

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Departamento Académico de Ciencias Agrarias



**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y
ALMACENAMIENTO DE CARBONO BAJO CUATRO
SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN LA
PROVINCIA DE LEONCIO PRADO**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

HUGO VIENA VELA

TINGO MARÍA - PERÚ

2010



P06

V62

Viena Vela, Hugo

Estimación de la Biomasa y Almacenamiento de Carbono Bajo Cuatro Sistemas de uso de la Tierra en la Provincia de Leoncio Prado. Tingo María 2010

64 h.; 28 cuadros; 6 fgrs.; 32 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

ALMACENAMIENTO - CARBONO / CULTIVO / ESPECIES FORESTALES /
SISTEMA USO DE TIERRA / BIOMASA VEGETAL / METODOLOGÍA /
TINGO MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso que gracias a él pude culminar mis estudios universitarios.

A mis padres Ángel Aquiles y Elmira por su amor, comprensión y brillante ejemplo de lucha en ser mejor cada día.

A mis hermanos: Reiver, Michel y Roly, por el inmenso apoyo incondicional que me han brindado en todo momento.

A mis tíos: Anderson, Pedro, Leopoldo, Orestes, y Marleni con el cariño y gratitud de siempre.

A Bertha Luz con mucho amor y cariño; por brindarme su amor y comprensión.

A mi sobrina Yesareth

AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su contribución en mi formación profesional.
- A los docentes de la Facultad de Agronomía quienes me formaron con sus enseñanzas a lo largo de mi carrera universitaria.
- Al Ing. M. Sc. José Wilfredo Zavala Solórzano, asesor del presente trabajo, por sus consejos y asesoramiento en el desarrollo científico y académico del presente trabajo de investigación.
- Al Econ. M. Sc. Daniel Guzmán Rojas, co-asesor del presente trabajo, por su siempre estimulante apoyo.
- A los miembros del jurado de tesis, Dr. Rolando Ríos Ruiz, Dr. Jorge Ríos Alvarado e Ing. M. Sc. Casiano Aguirre Escalante.
- A mis compañeros de la promoción 1999, Orlando Salinas Pérez, Jorge Cárdenas Ruiz, José Aranda Oroche, Edvar Acuña Marín y Carlos Sajamí Ruiz.
- A mis amigos que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. Almacenamiento de carbono.....	12
2.1.1. Carbono almacenado.....	13
2.1.2. Biomasa.....	14
2.2. Almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales tropicales.....	14
2.3. Manejo de carbono.....	15
2.4. Valorización económica de la fijación de carbono.....	16
2.5. Método para estimar la cantidad de carbono existente en los vegetales.....	17
2.5.1. Método destructivo.....	17
2.5.2. Método alométrico.....	17
2.6. Cambio climático.....	18
2.6.1. Principales causas del cambio climático.....	19
2.6.2. El comercio de créditos de emisión.....	19
2.6.3. Carbono en los suelos.....	20

2.7. Biomasa y carbono	21
2.8. Papel del carbono en el suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra	21
2.8.1. La agrosilvicultura	21
2.8.2. En el pastoreo.....	24
2.8.3. En los cultivos.....	25
2.8.4. La materia orgánica en los suelos	26
2.9. Investigaciones realizadas en la amazonía peruana	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Lugar de ejecución	32
3.2. Materiales	33
3.3. Procedimiento.....	33
3.3.1. Caracterización de los sistemas de uso de tierra	33
3.3.2. Determinación de la biomasa vegetal aérea total (BVT)..	34
3.3.3. Biomasa arbustiva y herbácea.....	35
3.3.4. Biomasa de la hojarasca	36
3.3.5. Biomasa arbórea viva (cacao y otros árboles).....	37
3.3.6. De la evaluación de la cantidad de carbono	41

3.4. Variables dependientes e independientes	42
3.5. Análisis de datos	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	43
4.1. De la biomasa.....	43
4.2. Del carbono almacenado.....	47
V. CONCLUSIONES	53
VI. RECOMENDACIONES	55
_VII. RESUMEN.....	56
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
IX. ANEXO	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Yurimaguas.....	27
2. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Pucallpa, comunidad de Sarita Colonia (t ha ⁻¹).....	28
3. Almacenamiento de carbono en el área de influencia de la carretera Iquitos, Nauta.....	29
4. Niveles de CO ₂ almacenado por los sistemas evaluados.....	30
5. Flujo anual de carbono y dióxido de carbono equivalente.	31
6. Coordenadas geográficas y sistemas de uso de tierra de las parcelas muestreadas.....	32
7. Biomasa bajo cuatro sistemas de uso de la tierra (t ha ⁻¹).....	43
8. Distribución de las cantidades de carbono almacenado en los diferentes componentes de los cuatro sistemas de uso de la tierra. ...	50
9. Contenido de carbono en los diferentes sistemas.	64
10. Contenido de biomasa y carbono de los sistemas evaluados.	64
11. Diámetro y biomasa de las plantas de cacao (transecto I)	65
12. Diámetro y biomasa de las plantas de cacao (transecto II)	66
13. Diámetro y biomasa de las plantas de cacao (transecto III)	67

14. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de uso con cacao	68
15. Biomasa de hojarasca del sistema de uso con cacao	68
16. Contenido de carbono del suelo en el sistema del cultivo de cacao...	69
17. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de uso con pasto	70
18. Biomasa de hojarasca del sistema de uso con pasto	70
19. Contenido de carbono del suelo en el sistema del cultivo de pastos..	71
20. Especies, diámetros y biomásas de las plantas de la purma evaluada (transecto I).....	72
21. Especies, diámetros y biomásas de las plantas de la purma evaluada (transecto II).....	74
22. Especies, diámetros y biomásas de las plantas de la purma evaluada (transecto III).....	76
23. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de uso con purma.....	78
24. Biomasa de hojarasca del sistema de uso con purma.....	78
25. Contenido de carbono del suelo en el sistema de uso con purmas....	79
26. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de un suelo degradado.....	80
27. Biomasa de hojarasca del sistema de uso en un suelo degradado	80
28. Contenido de carbono del suelo en el sistema de uso con suelo degradado.....	81

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Cuadrantes de 1 x 1 m para material herbario y arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5 x 0.5 m para hojarasca.....	37
2. Diseño de parcelas para la evaluación de la biomasa vegetal de los cuatro sistemas de uso de la tierra.....	38
3. Biomasa de los cuatro sistemas de uso de la tierra.....	45
4. Dendograma del carbono bajo cuatro sistemas de uso de la tierra. ...	47
5. Diagrama de dispersión y agrupación del contenido de carbono de las muestras a nivel de sus componentes en los sistemas evaluados.....	49
6. Medias de carbono almacenado bajo cuatro sistemas de uso de la tierra.....	52

I. INTRODUCCIÓN

La dinámica de los ecosistemas terrestres depende de las interacciones entre los diversos ciclos biogeoquímicos, particularmente el ciclo del carbono, de los nutrientes y el hidrológico, quienes están siendo sustancialmente modificados por las diversas actividades del hombre a consecuencia de la contaminación ambiental.

En los sistemas de uso de tierra, el carbono se retiene en la biomasa viva, materia orgánica en descomposición y en el suelo. Por lo tanto, estos ecosistemas desempeñan un rol importante en el ciclo global del carbono. El carbono es intercambiado de manera natural entre estos sistemas y la atmósfera mediante los procesos de la fotosíntesis, respiración, descomposición y la combustión, actuando como sumideros de carbono que inhiben o atenúan su acumulación en el medio ambiente. Los diferentes sistemas de uso de tierra, en función al beneficio económico de explotación pueden ser una alternativa para convertirse en sumideros de CO₂, en donde no solo se puede obtener una producción ecológicamente sostenible, sino una oportunidad para reducir el CO₂, intensificar las fincas ecológicas y diversificar las fuentes de ingresos.

La importancia del presente trabajo de investigación radica en la determinación de la cantidad de carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de tierra con plantaciones manejadas en la provincia de Leoncio Prado, para establecer un inicio de investigación con miras futuras

para la determinación del establecimiento de los servicios ambientales por el almacenamiento de carbono que ofrece cada uno de ellos. Cabe mencionar que dichos tópicos no son ajenos en la actualidad por nuestros países vecinos como Ecuador y Brasil, en tal sentido se plantea como hipótesis de que el sistema de uso de tierra con cacao CCN-51 almacena mayor cantidad de carbono (CO₂) en comparación a los de otros tipos de sistemas.

