

TEMA 5: NUEVAS TENDENCIAS PARA EL DESARROLLO FORESTAL NACIONAL

DINÁMICA DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL PERÚ; BASE PARA UNA ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

José Eloy Cuellar Bautista¹, Evelin Judith Salazar Hinostroza²

jcuellar@inia.gob.pe, forestales01@inia.gob.pe,

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)/ Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario/ Programa de Investigación Agraria Forestales/ Avenida La Molina 1981, La Molina/ Lima, Perú/ <http://www.inia.gob.pe>

² Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)/ Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario/ Programa de Investigación Agraria Forestales/ Estación Experimental Agraria Pichanaki/ Junín/ <http://www.inia.gob.pe>

Palabras Claves: Sistema de Uso de la Tierra, Inventario, Carbono, Biomasa, Suelo

Resumen

El presente trabajo se realizó en tres cuencas a nivel de las tres regiones naturales del país: Aguaytía (selva), Mantaro (sierra) y Chancay (Costa), tuvo como objetivo determinar el patrón de cambios que se producen en el carbono almacenado en el ecosistema debido al cambio de uso del suelo del bosque, para ello se formaron clústeres con los principales tipos de uso del suelo, simulando una sucesión a partir de un bosque primario remanente, se utilizaron metodologías establecidas por el IPCC para la biomasa aérea y de la Universidad de Göttingen para evaluaciones bajo el suelo. En la biomasa aérea, se encontró diferencias muy significativas entre el bosque primario remanente con los demás sistemas evaluados, en la biomasa en el suelo a nivel de raíces se encontró una situación similar, mientras que a nivel de carbono almacenado en el suelo se evidencia una situación diferente. En el almacenamiento total de carbono, se evidencia diferencias significativas en las cantidades almacenadas por los diferentes sistemas de uso de la tierra; bosques primarios, plantaciones, frutales, cultivos y pastos, se evidencia una disminución de la biomasa y de la capacidad para almacenar carbono debido principalmente al tipo de manejo actual del sistema productivo. 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 raíces finas, en el caso del carbono en el suelo mantiene un comportamiento similar salvo en el caso de las plantaciones de palma aceitera. Lo cual demuestra que el bosque está perdiendo la capacidad para regenerar y de volver a su estado fisiográfico natural, luego de intervenciones severas.

Introducción

Los bosques constituyen uno de los ecosistemas más valiosos del mundo. Contienen más del sesenta por ciento de la biodiversidad del planeta que, además de su valor intrínseco, tiene otros múltiples valores sociales y económicos: que van desde las importantes funciones ecológicas del bosque en términos de protección del suelo y de las cuencas, hasta el valor económico de los numerosos productos que pueden extraerse del bosque. El Perú posee una superficie total de bosques al 2011 de 79,942,865 ha (Ministerio del Ambiente MINAM, 2011; Gobierno Regional de Ucayali GOREU, 2012).

En los bosques tropicales, el cambio de uso del suelo, termina por provocar una rápida degradación del suelo ya que en gran medida es demasiado pobre como para resistir las prácticas agrícolas. Por

consiguiente, a los pocos años el agricultor se ve forzado a talar otra parcela del bosque. La tierra agrícola degradada a menudo es utilizada algunos años más para la cría de ganado, aumentando la degradación, ya que el ganado elimina los últimos rastros de fertilidad que podían quedar. Finalmente la parcela de tierra queda totalmente degradada y durante muchos años no podrá recuperar su biomasa original.

El Perú viene jugando un rol cada vez más importante en las discusiones técnicas y políticas internacionales en torno a mecanismos de adaptación y mitigación al cambio climático. El surgimiento de la estrategia de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación de bosques REDD y sus posteriores evoluciones conceptuales, como parte del protocolo sucesor al de Kioto, abre las puertas al país para acceder a recursos a través de la “deforestación evitada” en su territorio nacional, entonces con esta investigación no solo se contribuirá a combatir el cambio climático, sino además podría generar una amplia gama de beneficios concomitantes, tales como la conservación de la biodiversidad, servicios ambientales y elevar el bienestar de comunidades que habitan dentro o dependen de los bosques para impulsar el desarrollo rural en la amazonia .

