para bosques secundarios de 15 años en la zona de Pucallpa y 0,8 tC/ha para la zona de Yurimaguas. Bringas (2010) determinó 0,8 tC/ha, 0,2 tC/ha y 0,4 tC/ha para purmas de 9, 10 y 11 años, respectivamente; asimismo, Iquise (2010) reporta 1,3 tC/ha en purmas de 12 años para la provincia Leoncio Prado, región Huánuco. En la hojarasca reporta 5,2 tC/ha (5,2% del total), supera ampliamente a lo determinado por Alegre *et al.* (2002) 2,8 tC/ha para bosques secundarios de 15 años en la zona de Pucallpa y 4 tC/ha para la zona de Yurimaguas. Bringas (2010) determinó 5,2 tC/ha, 5,3 tC/ha y 6,9 tC/ha para purmas de 9, 10 y 11 años, respectivamente, Iquise (2010) determinó 4,8 tC/ha para purmas de 12 años, ambos estudios realizados en la provincia Leoncio Prado, región Huánuco. La madera muerta almacena 9,9 tC/ha.

Carbono en el SUT purma baja

Se reporta un total de 91,92 tC/ha, en el depósito arbóreo 5 tC/ha Alegre *et al.* (2002) determinaron 13,2 tC/ha para purmas de 3 años ubicadas en Sarita Colonia. Mientras que para la zona de Yurimaguas determinó 2,4 tC/ha para purmas de 3 años y 42,1 tC/ha para 5 años. Por otro lado, Iquise (2010) indica 36,5 tC/ha para purmas de 6 años en Leoncio Prado en la región Huánuco. En el depósito arbustivo - herbáceo reporta 2,5 tC/ha (9,8%), Alegre *et al.* (2002) reportan 1,9 tC/ha para 5 años y 1,2 tC/ha para 3 años en Yurimaguas y 1,8 tC/ha para Pucallpa. Iquise *et al.* (2010) reportaron 0,6 tC/ha en purmas de 6 años en Leoncio Prado, Huánuco. El crecimiento de la vegetación causa el cierre del dosel, disminuyendo la radiación al estrato bajo y eliminando la vegetación herbácea. (Herrera, 2010). El carbono en la hojarasca y detritos almacenan 1,4 tC/ha (6,7%) que en su mayoría son especies de la familia poacea - pastos. La hojarasca almacena 3,1 tC/ha (14% del carbono total), Alegre *et al.* (2002) reportan 5,9 tC/ha para purmas de 3 años en Pucallpa. Además, Iquise *et al.* (2010), determinaron 2,1 tC/ha en purmas de 6 años en la provincia de Leoncio Prado. Indudablemente, la madera muerta supera a los demás depósitos en cuanto a almacenamiento de carbono en purmas bajas con 51,8% (11 tC/ha), esta madera muerta se origina desde la tumba, rozo y quema de un bosque primario intervenido.

Carbono en el SUT palma aceitera

Se reporta 14,4 tC/ha, Alegre *et al.* (2002) determinaron 41,4 tC/ha para Pucallpa. En Costa Rica, Leblanc *et al.* (2006) determinan 23 tC/ha, de los cuales el 11,04 t/ha