Considerando lo antes mencionado se realizó el presente trabajo donde se planteó el siguiente objetivo:

- Estimar y comparar la cantidad de biomasa y su contenido de carbono almacenado en cuatro sistemas de uso de la tierra.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Almacenamiento de carbono

El almacenamiento de carbono es un servicio ambiental basado en la capacidad de los ecosistemas forestales para absorber y almacenar el carbono atmosférico, así como en el manejo adecuado de estos ecosistemas, evitando su conversión en fuentes emisoras de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este servicio ambiental es el que rápidamente se está desarrollando a nivel global (FONAM, 2004).

El hecho de que una tonelada de carbono secuestrada en algún lugar del mundo emita el mismo impacto en la mitigación del efecto invernadero que cualquier otra tonelada secuestrada en otro punto del planeta, hace que este servicio genere un amplio impacto y un mercado global (FONAM, 2004).

El mercado de carbono es impulsado por la firma del Protocolo de Kyoto en 1997, en donde se establecen los compromisos de reducción de emisiones de GEI para países desarrollados y en transición; estas reducciones equivalente a 465 millones de toneladas de CO₂. Iniciativas como el Fondo Bio Carbono del Banco Mundial promueven el desarrollo de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en actividades forestales, a través de la compra de los Certificados de Emisiones Reducidas (CER) (FONAM, 2004).

En el Perú existe un enorme potencial para el desarrollo de inversiones del sector forestal con un importante componente de carbono negociable en el mercado internacional. Actividades de forestación y reforestación en zonas degradadas o deforestadas en la costa, sierra y selva; así como el uso de los

residuos del aprovechamiento forestal para la producción de energía, son actividades que el FONAM considera de especial interés para la promoción de inversiones (FONAM, 2004).

El proceso de fijación de carbono es en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra, y resulta a consecuencia de alguna intervención de las especies vegetales sobre áreas degradadas o en proceso de degradación (IPARRAGUIRRE, 2000).

Estas intervenciones pueden ser programas de manejo de suelos en reforestación, agroforestación o conservación de suelos. Generalmente los estimados de las cantidades fijadas de carbono por hectárea y año ($t\ ha^{-1}\ año$) se pueden medir en diferentes sistemas de uso de la tierra cuyos antecedentes (tiempo de uso principalmente), son conocidos por los agricultores. Estos sistemas pueden ser el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas, sistemas agroforestales, barbechos mejorados, sistemas silvopastoriles, etc. La acumulación en todos estos sistemas se denomina el almacenamiento de carbono (IPARRAGUIRRE, 2000).

2.1.1. Carbono almacenado

Al respecto BUDOWSKI (1999), señala que la cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad y está determinado por las condiciones del suelo y clima.

Según FONAM (2004), las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera basado en el hecho de que durante la fotosíntesis se fija carbono, que luego utilizan para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 t C/ha/año de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar.

IPARRAGUIRRE (2000), asume que el 45% de la biomasa vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 67,5 a 171 t ha⁻¹.

2.1.2. Biomasa

IPARRAGUIRRE (2000), indica que la biomasa o masa biológica, es la masa total de los seres vivos presentes en una determinada área en un momento determinado y suele expresarse en toneladas de materia seca por unidad de superficie o de volumen, de lo que se deduce que se trata de un concepto útil al proporcionar una orientación sobre la riqueza en materia orgánica que en un determinado momento posee un ecosistema. La cuantificación de la biomasa en un ecosistema, es una tarea relativamente compleja, sobre todo en el estrato superior.

2.2. Almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales tropicales

FAO (1998), indica que en los trópicos el carbono está en sumideros superficiales y su almacenamiento varía entre 60 y 230 t C ha⁻¹ en bosques primarios, y entre 25 y 190 t C ha⁻¹ en bosques secundarios. En bosques

tropicales, los sumideros de carbono en el suelo varían entre 60 y 115 t C ha⁻¹. En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de carbono en el suelo son considerablemente pequeños.

Cuando los bosques están maduros no ocurre asimilación neta de carbono, ya que el ecosistema boscoso está saturado con este elemento. Por otro lado, los árboles y la energía de la biomasa pueden usarse como sustitutos de los combustibles fósiles. Esta es una meta a largo plazo por que cuando se queman los árboles, se libera carbono a la atmósfera; pero es "reciclado", y no se agrega carbono nuevo (fósil) al sistema (FAO, 1998).

La foresta y los barbechos antiguos obtuvieron los contenidos más altos de carbono en ambos sitios (Yurimaguas y Pucallpa). El barbecho natural aumentó su contenido de carbono con el tiempo. El nivel de carbono en todos los sistemas manejados es mas bajo que el de los bosques naturales (ALEGRE y ARÉVALO, 1998).

2.3. Manejo de carbono

FAO (1998), señala que el sumidero de carbono de cualquier ecosistema terrestre tiene dos componentes principales: el área total de esos ecosistemas y la densidad de carbono por unidad de área. No obstante, para aumentar y mantener los sumideros de carbono, podemos desarrollar acciones para incrementar el área de estos ecosistemas, aumentar su densidad ó realizar estas dos acciones simultáneamente.

Existen varios estudios que tratan de estimar el área potencial disponible para la reforestación, agroforestería, conservación u otras opciones de manejo

para el almacenamiento de carbono. Sin embargo, hay varias regulaciones relacionadas con estas acciones. La disponibilidad real de tierra para estos programas depende de factores económicos, sociales, culturales e institucionales; que influyen en el uso del suelo (FAO, 1998).

El manejo sostenible de los sumideros de carbono en los bosques existentes, en los sistemas agroforestales y en las tierras agrícolas ofrece una opción interesante. El carbono superficial de los ecosistemas forestales tropicales varía entre 25 y 250 t/ha. No obstante, la reducción de la deforestación y el incremento de las medidas para la protección de bosques ofrecen una manera efectiva en cuanto a costo para reducir las emisiones de CO₂ (FAO, 1998).

2.4. Valorización económica de la fijación de carbono

Según FONAM (2004), el valor económico de los bosques por el servicio ambiental de almacenamiento de GEI, depende directamente de su capacidad de absorber una determinada cantidad de CO₂ al año. Conocer la capacidad real de absorción de CO₂ en los diferentes tipos de bosques es de vital importancia, a fin de asegurar que la valoración del bosque sea exacta.

CHAMBI (2001), señala que en un estudio realizado sobre valoración económica de almacenamiento de carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del río Inambari en Madre de Dios, asume el valor económico del almacenamiento de carbono obtenido sobre la base del cálculo de biomasa, teniendo en cuenta factores de regeneración, reforestación y deforestación de bosques y considerando tres escenarios de precios US\$ 20,00; 10,00 y 3,00/t

C. El precio pagado por el servicio de fijación de carbono en los sistemas de producción será más alto en los lugares en los cuales el riesgo potencial de pérdida sea menor. Un aspecto relacionado con esto es la permanencia del carbono inmovilizado (FAO, 1998).

2.5. Método para estimar la cantidad de carbono existente en los vegetales

Existen dos métodos para calcular la biomasa de los ecosistemas y su elección dependerá de los datos que estén disponibles al momento de realizar la estimación:

2.5.1. Método destructivo

Según HERNÁNDEZ (2001), este método utiliza datos colectados a partir de las mediciones destructivas de la vegetación en una unidad de superficie determinada. Por su alto costo, generalmente no se aplica.

2.5.2. Método alométrico

HERNÁNDEZ (2001), señala que consiste en medir una parte del individuo para inferir el total. Como una primera aproximación se estimaron a partir de datos de volumen de fuste y valores de densidad de biomasa aérea arbórea (BA) de los bosques regionales, aplicando las ecuaciones alométricas desarrolladas por Brown (1997). La biomasa aérea arbórea se estima usualmente mediante la aplicación de ecuaciones de regresión alométrica a un conjunto de árboles de una parcela media.

De acuerdo a HERNANDEZ (2001), quien cita a Brown (1997), su método se puede aplicar de manera general a bosques secundarios y maduros presentes desde climas húmedos y secos. Sin embargo, es más apropiado usarlo en bosques densos ya que los datos originales usados para desarrollar el modelo, provinieron de tales tipos de bosques.