La zona de estudio, ha sido dividida en tres lugares; el bosque amazónico, el bosque andino y el bosque seco. El bosque amazónico con la cuenca de Aguaytía, en la región Ucayali, con una gran deforestación que se inicia con la llegada de los primeros colonizadores en los años 1940. (Instituto de Investigaciones IIAP, 2003). El bosque andino con la cuenca del Mantaro en la sierra central, es una zona con una gran diversidad de usos de la tierra y bosques nativos relictos. El bosque costero con la cuenca Chancay la Leche, combina relictos de bosques secos con producción agrícola, fruticultura y ganadería de caprinos que provocan cambios radicales al paisaje. En estas tres cuencas aún no se cuenta con estudios que nos permitan responder con conocimiento científico como se ha producido el movimiento del carbono almacenado en el bosque.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque mediante evaluaciones destructivas y no destructivas para estimar las emisiones de carbono generadas y comprender la dinámica del carbono en el ecosistema.

Materiales y Métodos

Lugares de toma de datos se realizó en tres cuencas

La cuenca de Aguaytía, es una de las zonas económicas más importantes de la Amazonia Peruana, está ubicada en la Región Ucayali, cubre una superficie aproximada de 1,762,086ha. Su territorio ocupa mayormente la Selva Baja del Perú y se halla recorrida por una extensa red hidrográfica formada por los ríos Ucayali, Aguaytía y sus tributarios. El eje central de la cuenca lo constituye la carretera Federico Basadre, entre Pucallpa y el Boquerón del Padre Abad.

La cuenca del Mantaro se extiende sobre las regiones de Pasco, Lima, Junín, Huancavelica y Ayacucho. El presente estudio se desarrolló en cinco sectores ubicados en el Valle del Mantaro de la región Junín. Comprende las siguientes altitudes: Punto más bajo, 3,160msnm puente Chupuro (Río Mantaro, lado sur del valle); punto más alto 5,557msnm nevado Huaytapallana.

La cuenca del Chancay se ubica en el Norte, en las Regiones de Lambayeque y Cajamarca pertenece a la Vertiente del Pacífico, recibe mediante trasvase el aporte de los Ríos Chotano y Conchano que

pertenece a la vertiente del Atlántico. Tiene la zona baja o valle, desde 0 a 500msnm y la zona alta o sierra de 500 a 3,500 msnm, se trabajó con la primera zona.

La metodología que se utilizó se basa en una recreación de diferentes escenarios o sistemas de uso de la tierra, mediante el establecimiento de clústeres a partir de una porción del bosque primario remanente y los diferentes sistemas en los cuales se ha realizado el cambio de uso de la tierra para ello se utiliza el diseño descriptivo transversal, Es una metodología basada en la combinación de metodologías destructivas y no destructivas, todas ellas aceptadas por el IPCC.

El proceso metodológico consiste en una serie de pasos que se establecen para organizar la toma de datos de campo así mismo el proceso de cuantificación del C almacenado en cada uno de los cinco depósitos del ecosistema, de tal manera que se garantice la generación de datos de calidad en un plazo prudencial.

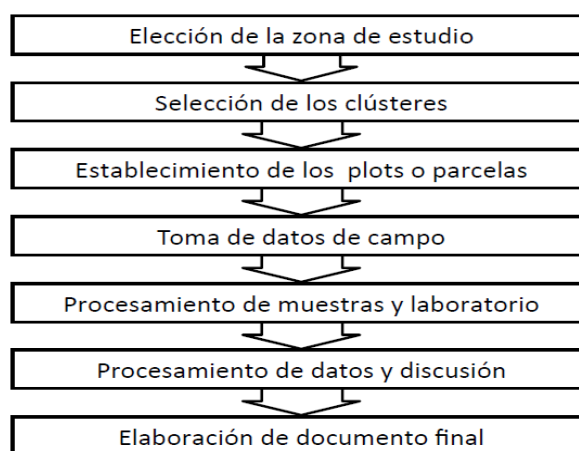


Figura 1. Flujograma de la metodología.