(48%) están en las hojas, y 11,96 t/ha (52%) en el tallo (Smith *et al.*, 1997). En otras evaluaciones, De la Cruz (2010), en ensayos destructivos con plantas de 11 años, determina 24,69 tC/ha. Leblanc *et al.* (2006), mencionados por De la Cruz 2010, en el sistema palma africana de 7 años (biomasa aérea + suelo), reportaron 96,02 tC/ha, de los cuales 22,68 tC/ha, se encontró en la biomasa aérea del cultivo; esta diferencia se explica porque estos cultivos están desarrollándose en dos zonas de vida distinta y las condiciones climáticas influyen en el desarrollo de la biomasa. El carbono en hojas frescas de palma aceitera es de 5tC/ha, este componente es muy importante, ya que el tallo o estípite de palma sólo representa 2,6 tC/ha. El contenido de carbono en epífitas, que crecen en los espacios formados entre los raquis que quedan al momento de podar las hojas frescas de las plantas adultas de palma aceitera, con el tiempo se van descomponiendo y forman materia orgánica que sirve de hábitat de epífitos. En términos generales, existe 0,1 tC/ha en epífitos que crecen en los tallos de la palma aceitera. El contenido de carbono total en la vegetación arbustivo - herbáceo en palma aceitera es 0,5 tC/ha. El contenido de carbono en hojas secas en palma aceitera, se evaluó en los seis sectores, encontrando una alta variabilidad, ya que la cantidad de hojas secas que forman un bloque es variable, en el estudio encontramos un rango de 5 a 45 hojas y el número de bloques que existe en una plantación es de 3 a 8, por tanto la cantidad de carbono va a variar muchísimo. La abundancia o la escasez de hojas en un bloque está relacionada directamente al manejo que los agricultores realizan en sus plantaciones, algunos optan por picar las hojas, agregar un aditivo que acelere el proceso de descomposición, para fines de abonamiento de las mismas, otros las almacenan en forma de bloques y van descomponiéndose lentamente, de acuerdo a las condiciones de sitio. Estas hojas se descomponen por completo en 6-12 meses (Melado, 2008). De cualquier forma, estas hojas descompuestas forman parte del carbono, ya no en la parte aérea, pero sí del carbono en el suelo. El carbono almacenado en hojarasca y detritos en palma aceitera almacena menos cantidad de carbono 1,1 tC/ha (7,7% del total de carbono en este sistema), principalmente debido a la predominancia de hojas de palma podadas, además que muchos agricultores optan por depositar los racimos como plataformas en el plateado de cada planta adulta establecida, también existe pastos que quedaron de los pastizales antes aprovechados, todo esto contribuye a una menor acumulación de carbono en la hojarasca.

Carbono en el SUT pastizal

Se reporta 96,45 tC/ha, Barbarán (2000) determinó 152,8 tC/ha en la zona Sarita Colonia – Pucallpa. Alegre *et al.* (2002) determinaron 39,50 tC/ha para pastura degradada en la zona de Pucallpa. En árboles es 0,6 tC/ha, cifra muy inferior, en la vegetación arbustivo - herbáceo, es 7,4% (1,6 tC/ha), Iquise *et al.* (2010), determinaron 3,8 tC/ha (4,2%) en sistemas silvopastoriles con *Paspalum conjugatum* más especies forestales de 10 años. En la hojarasca y detritos en los pastizales almacenan 19,7 tC/ha (20,42%) que en su mayoría son especies de la familia poacea

“pastos”. Con respecto al contenido de carbono; en la parte arbustiva–herbácea y hojarasca–madera muerta se muestra de que los diferentes sistemas de uso de tierra se comportan estadísticamente iguales.

Carbono en el SUT cultivo

Es de 90,17 tC/ha. Alegre *et al.* (2002) determinaron 56,3 tC/ha para yuca, mientras que para plátano determinaron 16,3 tC/ha en Pucallpa. Barbarán (2000) determinó 11,7 tC/ha en cultivos de maíz, 15,5 tC/ha en yuca y 19,1 tC/ha para cultivo de plátano. El depósito arbóreo almacena 3,9 tC/ha (22,9% del carbono total) del sistema. El contenido de carbono que almacena el depósito arbustivo – herbáceo es 1tC/ha (6% del carbono total). Asimismo, se puede observar que los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), son en pequeñas cantidades, estos resultados coinciden con Dupouey *et al.*, (1999), Por consiguiente el almacenamiento de carbono en la hojarasca representa el 12,% (2,1 tC/ha), mientras que la madera muerta supera a todos en almacenamiento de carbono con 58,7% (9,9 tC/ha), esto se debe a la durabilidad de la madera desde la extracción y la instalación de los cultivos (10 años).

Patrón de cambios en el stock del carbono, mediante comparaciones

El clima cálido y lluvioso de los bosques tropicales húmedos genera el rápido crecimiento de las plantas y la mayor parte del carbono se encuentra en la vegetación (Lewis *et al.*, 2009). Las reservas de carbono de los bosques tropicales húmedos varían considerablemente, dependiendo de la abundancia de árboles grandes con follaje denso, que acumulan la mayor parte del carbono. En promedio, se calcula que almacenan unas 160 tC/ha en la vegetación superficial y 40 tC/ha en las raíces.