2.6. Cambio climático

El efecto invernadero es un fenómeno que permite que la atmósfera absorba parte de la radiación solar que es reflejada por la superficie de la tierra, haciendo posible tener una temperatura adecuada para el mantenimiento de la vida en nuestro planeta (FONAM, 2003).

Esta absorción se produce gracias a los gases de efecto invernadero, que representan menos del 0.1% de la atmósfera total e incluyen al dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), perfluorocarbono (PFC) hidrofluorocarbono, (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) (FONAM, 2003).

Sin embargo, también señala que a partir de la era industrial y a través de distintas actividades el hombre ha intervenido en la naturaleza, ocasionando que las concentraciones de estos gases en la atmósfera se hayan incrementado hasta transformar un mecanismo natural y esencial para la vida de la tierra, en el problema conocido como cambio climático (FONAM, 2003).

También refiere que aproximadamente 23 mil millones de toneladas de CO_2 son liberadas en la atmósfera anualmente, cerca del 97% de esta cantidad es emitida por los países industrializados, proveniente de la quema de carbón,

petróleo y gas para obtener energía; la deforestación es la segunda fuente de emisiones (FONAM, 2003).

2.6.1. Principales causas del cambio climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en función a la información primaria recopilada, ha modelado algunos escenarios para el 2100, incrementos de 1 a 35°C en la temperatura media, incrementos de 0,15 a 0,95 m del nivel medio del mar, de 7 a 11% en las tasas de precipitación- evaporación, desplazamientos de los casquetes polares, entre 150 y 550 Km. (IPCC, 1995; citado por CALLO, 2000), además de innumerables consecuencias biofísicas y socioeconómicas.

Los ecosistemas extremarían sus condiciones ambientales con consecuencias como: migración suplantación, padecimiento y extinción de especies; epidemias y pandemias, agrícolas y humanas; erosión, sequía y desertificación de suelos; variaciones en los patrones, producción y productividad (UNEP y GMS, 1992; IUCC y PNUMA, 1995; citados por CALLO, 2000).

2.6.2. El comercio de créditos de emisión

El MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) aun no ha negociado las normas internacionales que regirán el comercio de los derechos de emisión. Si este comercio se concretara, dará lugar a una actividad internacional cuyo principal producto comercial serían los créditos de emisiones generados a través de la plantación de bosques. Por ejemplo, se estima que una hectárea

de una plantación arbórea sana puede absorber alrededor de 10 t/año de carbono de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar.

Los países con buen clima, suelos adecuados y condiciones que favorezcan la seguridad de las inversiones a largo plazo serán beneficiados con el proceso post-Kyoto atrayendo inversiones externas para el desarrollo de plantaciones forestales. Sin embargo, antes de que se puedan producir los beneficios se necesita un trabajo considerable a nivel internacional.

En ello incluye el desarrollo de una metodología basada en fundamentos científicos para contabilizar y verificar con precisión el carbono secuestrado en los bosques plantados, así como el carbono retenido en los productos forestales (ASUMADU, 1998).

2.6.3. Carbono en los suelos

Los suelos en los ecosistemas terrestres contiene 2 a 4 veces más carbono en forma de sustancia inerte, la producción neta primaria se encuentra entre 120 y 170 mil millones t ha⁻¹ de materia seca, lo que equivale a 75 mil millones t ha⁻¹ de carbono, de los cuales 2/3 son producidos en ecosistemas terrestres y 1/3 en ecosistemas marinos, la misma cantidad de carbono es respirada anualmente y retornada al medio ambiente como CO₂. También se determinó que un tercio, y a veces la mitad o más de la energía y carbono que se incorpora al bosque, se encuentra en el suelo en forma de hojarasca (Woods y Gallegos, 1970; citados por BARBARAN, 2000).

2.7. Biomasa y carbono

La biomasa es el volumen total de materia orgánica sobre la tierra, la escala de interpretación es arbitraria: árbol, hectárea, región, país, etc. Es la densidad de biomasa expresado por unidad de área (ha). El producto entre densidad de la biomasa por la superficie, dará la biomasa total del espacio requerido, considerando sus componentes epigeos e hipogeos, árboles, arbustos, palmeras, arbolillos, lianas, epifitas, etc.; y plantas muertas que oferten madera y mulch (Brown, 1997; citado por CALLO, 2000).

En caso de bosques maduros, los volúmenes de biomasa no arbórea, herbáceos, arbustos y lianas, no suelen superar el 3% de la biomasa total (Jordan y Uhl, 1978; Tañer, 1980; Hegarty, 1989; Lugo, 1992 citados por BROWN (1997)). Mientras que en bosques secundarios puede alcanzar hasta 30% (Brown y Lugo, 1990; Lugo, 1992, citados por CALLO, 2002). Del 40 al 50% se incorpora al suelo proveniente de hojas, ramas y raíces (Regos, 1989; citado por BARBARAN, 2000).

2.8. Papel del carbono en el suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra

2.8.1. La agrosilvicultura

La agrosilvicultura viene a ser la asociación de árboles con cultivos o pasturas puede representar una alternativa sostenible a la deforestación y a la agricultura de roza, tumba y quema (Winterbottom y Hazlwood (1987); Sánchez *et. al.* (1999); Schroeder (1994); Sánchez (1995), citados por ROBERT, 2002). Esta práctica tiene un gran potencial para el

almacenamiento de carbono en tierras de cultivos (Sánchez *et al.* 1999), citados por ROBERT, 2002).

Schroeder (1994), citado por ROBERT (2002), llevó a cabo una evaluación del almacenamiento del carbono en diferentes eco regiones. En las áreas tropicales, se puede obtener un almacenamiento de 21 a 50 t C ha⁻¹ en zonas sub húmedas a húmedas respectivamente, y con ciclos de corte de ocho o cinco años mucho más cortos que en los bosques. En estos cálculos no se incluyó el carbono del suelo, sin embargo; las raíces por si solas podrían incrementar esos valores en 10%.

En los principales sistemas agroforestales se podría mantener el carbono original presente en el ecosistema del bosque. Por ejemplo, en un período de 10 años, bajo cacao *Theobroma cacao* L. y *Erythrina* sp. se obtuvieron aumentos de 10 y 22 t ha⁻¹, respectivamente (Fassbender *et al.*, 1991, citados por ROBERT, 2002).

La agrosilvicultura podría ser, por varias razones, una de las propuestas interesantes de cambios en el uso de la tierra relacionados con el almacenamiento de carbono. En primer lugar, porque la superficie involucrada es considerable y la tasa de ganancia de carbono es relativamente alta de 0,2 a 3,1 t ha⁻¹ año (IPCC, 2000, citado por ROBERT, 2002) o aún más, dependiendo del tiempo de residencia de los árboles. En segundo lugar, puede mitigar la importante emisión de CO₂ proveniente de la deforestación (Dixon, 1995, citado por ROBERT, 2002).

También señala que finalmente podría proporcionar un sistema sostenible desde el punto de vista técnico, ecológico y económico. Sin embargo, por razones sociales y culturales, este tipo de manejo de la tierra es difícil de promover. Por lo tanto, la agrosilvicultura contribuirá, probablemente en menor grado de almacenamiento de carbono (ROBERT, 2002).

Existen valores globales para estimar las tasas anuales de almacenamiento de carbono en la forestación de distintas zonas climáticas. La tasa total por encima y debajo del suelo en $t\ C\ ha^{-1}\ año$ aumenta desde las zonas boreales (0,4-1,2) y templadas (1,5-4,5) hacia las regiones tropicales (4-8) (Dixon, 1995, citado por ROBERT, 2002).

Los datos de distribución del carbono entre la biomasa aérea, las raíces, los residuos en el suelo indican que el carbono del suelo por si solo representa más que el carbono de la biomasa forestal. Tales proporciones difieren dependiendo de la zona climática, con el máximo de carbono del suelo en las áreas frías boreales y templadas, y mínimo en las áreas tropicales (IPCC, 2000, citado por ROBERT, 2002).

Recientemente, encontraron tasas de acumulación potencial de carbono más bajas en los suelos forestales (0,3 a $0,6\ t\ ha^{-1}\ año$) que en los suelos de praderas. Las enmiendas de suelos con carbonato de calcio o la fertilización incrementan la biomasa, tanto aérea como en el suelo, siempre que no haya otras condiciones limitantes (ROBERT, 2002).