Variables evaluadas

Por su naturaleza: son cuantitativas continuas y por su importancia en la relación de variables:

Variabes Independientes: Sistemas de Uso de la Tierra.

Variabes Dependientes: Carbono almacenado en el SUT.

Procesamiento de muestras

Se desarrollaron una serie de procedimientos en base a ecuaciones alométricas descritas por diversos autores para cada tipo de bosque con la finalidad de encontrar el Carbono Total en cada SUT. Luego para integrar los diferentes resultados, se utilizó la siguiente ecuación:

$$CT \text{ (tC/ha)} = CVT + CS + CRF$$

Donde:

CT = Carbono total del SUT (tC/ha).

CVT = Carbono total en la biomasa aérea

CS = Carbono en el suelo

CRF = Carbono en las raíces finas

Resultados y discusión

Capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque amazónico

Con respecto al almacenamiento total de Carbono, se evidencia diferencias significativas a nivel de los cinco depósitos del SUT que va en forma descendente desde el bosque primario remanente, la purma alta, palma aceitera, pastizal, purma baja y finalmente para cultivos. Mientras que con respecto al carbono total almacenado, se puede observar que en el SUT plantaciones de Palma Aceitera, esta menor cantidad estaría explicado por las labores culturales en la instalación y manejo agronómico del cultivo y al tiempo transcurrido desde la tumba del bosque primario (aproximadamente 30 años).

En lo que respecta al depósito raíces finas, se observa diferencias no significativas entre Bosque Primario, Palma Aceitera, Purma Alta y Pasturas mientras que diferencias significativas con Cultivos.

Cuadro 1. Capacidad de Almacenamiento de Carbono por cada Sistema de Uso de la tierra del Bosque Amazónico

Sistema de Uso de la Tierra	Depósitos de Carbono en TC/Ha (toneladas de Carbono por Hectárea)					
	Árboles	Arbustiva Herbácea	Hojarasca mad Muert	Raíces Finas	Suelo	Carbón Stock (tC/ha)
Bosque primario R	121,5	1	33,6	4,81	71,4	232,3
Purma Alta	59,5	1,2	15,1	3,26	71,0	150,1
Palma Aceitera	7,8	0,5	6	4,76	71,8	90,9
Purma Baja	5	2,1	14,1	2,95	67,7	91,9
Pasturas	0,6	1,6	19,7	3,5	71,0	96,4
Cultivo	3,9	1	12	1,8	71,4	90,1
Promedio	33,0	1,2	16,7	3,5	70,7	

Con respecto a la capacidad de almacenamiento total de carbono, se puede observar diferencias significativas minimas entre los SUTs Palma aceitera, purma baja, pasturas y cultivo, a pesar de que se trata de diferentes tipos de cambio de uso al bosque. Esto estaría explicado a las practicas de manejo, ya que en pala aceitera se suele retirar todo el material residual y la cobertura vegetal que podría complementar la producción, en pasturas es debido a que a partir de los 5 años se suele dejar de cultivar el pastizal por considerársele que esta perdiendo su calidad y los arbustos en crecimiento aportan este valor de carbono, finalmente en cultivo estaría explicado porque contiene mucho material muerto y que no ha combustionado totalmente en la fase de rozo y quema del terreno.

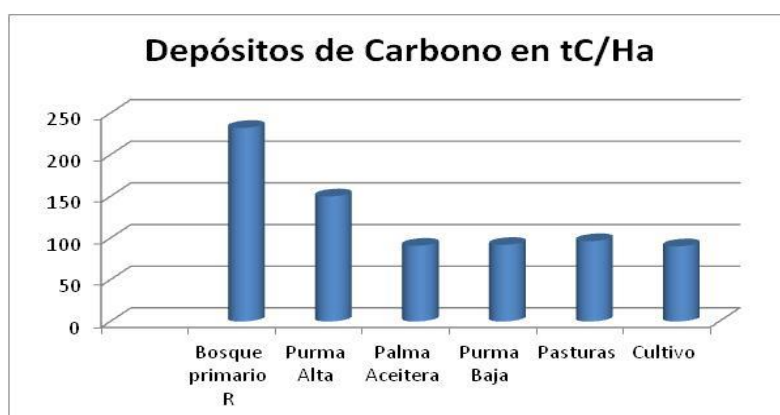


Figura 2. Carbono almacenado por cada sistema de uso de la tierra.

Capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque andino

La mayor cantidad de carbono total almacenado se registra en el sistema de uso de tierra de plantación forestal en comparación con los demás sistemas, seguido de los bosques nativos, siendo los pastizales y el cultivo estacionario de menor cantidad de carbono fijado. Los principales factores que han influido en el carbono fijado son: sistema de uso de tierra, densidad de plantación, morfología de especies, edad de la vegetación arbórea, tipo de suelo, manejo silvicultural, características climáticas y calidad del suelo.

Cuadro 2. Capacidad de Almacenamiento de Carbono por cada Sistema de Uso de la tierra del Bosque Andino

SISTEMA DE USO DE LA TIERRA	CARBONO ALMACENADO A NIVEL DE DEPOSITOS (tC/ha)					STOCK DE C TOTAL (tC/ha)
	ARBÓREA	ARBUSTIVA Y HERBÁCEA	HOJARASCA Y MADERA MUERTA	RAICES	SUELO 0 a 1m	
Plantación de Pino	111.24	1.15	6.45	16.68	82.28	217.80
Bosque de Polylepis	40.07	1.24	10.54	19.86	77.02	148.73
Plantacion de Eucalipto	30.80	0.61	6.04	13.47	78.03	128.95
Plantacion de aliso	22.21	1.38	5.83	13.74	85.12	128.28
Pastizal	0	5.10	0.85	6.54	86.43	98.92
Cultivo anual	4.86	3.29	1.34	5.67	70.77	85.93

En plantaciones de *P. radiata* el nivel de Fosforo (P) es bajo, desde 0.8 a 8.2ppm, en el caso de las plantaciones de *E. globulus*, el nivel de P es bajo de 1,7 a 13.9ppm. Esto se refleja en la altura total del árbol y la altura dominante, que podría explicar el resultado del almacenamiento total de carbono. En bosques de *P. incana*, el horizonte 0–10cm reporta 26.5tC/ha, con 5.2% de materia orgánica (rica), y en *A. acuminata*, reporta 31.5tC/ha, con 6.12% de materia orgánica (muy rica), los niveles de materia orgánica son mayores que en las coníferas. En el cultivo de *V. faba*, el horizonte de 0–10cm obtuvo 24.8tC/ha en promedio, con 4.5% de materia orgánica, que califica como rico. Las prácticas de labranza han sido la causa general de la disminución de la materia orgánica de suelos intensamente cultivados Los rangos del pH de *V. faba* varían de 4.9 a 7.1 de pH. En pastizales, en el horizonte de 0–10cm obtuvo 28.476tC/ha, con 5.6% de materia orgánica (muy rico). Se considera que los sistemas con pastos, a diferencia de los cultivos anuales de ciclo corto, poseen un ciclo continuo de iniciación, crecimiento y muerte de unidades individuales, las cuales generan materia orgánica.