Evaluación longitudinal. Para ello se toma en cuenta los resultados de la evaluación realizada en el año 2001 y se relaciona con la actual. Se puede observar que los resultados totales de almacenamiento de carbono no difieren a nivel global, esto se explica desde la misma dinámica del bosque, ya que si bien es cierto el bosque está descremado (es decir ha perdido las especies valiosas); sin embargo, otras especies de menor valor han tomado ese lugar en la posición sociológica del bosque, de tal manera que el paisaje siempre se observa ocupado, pero los que van a cambiar son las especies que conforman el paisaje.

Evaluación transversal. La figura 3 muestra los cambios del stock de carbono en los diferentes depósitos, de acuerdo al sistema de uso de tierra; queda demostrado que los bosques almacenan la mayor cantidad de carbono en sus componentes, según su composición de la vegetación. La proporción de raíces finas es ligeramente mayor en sitios pobres o que presentan restricciones para el crecimiento y para la penetración de raíces, la cual es una característica del área donde se desarrolló el presente traba-

jo: suelos ácidos y de baja fertilidad. El análisis de variancia nos muestra que existen diferencias significativas para la característica biomasa de raíces finas en las profundidades muestreadas. En los primeros 10 cm de profundidad se presenta una mayor cantidad de biomasa, tanto para bosque, pasto y palma aceitera superiores a todas las demás profundidades. Para el caso del bosque, esta cantidad representa el 53,6%, del total de la biomasa en el área evaluada. A profundidades mayores de 10 cm hasta los 50 cm, la cantidad de biomasa existente es de 3,34 t/ha, que equivale al 34,6% del total del área evaluada y son significativamente superiores a los 50 cm restantes de profundidad, cuyos valores de 1,13 t/ha de biomasa representan el 11,7% del total de biomasa existente. Con respecto al carbono en el depósito suelo se demuestra una mayor estabilidad a pesar de los cambios en el uso del suelo.

Conclusiones

Con el cambio de uso del bosque a otros sistemas de uso de la tierra, se produce una pérdida en la biomasa y en el carbono almacenado, que no es posible recuperar prontamente.

Con respecto al almacenamiento total de carbono, se evidencia diferencias significativas entre los diferentes SUT, los bosques primarios remanentes reportan 307,44 tC/ha, 149,85 tC/ha purma alta, 142,37 tC/ha para palma aceitera, 96,12 tC/ha para pastizal, 93,53 tC/ha para purma baja y 90,52 tC/ha para cultivos.

Con respecto a la comparación entre el depósito arbóreo se observa diferencias significativas, el bosque primario remanente reporta 172,41 tC/ha, purma alta 59,5 tC/ha, palma aceitera 36,55 tC/ha, purma baja, 5,02 tC/ha, cultivo 3,87 tC/ha y pasturas 0,1 tC/ha.

Con respecto al depósito arbustivo herbáceo, se observa diferencias significativas, en purma baja 2,1 tC/ha, en las pasturas 1,6 tC/ha, el bosque primario remanente 1 tC/ha, en la purma alta 1,2 tC/ha, en el cultivo 1,03 tC/ha y en la palma aceitera 0,5 tC/ha.

Con respecto al depósito hojarasca y madera muerta, se observa diferencias significativas, el bosque primario remanente 33,6 tC/ha, pasturas 19,7 tC/ha, palma aceitera 6 tC/ha, purma alta 15,1 tC/ha, purma baja 14,1 tC/ha, y en cultivo 12,03 tC/ha.

Con respecto al depósito raíces finas, se observa diferencias no significativas entre bosque primario remanente 4,81 tC/ha palma aceitera que reporta 4,76 tC/ha, purma alta 3,36 tC/ha, pasturas 3,59 tC/ha y significativas con cultivo 1,83 tC/ha.

Con respecto al depósito suelo, se observa diferencias significativas mínimas entre todos los depósitos, bosque primario remanente 71,47 tC/ha, purma alta 71,08 tC/ha, palma aceitera 71,87 tC/ha y purma baja 69,77 tC/ha, pasturas 71,12 tC/ha, y cultivo 71,44 tC/ha, lo cual demuestra que es un depósito estable.