2.8.2. En el pastoreo

Se han mencionado las grandes extensiones de las tierras de pastoreo y la importancia de la existencia de carbono. Mientras que el total del carbono presente en las praderas es menor que en algunos ecosistemas forestales, una parte del carbono contenido en el suelo puede ser mayor. En general, el contenido de carbono de un suelo bajo pasturas es mayor que bajo cultivos (ROBERT, 2002).

Sin embargo, el 70% de la tierra de pastoreo están degradadas. El sobre pastoreo es una de las principales causas de la degradación, especialmente en zonas sub húmedas, semiáridas o áridas donde predominan las pasturas (Pieri, 1989; citado por ROBERT, 2002).

El manejo con fuego es otro método utilizado para controlar las especies leñosas, lo que involucra alguna pérdida de carbono hacia la atmósfera; si la transferencia principal es para el carbono vegetal, puede llegar hasta un 30% del carbono total del suelo (Skjemstad *et al.*, 1996, citado por ROBERT, 2002).

Una de las principales soluciones utilizadas en el manejo de las pasturas es el control del pastoreo en cuanto a intensidad, frecuencia y estacionalidad; así como también un mejor manejo del fuego para el control de las especies leñosas. Otras soluciones incluyen el mejoramiento del suelo y la calidad de los pastos (ROBERT, 2002).

Uno de los principales factores limitantes del suelo para el crecimiento de las plantas es la deficiencia de nutrientes. La fertilización en

bajas dosis puede ser una solución, por ejemplo usar fósforo en lugar de nitrógeno. Sin embargo, una mejor fertilización nitrogenada, más ecológica y sostenible, se obtiene mediante la introducción de leguminosas fijadoras de nitrógeno (ROBERT, 2002).

Otra solución puede ser la modificación de la calidad del pastoreo e introducir especies productivas con sistemas radicales más profundos y resistentes a la degradación de las pasturas. Todas estas soluciones incrementarán en buena medida el almacenamiento de carbono (Fisher *et al.*, 1994, citado por ROBERT, 2002), ya que las pasturas pueden almacenar altas cantidades de carbono en forma estable. Paralelamente, el incremento de los rendimientos también puede ser importante, duplicando o triplicando la producción (ROBERT, 2002).

2.8.3. En los cultivos

Como se indicó anteriormente, el manejo del suelo y de los cultivos, puede mejorar el tiempo de resistencia y almacenamiento del nuevo carbono en el suelo, lo cual es una de las consideraciones del Protocolo de Kyoto o en cualquier acuerdo post-Kyoto (ROBERT, 2002).

Los diferentes tipos de usos de la tierra y de prácticas agronómicas fueron evaluados con respecto a su efecto sobre el almacenamiento y la liberación de carbono (Lal, 1999; Batjes, 1999; citados por ROBERT, 2002). Se hace una distinción entre las prácticas que causan una disminución o pérdida de carbono, un incremento del ingreso de carbono en el suelo o una combinación de ambos.

2.8.4. La materia orgánica en los suelos

La materia orgánica en el suelo es un indicador clave de la calidad que posee, tanto en sus funciones agrícolas (en producción y economía) como en sus funciones ambientales (almacenamiento de carbono y calidad del aire) (ROBERT, 2002).

También señala que la materia orgánica en el suelo es el principal componente de su actividad biológica. La cantidad, diversidad y actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica (ROBERT, 2002).

La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos; la agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (ROBERT, 2002).

2.9. Investigaciones realizadas en la amazonía peruana

El Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF) determinó en Yurimaguas y Pucallpa, la cantidad de carbono almacenado por la biomasa vegetal por los principales sistemas de uso de la tierra. En los Cuadros 1 y 2, se puede apreciar los resultados encontrados (GUZMÁN, y ARÉVALO, 2003).

Cuadro 1. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Yurimaguas.

Sistema de uso de la tierra	Árbol (t ha⁻¹)	Sotobosque (t ha⁻¹)	Hojarasca (t ha⁻¹)	Raíz (t ha⁻¹)	Suelo (t ha⁻¹)	Total (t/ha⁻¹)
Forestal						
Bosque de más de 40 años, con ligera extracción de madera	290,00	3,63	3,93	23,95	38,76	360,30
Barbecho						
Bosque secundario (15 años)	184,40	0,82	4,03	3,32	46,54	239,10
Bosque secundario (5 años)	42,10	1,89	2,96	1,66	47,27	95,80
Bosque secundario (3 años)	2,40	1,25	3,44	3,66	43,80	54,60
Cultivos						
Área reciente quemada	46,00	0,00	0,00	48,70	50,36	133,70
Cultivo anual (arroz)	16,80	1,91	2,96	29,30	43,60	89,60
Pastos						
Pastura degradada (30 años) quemada anualmente	0,00	4,83	5,73	1,50	54,50	63,60
Pastura mejorada con <i>B. decumbens</i> (15 años)	0,00	1,76	2,36	0,96	72,60	77,70
Sistema agroforestal						
Plantación de pijuayo de (16 años)	0,40	82,69	2,16	7,49	56,10	148,80
Plantación multiestrato <i>Bactris/Cedrelinga/Columbia</i>	57,30	1,25	6,09	2,63	47,03	114,30

Fuente: GUZMAN y AREVALO (2003).

En general, se puede apreciar la mayor concentración de almacenamiento de carbono en bosque no intervenido o parcialmente intervenidos (foresta) con relación a otros sistemas. Destacan también los

sistemas agroforestales tratados como mejores alternativas en comparación con sistemas de uso de la tierra tradicional como pasturas, cultivos y en algunos casos mejores que algunos barbechos para el almacenamiento de carbono (GUZMÁN y ARÉVALO, 2003).

Cuadro 2. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Pucallpa, comunidad de Sarita Colonia (t ha⁻¹).

Sistema de uso de la tierra	Soto-					Total
	Árbol	bosque	Hojarasca	Raíz	Suelo	
Forestal						
Bosque primario no tocado	160,10	0,83	0,73	2,61	76,81	241,10
Bosque primario extraído de madera	120,30	0,69	1,83	3,48	47,03	173,30
Barbecho						
Bosque secundario (15 años)	121,00	2,21	2,85	1,04	68,33	195,43
Bosque secundario (3 años)	13,20	1,83	5,90	0,28	19,63	40,80
Cultivos						
Área reciente generada	68,33	0,00	0,00	3,27	29,71	101,30
Cultivo anual (arroz)	4,50	1,24	2,12	0,81	22,36	31,00
Cultivo anual (yuca)	0,70	1,75	0,98	0,50	34,16	38,10
Cultivo bianual (plátano)	6,20	8,08	1,99	0,84	39,16	56,20
Pastos						
Pastura degradada	0,00	2,42	0,68	0,68	35,74	39,50
Sistema agroforestal						
Plantación de 30 años con <i>Hevea</i>	66,60	0,91	6,47	0,35	78,20	152,60
Plantación de palma aceitera	0,00	37,24	4,14	0,71	57,15	99,20

Fuente: GUZMAN y AREVALO (2003).

En el año 2001 y con apoyo del proyecto BIOFOR diversos trabajos sobre almacenamiento de carbono fueron realizados utilizando la metodología

de Brown (1996), citado por HERNANDEZ (2001). El objetivo general de ellos fue proporcionar nuevos instrumentos de política a través de estudios de valoración económica. En el Cuadro 3, se muestran algunos de los resultados de la investigación realizada por MALCA (2001) y GUZMÁN y ARÉVALO (2003).

Cuadro 3. Almacenamiento de carbono en el área de influencia de la carretera Iquitos, Nauta.

Tipo de bosque	Tasa de incremento de biomasa (t ha⁻¹ año)	Tasa de almacenamiento de carbono (t ha⁻¹ año)	Tasa de almacenamiento de CO₂ (t ha⁻¹ año)
Sistema agroforestal	10,04	4,82	17,68
Reforestación	12,4	5,95	21,85
Purma enriquecida	17,61	8,45	31,01

Fuente: MALCA (2001), GUZMAN y AREVALO (2003).