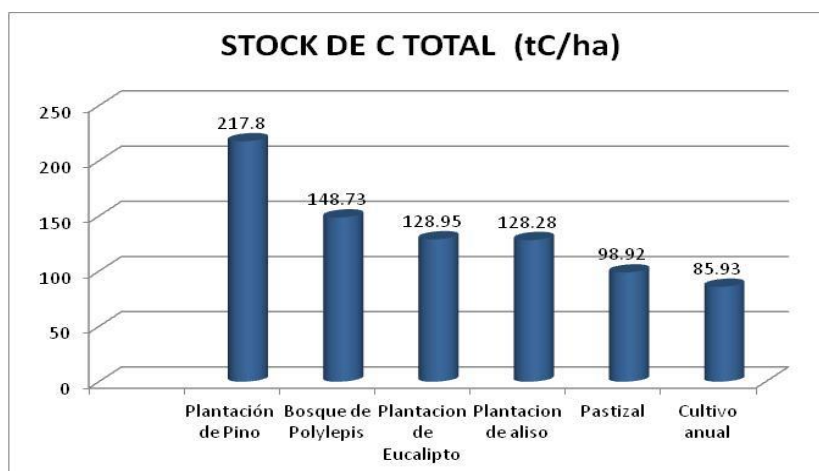


Figura 3. Carbono almacenado por cada sistema de uso de la tierra.

Capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque costero

El mejor sistema de almacenamiento de carbono es el bosque primario remanente, en el cual predomina la especie *P. pallida*, diferencia muy significativa comparando con los otros sistemas de uso de la tierra como plantación frutal de mango, ya que la actual propuesta de manejo de frutales de exportación es reducir su altura y diámetro de copa para facilidades en el manejo agronómico y cosecha, luego se nota al pastizal que a pesar de ser estacional, tiene un gran potencial de capturar carbono debajo del suelo y finalmente el cultivo de maíz por tener una gran biomasa y porte, ya que el uso mayormente se da para fruto y chala.

Cuadro 3. Capacidad de Almacenamiento de Carbono por cada Sistema de Uso de la tierra del Bosque Costero

SISTEMA DE USO DE LA TIERRA	CARBONO ALMACENADO A NIVEL DE DEPOSITOS (tC/ha)					STOCK DE C TOTAL (tC/ha)
	ARBÓREA	ARBUSTIVA Y HERBÁCEA	HOJARASCA Y MADERA MUERTA	RAICES	SUELO 0 a 1m	
Bosque Primario	27.64	9.86	6.56	6.25	20.65	44.06
Plantación Frutal	8.17	6.08	0.05	2.48	18.11	14.3
Pastizal	0.81	6.11	0.39	2.36	27.69	7.31
Cultivo anual	0	5.47	0.04	3.72	15.93	5.51

De acuerdo a los resultados, el bosque tiene mayor capacidad para almacenar carbono. Esta misma tenencia se observa en el bosque amazónico, mientras que en el bosque andino las plantaciones tienen mayor potencial, también se demuestra que los bosques secos costeros tienen una baja capacidad de almacenamiento de carbono y que se debería contar con una mejor propuesta de manejo para ampliar su potencial.

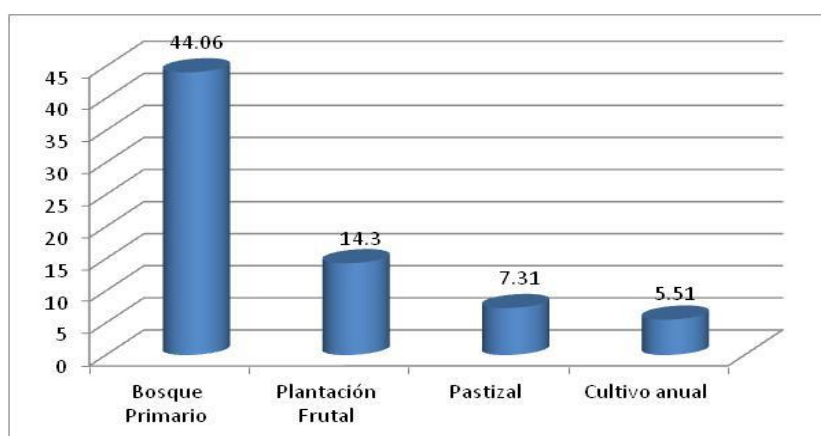


Figura 4. Carbono almacenado por cada sistema de uso de la tierra.

Patrón de cambios en el Carbono almacenado de acuerdo a cada tipo de bosque

Mediante una comparación de cambios en el stock de carbono de los Sistemas de Uso de Tierra, se muestran los cambios del stock de carbono en los diferentes depósitos, de acuerdo al sistema de uso de tierra; se puede observar que el mayor almacenamiento de carbono arbóreo se encuentra en el sistema de uso de bosque primario remanente en el bosque costero y amazónico mientras que en el bosque andino, las plantaciones muestran mayor capacidad de almacenamiento de carbono.