Con respecto a la comparación 2001 vs 2011, a nivel de biomasa, se observan diferencias significativas en cuanto a la composición florística que estaría explicado por la dinámica del bosque, especies nuevas reemplazan la posición fitosociológica del árbol muerto, pero con especies con menor densidad y valor comercial.

Agradecimientos

Al proyecto Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación mediante alternativas del uso de las tierras en los bosques tropicales REDD- ALERT, por habernos brindado la posibilidad de realizar estos estudios.

Al PhD Robin Mathews, de Hutton University, líder general del proyecto REDD Alert, por sus aportes y apoyo para que se desarrolle el proyecto.

Al PhD Meine van Noorwijk, de ICRAF, por los importantes consejos durante el desarrollo de la presente investigación.

Al PhD Johannes Dietz, de Gottingen University, por su aporte científico y asesoramiento en la aplicación de la metodología.

Al Ing. César Priale, del Laboratorio de Suelos de la EEA El Porvenir de INIA, quien apoyó con el laboratorio de suelos para procesar las muestras en la presente investigación.

Al Fondo para la Innovación, Ciencia y Tecnología - Fincyt, por el apoyo para culminar la investigación.

Bibliografía

Arévalo, L.; Alegre J.; Palm, Ch. 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. 24p.

Asner, P.; Knapp, E.; Broadbent, N.; Oliveira, C.; Keller, M.; Silva, N., 2005. Selective Logging in the Brazilian Amazon. Science 310 (5747): 480-482.

Baldoceda, R. 2001. Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en la zona Neshuya - Curimana - Pucallpa. Conservación y manejo de la biodiversidad y ecosistemas frágiles, BIOFOR. Programa de becas de investigación sobre valoración económica de la diversidad biológica y servicios ambientales.

Barbarán, G.J., 2000. Cuantificación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en Campo Verde. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú.

- Browm, P.; Cabarle, B.; Livernash, R. 1997. Carbon counts: estimating climate change mitigation in forest projects. Estados Unidos, World Resources Institute. 25 p.
- De la Cruz, M. 2010. Estimación del carbono almacenado en plantaciones de palma aceitera *Eleais guineensis* Jacq. de diferentes edades en Pumahuasi - Uchiza. Tesis de pregrado de la Universidad Agraria de la Selva. 89 p.
- Dupouey, J.; Siguand, G.; Bateau, V.; Thimonier, A. Dhole, J.; Nepveu, G. 1999. Stock et flux de Carbone Dans les forest francaises. C.R. Academy Agriculture. France 310 p.
- Fisher, J.; Rao, I.; Ayarza, M.; Lascano, C.; Sanz, J.; Thomas, R.; Vera, R. 1994. Carbon storage by introduced deeprooted grasses in the South American savannas. Nature 371:236-238.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos naturales mundiales de suelos – 96. Roma 76 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. 2011. La gestión de los bosques ante el cambio climático. Roma, Italia. 20 p.
- Forner, C.; Blaser, J.; Jotzo, F.; Robledo, C. 2006. Keeping the forest for the climate's sake: Avoiding deforestation in developing countries under the UNFCCC. Climate Policy 6(3): p 275-294.
- Gobierno Regional de Ucayali – GOREU, 2012. Plan de Desarrollo Concertado 2011 - 2021. En <http://www.regionucayali.gob.pe/>. Revisado mayo 2012.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P.; Rojas J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. En Agroforestería de las Américas N° 45, p 27 – 36.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP, 2003. Propuesta de Zonificación Ecológica Económica de la Cuenca del Río Aguaytía. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Pucallpa – Perú. 125 p.
- Internacional Panel Climatic Change – IPCC, 2001. Climatic change 2001: Glosario de terminos. Anexo B. Mitigation, Contribucion of Working group III to the tird Aessment Report of the Intergovermemmtal Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom. 752 p.
- Internacional Panel Climatic Change – IPCC, 2003a. Definitions and metodological options to inventory emissions from direct human- induced degradation of forest and devegetation of other vegetation types. Penman, J.; Gytarsky, M.; Krug,

T.D.; Pippatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. y Wagner, F., (eds) IPCC – IGES, Kanagawa.