El almacenamiento de carbono que se aprecia en el Cuadro 4, es neta sólo en sistemas boscosos y en sistemas agroforestales que no tengan fuentes de fuga de GEI. Para el caso de sistemas agrícolas el almacenamiento es mucho menor ya que se debería contabilizar las emisiones de GEI por el uso de agroquímicos, los sistemas agrícolas además del pequeñísimo potencial de almacenamiento de carbono, son también fuente de emisiones de otros GEI como el N₂O por el uso de fertilizantes o de CO₂ liberado por la quema de residuos agrícolas, siendo su almacenamiento neto de CO₂ equivalente aún menor (LAPEYRE, 2004).

Cuadro 4. Niveles de CO₂ almacenado por los sistemas evaluados.

Sistemas	C (t ha⁻¹)	CO₂ equivalente
Bosque primario	485,30	1779,43
Bosque secundario. 50 años.	234,30	859,10
Bosque secundario. 20 años.	62,10	227,70
Arroz	1,70	6,23
Maiz	4,40	16,13
Pastos	2,30	8,43
Café - guaba. 4 años.	19,30	70,77
Cacao 15 años.	47,20	173,07

Fuente: LAPEYRE (2004).

Los flujos anuales son los que expresan el dinamismo en la acumulación del carbono y es el que la comunidad internacional está considerando para el otorgamiento de créditos por éste servicio ambiental. Cabe destacar, que los flujos son un promedio de almacenamiento anual en el tiempo de vida del sistema, dado que el crecimiento de una población vegetal no se realiza de manera uniforme en el tiempo, existiendo un mayor crecimiento en los primeros años (LAPEYRE, 2004).

El flujo anual de almacenamiento de CO₂ equivalente en cada uno de los sistemas, que se observa en el Cuadro 5, es la cantidad que se debe comercializar ambientalmente si se acepta para el segundo período de compromiso el concepto de conservación de bosques; sin embargo, para el primer período de compromiso (2008 – 2012), bajo el protocolo de Kyoto de la CNUCC, se ha establecido la comercialización sólo de los almacenamientos

que se realicen en plantaciones forestales recientemente establecidas (LAPEYRE, 2004).

Cuadro 5. Flujo anual de carbono y dióxido de carbono equivalente.

Sistemas	C (t ha⁻¹)	C (t ha⁻¹ año)	CO₂ equivalente
Bosque secundario 50 años.	234,30	4,69	17,23
Bosque secundario 20 años.	62,10	3,10	12,43
Café – guaba 4 años.	19,30	4,82	14,92
Cacao 15 años.	47,20	3,15	13,31

Fuente: LAPEYRE (2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se desarrolló en cuatro zonas: en una parcela de cacao en el Fundo Hidalgo en el caserío Km. 51, en una parcela de pastos en el Fundo Tulumayo en el caserío Santa Lucía, en una purma en el caserío Los Milagros y en un suelo degradado ("macorillal") en el AA. HH. Buenos Aires, todas ubicadas en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Se evaluaron cuatro Sistemas de Uso de la Tierra (SUT), como son:

- Cultivo de cacao CCN-51 de 5 años.
- Pastizal de 5 años.
- Purma de 5 años.
- Suelo degradado de 5 años

Cuadro 6. Coordenadas geográficas y sistemas de uso de tierra de las parcelas muestreadas.

Coordenadas geográficas		Sistema de uso de tierra
Este	Norte	
0389932	8987502	Cacao
0387068	8990598	Pastizal
0389919	8969930	Purma
0389466	8989940	Suelo degradado

3.2. Materiales

- Wincha de 30 m.
- Bolsas de polietileno.
- Papel periódico
- Balanza analítica
- Tijera de podar.
- Rafia
- Pala recta
- Pico
- Bolsas de papel Kraft.
- Balanza de precisión.
- Estufa.
- Cámara fotográfica.
- Cilindros Uhland

3.3. Procedimiento

3.3.1. Caracterización de los sistemas de uso de tierra

Sistema de uso con cacao

La parcela evaluada pertenece al agricultor, Sr. Miguel Laura Hidalgo en la comunidad de Ricardo Palma en el distrito de Padre Felipe Luyando, tiene una edad de cinco años, con plantas de cacao CCN-51 a un distanciamiento de 3 x 3 m asociada con guaba a una distancia de siembra de 18 m. El tipo de suelo es aluvial y de topografía plana, con una producción promedio de 1000 kg ha⁻¹.

Sistema de uso con purma

La parcela evaluada pertenece a la comunidad del sector de Los Milagros; es una purma abandonada de cinco años, con historial de siembra

anterior de "maíz" (*Zea mays*) y "yuca" (*Manihot esculenta*), la predominancia de especies como "leche caspi" (*Couma macrocarpa*), "cordoncillo" (*Piper spp.*), "ocuera" (*Vernonia baccharoides*), "cacahiullo" (*Theobroma subincanum*), "ishanga" (*Urera sp.*), etc.

Sistema de uso de suelo degradado

Parcela ubicada en el sector de Afilador en el recreo Las Lomas, con predominancia de especies como "macorilla" (*Pteridium aquinilum*), "rabo de zorro" (*Seteria geniculata*). Característico de suelos ácidos con pendiente de inclinación superior al 25%.

Sistema de uso con pastos

La plantación evaluada se encuentra ubicada en el sector Tulumayo perteneciente al distrito de José Crespo y Castillo. La edad de la plantación es de cinco años, con plantación de pastos de la especie "camerún" (*Pennisetum glaucum*), asociada con "kudzu" (*Pueraria phaseoloides*). El suelo predominante es residual con topografía plana.

3.3.2. Determinación de la biomasa vegetal aérea total (BVT)

La metodología a seguir para el presente trabajo, corresponde a lo establecido por CATIE (2005), donde para determinar la biomasa aérea total se utilizó la siguiente ecuación:

$$BVT (t ha^{-1}) = (BAVT + BAH + Bh)$$

Donde:

BVT : Biomasa vegetal total ($t ha^{-1}$)

BAVT : Biomasa total de árboles vivos

BAH : Biomasa arbustiva y herbácea

Bh : Biomasa de la hojarasca, materia seca

3.3.3. Biomasa arbustiva y herbácea

Para determinar la cantidad de la biomasa arbustiva (BAb) y herbácea (Bhb), se consideró a la biomasa que se encontró sobre el suelo de arbustos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas.

La biomasa se estimó por muestreo directo en un cuadrante de 1 m x 1 m, distribuidos al azar dentro de las parcelas de 4 x 25 m; se cortó toda la vegetación a nivel del suelo y se llenaron en bolsas plásticas codificadas. Luego se trasladó al laboratorio y se registró el peso fresco total por metro cuadrado, de esta muestra se obtuvo una sub muestra y también se registró el peso fresco; luego se colocó en una bolsa de papel debidamente codificada y se colocó en la estufa a una temperatura de 75°C hasta obtener un peso seco constante. El peso seco de esta biomasa se convirtió a $t\ ha^{-1}$ y éste valor se multiplicó por el factor de 0,45, obteniendo la cantidad de $C\ ha^{-1}$. Para la estimación de la biomasa arbustiva y herbácea se utilizó la siguiente ecuación planteada por CATIE (2005):

$$BAH (t\ ha^{-1}) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0,01$$

Donde:

BAH : Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM : Peso seco (g) de la muestra colectada

PFM : Peso fresco (g) de la muestra colectada

PFT : Peso fresco total (g) por metro cuadrado

0,01 : Factor de conversión

3.3.4. Biomasa de la hojarasca

Se cuantificó en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas), en cuadrantes de 0,5 x 0,5 m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1 x 1 m (Figura 1). Se colocó toda la hojarasca en bolsas de polietileno con su codificación correspondiente y fueron enviadas al laboratorio de Análisis de Suelos para su evaluación, donde se registro su peso fresco total por 0,25 m², de esta se sacó una sub muestra y se registró el peso fresco y luego se colocó en una estufa a temperatura constante de aire caliente a 75°C, hasta obtener peso seco constante. El peso seco de esta biomasa se convirtió a t/ha y este valor se multiplicó por el factor de 0,45, obteniéndose la cantidad de C ha⁻¹. Para lo cual se utilizó la siguiente formula:

$$Bh \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0,04$$

Donde:

Bh : Biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM : Peso seco (g) de la muestra colectada