Con respecto a la comparación entre los cinco depósitos de carbono entre los cinco SUT del bosque amazónico, se observa diferencias significativas en el depósito arbóreo, arbustiva herbácea, hojarasca y madera muerta y raíces finas entre todos, mientras que en el depósito suelo es mínima esta demostraría que este último es el más estable.

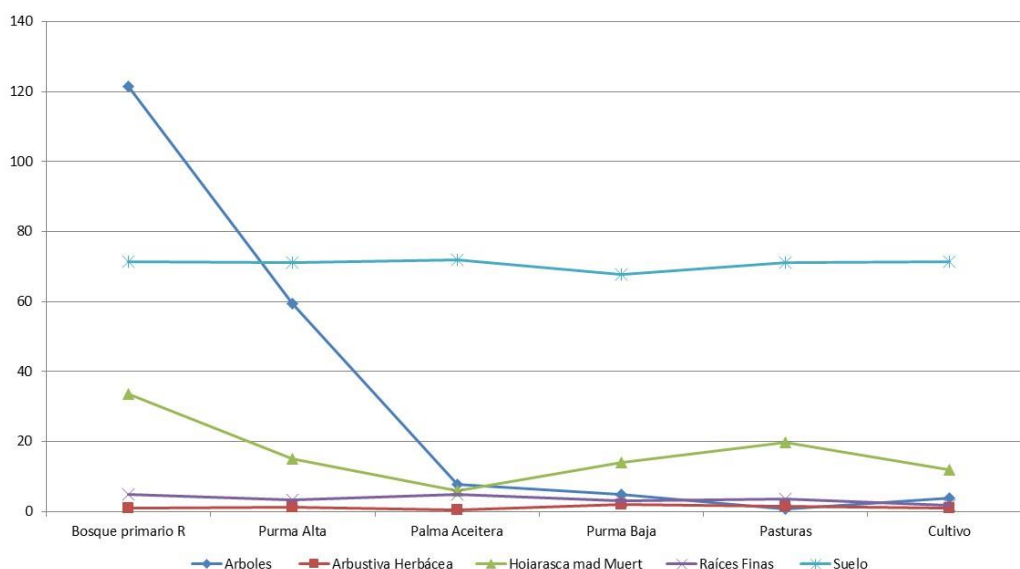


Figura 5. Patrón de cambios en el almacenamiento de Carbono de acuerdo a cada Deposito de carbono vs cada Sistema de Uso de la tierra del bosque amazónico

En el bosque andino, el carbono almacenado en el suelo es deposito más estable a diferentes intervenciones, de ellos, bajo Pastizal contribuyó en mayor medida al secuestro de carbono, por la

gran biomasa radicular en comparación con los demás sistemas evaluados siendo significativo en los bosques nativos y plantaciones forestales que poseen cantidades similares en la concentración del carbono orgánico en el suelo, por lo que no son estadísticamente significativos, el cultivo de *V. faba* obtuvo menor valor de carbono orgánico del suelo.