Internacional Panel Climatic Change – IPCC, 2003b. Good practice guidance for land use, land use change and forestry (GPG-LULUCF). Penman, J.; Gytarsky, M.; Krug, T.; Kruger, D.; Pippatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K.; Wagner, F., IPCC - IGES Kanagawa http://www.ipcc.nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html

Internacional Panel Climatic Change – IPCC, 2007. Cambio climático 2007, Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación). IPCC, Ginebra Suiza. 104 p. En www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf. Revisado mayo 2011.

Iquise, A. 2010. Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo. Huánuco. Perú. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, 98 p.

Kanninen, M. 2007. Crecen los árboles sobre el dinero? En Perspectivas Forestales 4. Centro Internacional para la Investigación de los Bosques - CIFOR. Bogor Indonesia. 61 p

Lanbin, B.; Mengben, W.; Gifford, M. 2007. The change of soil carbon stocks and fine roots dynamics after use change from native pasture to a pine plantation. Plant and soil, volumen 299, numbers 1-2. P 251 – 262.

Locatelli, B. 2005. Lulucf: El papel de los bosques y las plantaciones en el cambio climático. VI Curso internacional “Cambio climático y diseño de proyectos MDL en los sectores forestal y bio-energía. CATIE. Turrialba. Octubre 2005.

Locatelli, B.; Kanninen, M.; Brockhaus, M.; Perice Colfer, C.; Murdiyarso, D.; Santoso, H. 2009. Ante un futuro incierto: Cómo se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático. En Perspectivas Forestales N° 5. Centro para la Investigación Forestal Internacional. CIFOR. Indonesia. 90 p.

Loguercio, G. 2005. Cambio climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. Secretaria Académica CIEFAP. <http://www.ciefap.org.ar>. Revisado en julio 2013.

Melado, H. 2008. Modelo de cultivo de palma aceitera *Eleais guineensis* Jacq. en Honduras. Universidad Politécnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de producción vegetal: Fitotecnia. Madrid, España. 2008.

Mendelsohn, R.; Niggol, S. 2007, A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Latin American Farms. En World Bank Policy Research Working

- Paper No. 4163. 46 p. En http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=969240###. Revisado en junio 2012.
- Ministerio del Ambiente – MINAM, 2011. El Perú de los bosques. Editorial Súper Gráfica EIRL. Lima, Perú. 140 p.
- Olupet, G.; Heiko, D.; Lockwood, P.; McHenry, M.; McLeod, M.; Kristiansen, P. 2010. Impact of landuse on profile distribution of fine root biomass in NSW, In Food Security from Sustainable Agriculture. Edited by H. Dove and R.A. Culvenor Proceedings of 15th Agronomy Conference 2010, 15-18 November 2010, Lincoln, New Zealand. Australia
- Putz F. 1984. The Natural History of lianas on Barro Colorado Island, Panama. En Ecology 65. p 1713 – 1724.
- Rodríguez, R.; Jimenez, J.; Aguirre, O.; Treviño, J.; Razo, R. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino – encino en la Reserva de la Biósfera el Cielo, Tamaulipas, México. En Ra Ximhai. Volumen 5, Número 3. Universidad Autónoma Indígena de México. p 317 -327.
- Rugnitz, M.; Chacón, M.; Porro, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. 1ra. edición. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal ICRAF/ Consorcio Iniciativa Amazónica. 79 p.
- Stern, N. 2007. La economía del cambio climático. Universidad de Cambrige. En <http://calentamientoglobalclima.org/2007/02/21/informe-stern-resumen-en-castellano/>
- Trubore, S. 2006. Carbon respired by terrestrial ecosystems-recent progress and challenges. En Global Change Biology. Volumen 12. p 141-153. Febrero 2006.
- White, D.; Velarde, S.; Alegre, J.; Tomich, T. 2005. Alternatives to Slash and Burn (ASB) in Peru, Summary report and synthesis of phase II. Alternative to Slash and burn programme. Nairobi. Kenya.
- White, D.; Minang, P. 2011. Estimación de los costos de oportunidad de REDD+. Manual de capacitación. Versión 1.3. Banco Mundial. 340 p.