PFM : Peso fresco (g) de la muestra colectada

PFT : Peso fresco total (g) por metro cuadrado

0.04 : Factor de conversión

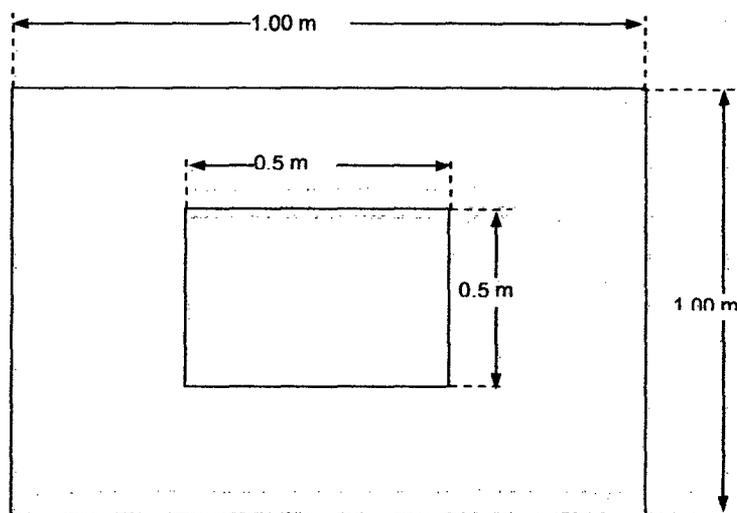


Figura 1. Cuadrantes de 1 x 1 m para material herbario y arbustivo y cuadrantes interiores de 0,5 x 0.5 m para hojarasca.

3.3.5. Biomasa arbórea viva (cacao y otros árboles)

Evaluación de las especies forestales

La biomasa arbórea de las especies forestales recolectadas en la purma y pastos fue determinado por las medidas del diámetro a la altura de pecho ($DAP_{1.30m}$), comprendiendo todas las especies que se encontraban en el área de muestreo de 4 x 25 m. Se calculó la biomasa de cada uno de los árboles vivos y árboles muertos en pie, utilizando el siguiente modelo ecuación recomendado por AREVALO *et. al.* (2003):

$$BA = 0,1184 DAP^{2,53}$$

Donde:

BA = Biomasa de árboles vivos y árboles muertos en pie

0,1184 = Constante

DAP = Diámetro a la altura del pecho

2,53 = Constante

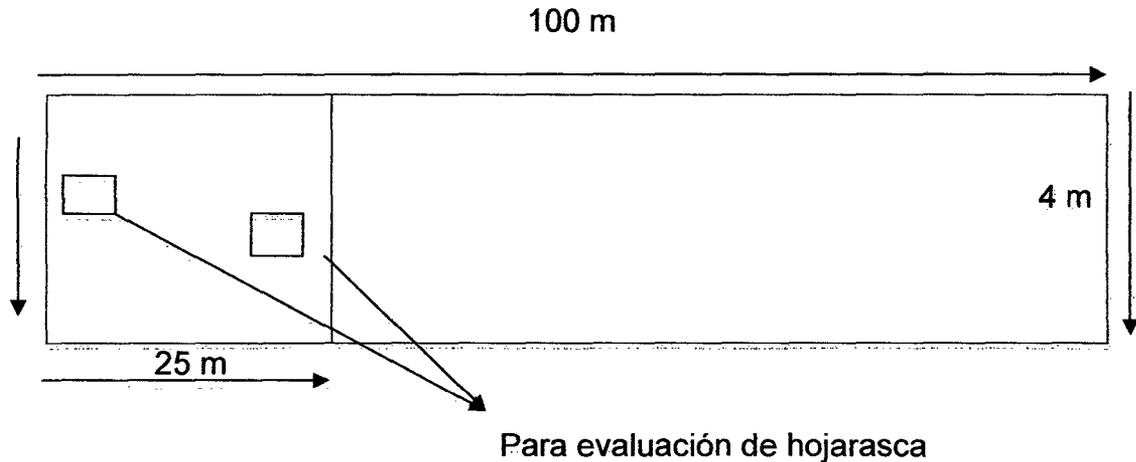


Figura 2. Diseño de parcelas para la evaluación de la biomasa vegetal de los cuarto sistemas de uso de la tierra.

Para los árboles que ramificaron debajo del DAP se estimó su biomasa después de calcular su diámetro general del árbol, utilizando la fórmula de raíz cuadrada de la suma de las ramas individuales:

$$d = [(d1) + (d2) + (d3) + \dots + (dn)]^{1/2}$$

También se consideró nominarse en todos los casos los nombres locales de cada árbol, si era ramificado (R) y si no (NR), también el uso del índice de la densidad de la madera de la especie (alta 0,6, media 0,4 y baja 0,2).

Evaluación de la biomasa de las plantas de cacao

Para la determinación de la biomasa del cacao, esta se calculó realizando la evaluación de todas las plantas de cacao, considerando el área de evaluación determinando el diámetro del tallo a 30 cm del suelo.

Una vez determinadas las medidas registradas, se procedió a realizar el cálculo de la biomasa de cacao, para lo cual se usó el modelo de tipo logarítmico, utilizando $Diam_{30}$ como variable independiente. La ecuación empleada fue la recomendada por IPCC (2003); ANDRADE y SEGURA (2005):

$$\text{Log Bt} = a + b \times \log \text{Diam}_{30}$$

Donde:

BT: Biomasa total; a y b: parámetros a estimar: -1,625 y 2,626;

$Diam_{30}$: Diámetro a 30 cm del suelo.

Cálculo del peso del volumen del suelo

Para calcular el peso del volumen del suelo por horizonte de muestreo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{PVs (t ha}^{-1}\text{)} = \text{DA} \times \text{Ps} \times 10000$$

Donde:

PVs : Peso del volumen del suelo

DA : Densidad aparente

Ps : Espesor o profundidad del horizonte del suelo (m)

10000 : Constante

Densidad aparente del suelo

Para determinar la densidad aparente del suelo se utilizó la siguiente fórmula:

$$DA \text{ (g cc}^{-1}\text{)} = \text{PSN/VCH}$$

Donde:

DA : Densidad aparente en g cc⁻¹

PSN : Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH : Volumen del cilindro (constante)

Carbono en el suelo: este parámetro fue determinado a través de las calicatas hechas en cada uno de los sistemas evaluados.

Las calicatas mostraron una conformación diferente de sus horizontes, por lo cual, se realizó la extracción de muestras de suelo (0,5 kg) de cada uno de los horizontes para realizar el cálculo del contenido de carbono en el Laboratorio de Suelos de la UNAS a través del método de calcinación. Cabe mencionar que el contenido del suelo para cada sistema fue determinado por la suma de todos sus horizontes.

El método de calcinación consistió en realizar el peso inicial de un crisol, luego el peso del mismo + 1g de suelo seco; el suelo fue previamente llevado a una mufla a temperaturas superiores a los 600°C por un lapso de 48 horas, de allí proviene la ceniza. Conocidos los pesos del crisol + suelo y crisol + ceniza, se determinó el porcentaje de materia orgánica mediante:

Materia orgánica = 1 – (peso de crisol – peso de crisol + ceniza)

Posteriormente, el cálculo de carbono es:

$$\text{Carbono} = (\text{MO} \times 100) / 1,724$$

Donde:

1,724 : Coeficiente de Van Vanmelen

Cálculo de carbono total

Para determinar el carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de tierra se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde:

CT : Carbono total del sistema de uso de tierra

CBV : Carbono en la biomasa vegetal total

CS : Carbono en el suelo

3.3.6. De la evaluación de la cantidad de carbono

Luego de seleccionado el sistema de uso de la tierra en la que se evaluó la cantidad de carbono almacenado, se realizó las medidas de los diferentes componentes de biomasa, siguiendo la metodología citada por el CATIE (2005), quien manifiesta que la biomasa multiplicada con 0,45 – 0,5 determinan el contenido de carbono de las especies vegetales a nivel de trópicos.

3.4. Variables dependientes e independientes

Las variables dependientes son los sistemas de uso del suelo y las variables independientes la estimación de la biomasa y reservas de carbono.

3.5. Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron interpretados a través de análisis descriptivos simples, en función a cada una de las medias obtenidas por cada uno de los sistemas de uso de tierras evaluadas, fueron además realizados con análisis de Cluster para ver si proporciona información complementaria

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. De la biomasa

De acuerdo al análisis estadístico y su agrupación por estratos de homólogos (Cuadro 7), se puede apreciar las medias de las biomásas obtenidas en los diferentes sistemas de uso de la tierra.

Cuadro 7. Biomasa bajo cuatro sistemas de uso de la tierra ($t\ ha^{-1}$).