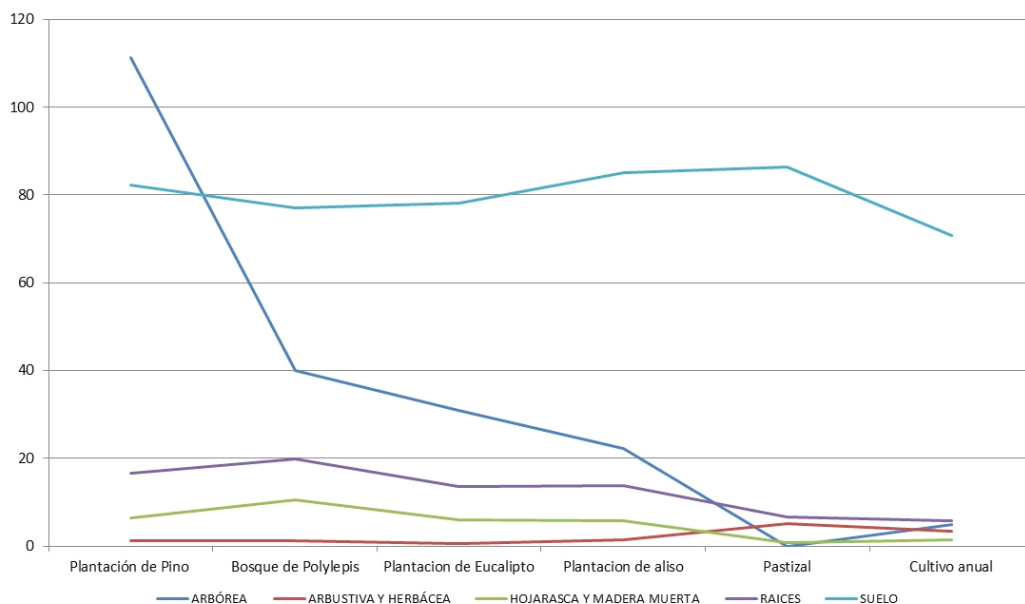


Figura 6. Patrón de cambios en el almacenamiento de Carbono de acuerdo a cada Deposito de carbono vs cada Sistema de Uso de la tierra del bosque Andino

En el bosque costero se demuestra diferencias significativas en el carbono almacenado en los diferentes SUTs, si viene s cierto el bosque primario concentra mayor almacenamiento de carbono, es muy inferior respecto al bosque andino o amazónico, que puede estar explicado en la menor resiliencia a intervenciones climáticas extremas como el Fenómeno El Niño y al modelo de intervención antrópica actual. En cuanto al patrón de cambios se puede observar que el deposito suelo es el más estable a diferentes intervenciones y en el caso del SUT pastizal reporta inclusive valores mayores de almacenamiento ante un cambio de uso, mientras que en cultivos la tendencia es para reducir su capacidad de almacenamiento.

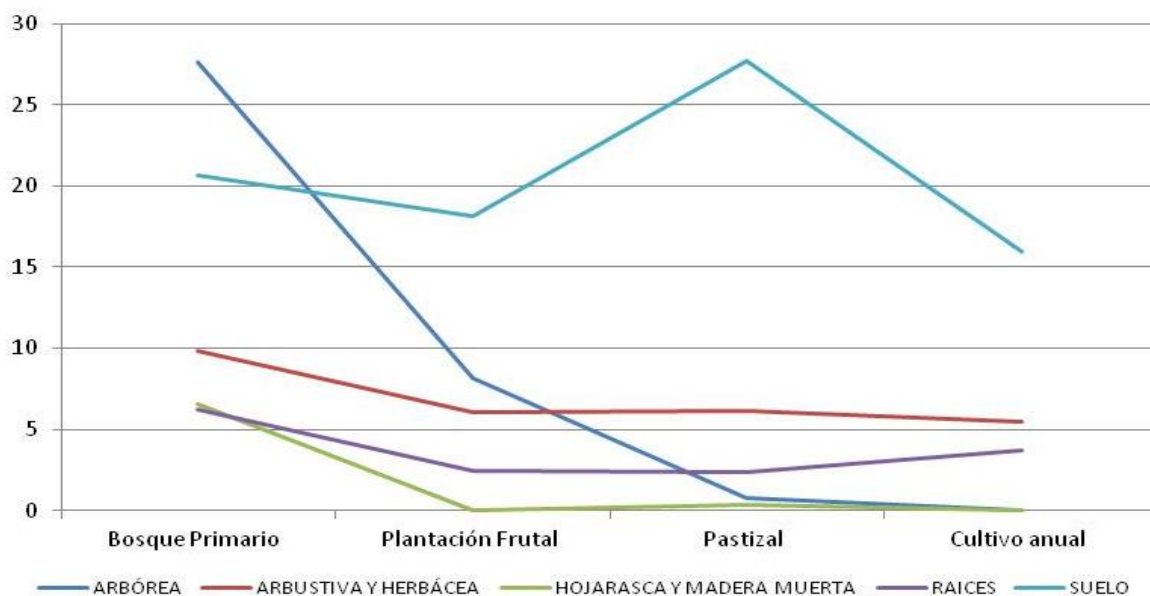


Figura 7. Patrón de cambios en el almacenamiento de Carbono de acuerdo a cada Deposito de carbono vs cada Sistema de Uso de la tierra del bosque Costero

Conclusiones

- Con el cambio de uso en los tres tipos de bosque se produce una pérdida de biomasa y de carbono almacenado, que no es posible recuperar prontamente y que están ocasionando la degradación de los mismos.
- Con respecto al almacenamiento total de Carbono, el SUT Bosque primario remanente tiene mayor capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque amazónico y costero, mientras que en el bosque andino son las plantaciones forestales
- Con respecto al almacenamiento en los diferentes depósitos, se evidencia diferencias significativas entre los depósitos arbóreo, arbustivo-herbáceo, madera muerta-hojarasca y raíces finas, mientras que diferencias minimas en el depósito suelo demostrando ser el mas estable ante cambios de uso.
- Con respecto al depósito suelo Independientemente del SUT, se almacena mayor cantidad de carbono en los primeros 10 cm de profundidad, representando aproximadamente 58.3 % del total de carbono existente en las raíces finas el suelo. En el bosque costero, no se encuentra carbono almacenado a partir de los 50cm de profundidad.
- Con respecto al depósito raíces finas, en el bosque amazónico y andino hay predominancia de estas en el horizonte de 0 a 10cm, mientras que en el bosque costero en el horizonte 10 a 20 cm.

Literatura citada

Álvarez G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia Aquino J., 2013. Estimación de la biomasa sobre el suelo para *Alnus acuminata* H.B.K. para Quilcas – Perú. Junín, Perú. 89 p.

Arévalo et al., 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa área en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín. Universidad agraria la Molina. Tesis. Lima, Perú.

Bravo F., 2013. Estimación de la biomasa aérea y subterránea en bosques de *Prosopis caldenia* en la pampa semiárida Argentina. En VI Congreso Forestal Español. p 110 - 113.

Calderón M., 2010. Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*. Ecuador. 56 p.

Cuellar J., Salazar E., Dietz J., 2015a. Patrón de cambios del carbono almacenado en el ecosistema debido al cambio de uso del bosque tropical en la cuenca de Aguaytia, Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria. INIA. Lima Perú. 133p.

Cuellar J., López A., Zelaya N., 2015b., Cuantificación del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en los bosques secos de la región Lambayeque. En III encuentro de la Red de Investigadores ambientales. MINAM. Piura - Perú. 6p.

Dávila V. Rodríguez F., 2008. Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – Valle del Mantaro. Tesis. Junín, Perú. 61 – 77 p.

Fernández E., 2008. Sistemas silvopastoriles establecidos con *Pinus radiata* D. Don y *Betula alba* L. en Galicia: productividad, biodiversidad y sumideros de carbono. Tesis. España. 83 – 204 p.

Gamarra J., 2001. Estimación de captura de carbono del bosque de *Eucalyptus glóbulus* Labill en la comunidad campesina de Hualhuas. Tesis. Perú.

Gayoso J., Guerra J., Alarcón D., 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. 154 p.

Honorio E., 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de investigaciones de la amazonia peruana. Lima, Perú. 54 p.

International panel climatic change IPCC,2003. Good practice guidance for land use, land change and forestry (P LULUCF). En http://www.ipcc.nip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contens.html.

Rügnitz et al., 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Consorcio iniciativa Amazónica (IA) y centro mundial agroforestería (ICRAF) 63 p.

Zanabria R., 2013. Determinación del carbono total almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra en el valle del Mantaro, Junín. Tesis de ingeniero forestal y ambiental de la Universidad Nacional del centro del Perú. 112 p.