Componente del sistema	Sistemas			
	Cacao	Pasto	Purma	Suelo degradado
Arbustivo	0,17	6,69	2,46	8,79
Hojarasca	22,04	4,30	14,17	14,75
Planta	189,37	8,18	53,90	0,00
Total	211,58	19,17	70,53	23,54

El cacao presenta menor biomasa a nivel de especies arbustivas, alcanzando una media de $0,17\ t\ ha^{-1}$ (Cuadro 7), que fue altamente superado por el sistema que presenta el suelo degradado ($8,79\ t\ ha^{-1}$) y pasto ($6,69\ t\ ha^{-1}$), esto debido a que los cacaotales comprendidos en estas edades, no presentan especies herbáceas en grandes cantidades por la existencia de sombra y auto sombra, el cual no permite el desarrollo de los arbustos, existiendo cantidad de hojarasca y mulch.

Con respecto a las biomásas totales de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluadas, se observa que el sistema con cacao alcanzó una media de $211,58\ t\ ha^{-1}$, que fue ampliamente superior a los demás sistemas; esto

debido a la homogeneidad de la especie evaluada (1,111 plantas ha⁻¹). Seguido del sistema con purma, que también presentó especies con biotipos homogéneos, lo cual incrementó la biomasa en comparación a los demás sistemas como pastos y el de suelos degradados, que están conformados por especies herbáceas mayormente.

A nivel de los suelos degradados y pastos, se observó que las biomásas a nivel del componente arbustivo superaron a los demás sistemas, esto debido a la proliferación de las especies herbáceas que esta beneficiado por la existencia de luminosidad.

A nivel de la biomasa por especie principal de los sistemas de uso de tierra, el que alcanzó mayor media fue la especie *Theobroma cacao* L. con 189,37 t ha⁻¹, y la que no presentó ninguna media fue a nivel del sistema de suelo degradado, por que no existe especie principal de evaluación para la determinación de la fijación de carbono.

Lo cual demuestra lo manifestado Brown (1997), citado por CALLO (2000), la biomasa es el volumen total de materia orgánica sobre la tierra hallada a nivel de un árbol, arbusto, maleza o residuo vegetal, lo que permitió obtener los datos mostrados en el Cuadro 7. Para el presente trabajo se consideró componentes, epigeos de los árboles, arbustos, hierbas y plantas muertas del sistema agroforestal evaluado.

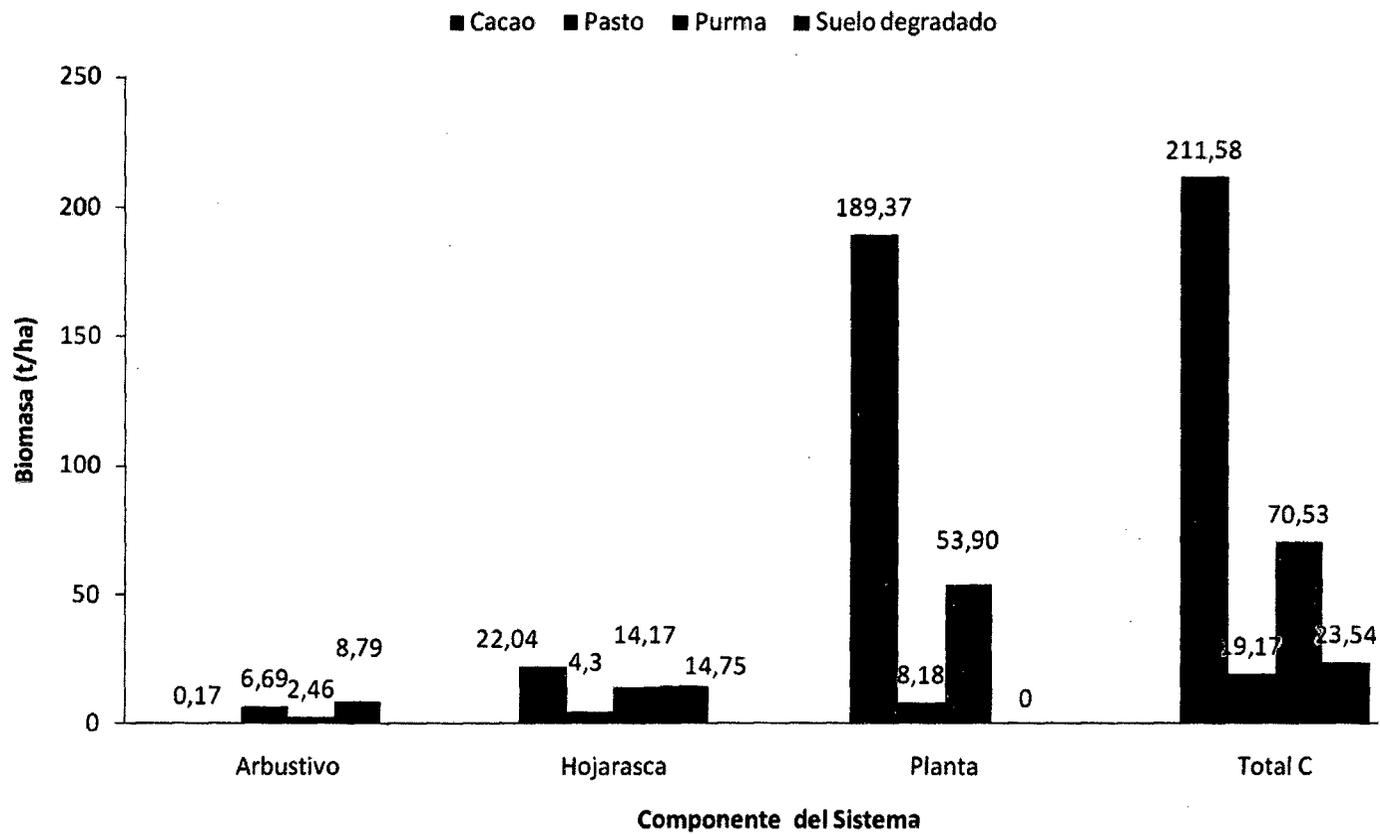


Figura 3. Biomasa de los cuatro sistemas de uso de la tierra.

El comportamiento de las diferentes biomásas evaluadas en los diferentes sistemas de uso de tierra, determinó que las mayores cantidades de biomasa aportadas al sistema provienen de las principales plantas de cada una de ellas; tal es el caso, que para la especie *T. cacao* L. la media es de 189,37 t ha⁻¹, para pasto de 8,18 t ha⁻¹ y para purma 53,90 t ha⁻¹ (Figura 3).

La biomasa o masa biológica determinada en el presente experimento, es la masa total de los seres vivos presentes en una determinada área en un momento determinado y se expresa en t ha⁻¹, concordando con IPARRAGUIRRE (2000); conociendo e identificando la biomasa en los diferentes sistemas; su cuantificación fue determinada a nivel de sus componentes como hierbas, arbustos, suelo y planta cultivadas.

De acuerdo al comportamiento de cada una de las especies, indican que el incremento de biomasa a nivel de cacao se debe a que existe una mayor cantidad de plantas homogéneas con un determinado tamaño y volumen por unidad de área, lo que ocasiona el incremento de esta medida en comparación a las demás (Figura 3). También podemos decir que existe mayor biomasa a nivel de hojarasca en el sistema de uso de tierra con cacao (22,04 t ha⁻¹), debido a que el sistema de cultivo a través del tiempo va incrementando la Biomasa y necromasa mediante actividades de podas y caída de hojas en forma natural, tanto como especie agrícola cultivada (*Theobroma cacao* L) como para la especie empleada como sombra permanente (*Inga edulis*).

4.2. Del carbono almacenado

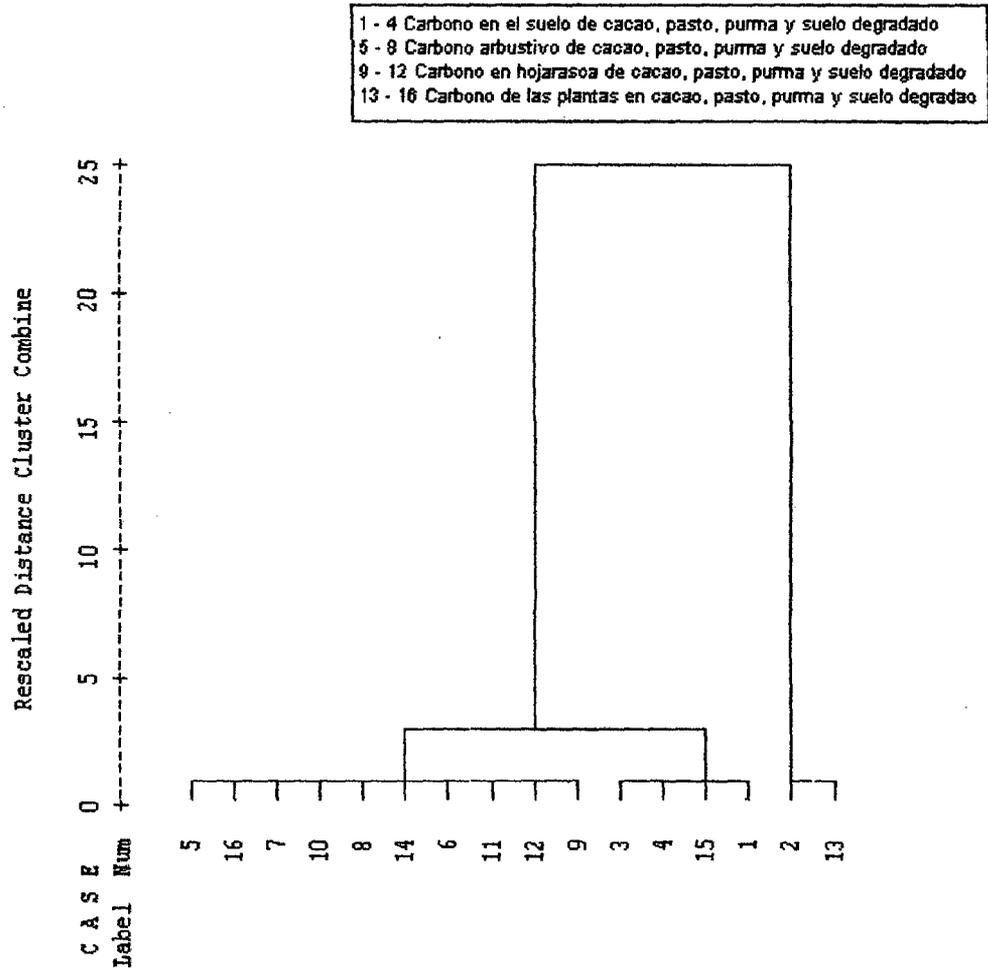


Figura 4. Dendrograma del carbono bajo cuatro sistemas de uso de la tierra.

El dendrograma de distribución de las muestras de almacenaje de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierra y en función a la homogenización por procedencia de cada una de ellas (Figura 4).

El análisis empleado fue el de Clusters, que permite reunir muestras heterogéneas y agruparlas mediante el método de Ward. Muestra la conformación de grupos, donde la varianza entre grupos es la máxima y dentro de los grupos es la mínima. Se definieron tres conglomerados de almacenaje o

fijación de carbono a nivel de los sistemas evaluados; siendo el primer conglomerado, las muestras 5, 16, 7, 10, 8, 14, 6, 11, 12 y 9; el segundo conglomerado conformado por muestras 3, 4, 15 y 1, y el tercer conglomerado por las muestras 2 y 13. El primer grupo o conglomerado se encuentra a una distancia de 3 puntos al conglomerado 2 (la distancia que va desde el origen de la escala hasta el punto 3). Por el contrario el conglomerado 3, difiere de esta distancia, ya que se funden a una distancia de 1 punto.

El almacenamiento de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierra realizado por las plantas se efectúa mediante el almacenamiento del carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo concordando con TAIZ y ZEIGER (1998).

En las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa de las diferentes especies evaluadas y de la materia orgánica se asumió el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% sin diferenciar especies arbustivas, arbóreas o herbáceas, coincidiendo con BROWN y LUGO (1984), IPCC (1996).

En la Figura 5a, se puede apreciar la dispersión mediante un agrupamiento de las muestras con las medias del carbono almacenado a nivel del componente arbustivo y por cada uno de los sistemas evaluados, siendo las muestras cacao, pastos, purma y suelo degradado, las que se distribuyen a través de las medias evaluadas, donde se aprecia una distribución por dispersión y agrupación de semejanza de contenidos de carbono.

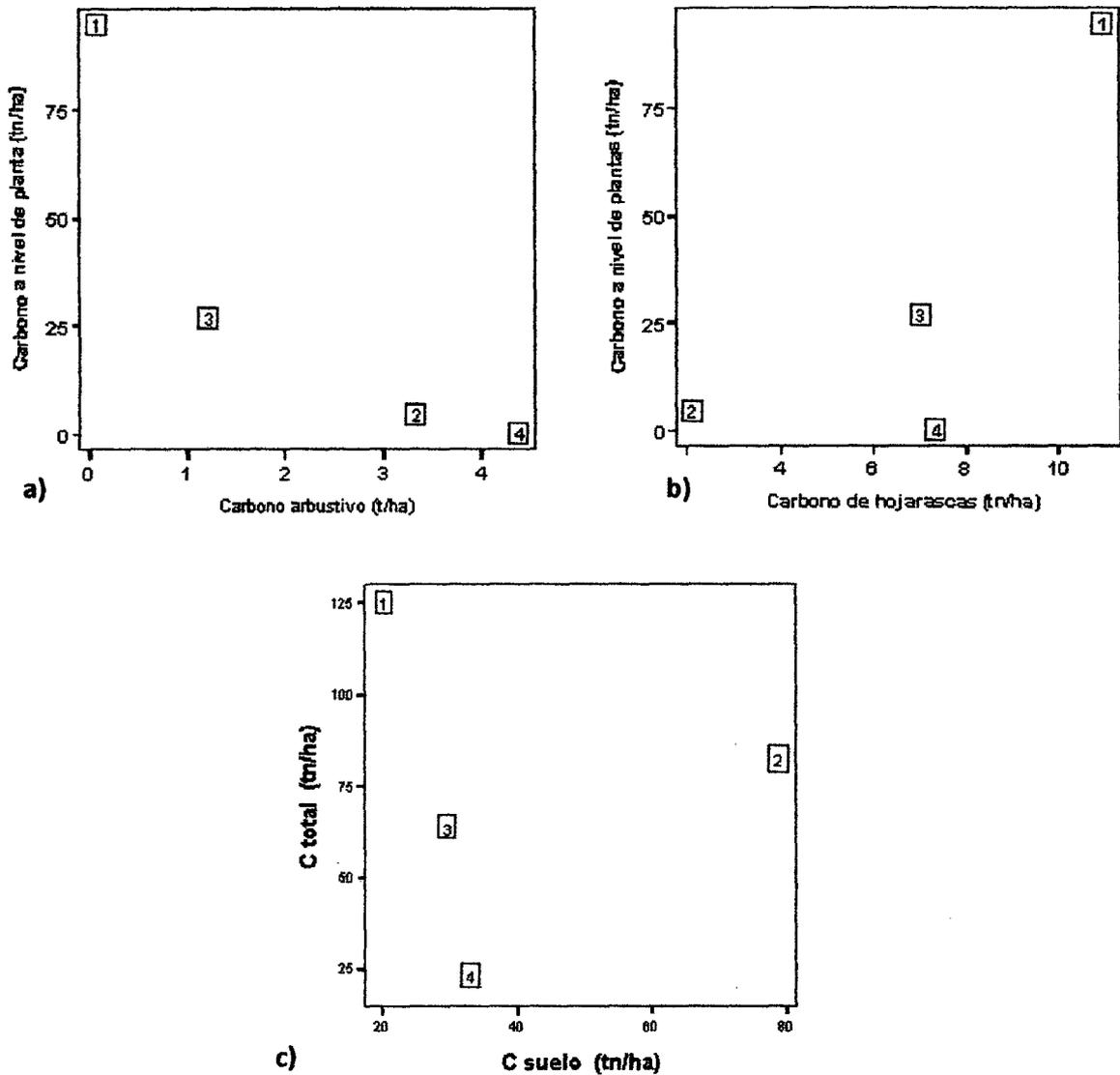


Figura 5. Diagrama de dispersión y agrupación del contenido de carbono de las muestras a nivel de sus componentes, bajo cuatro sistemas de uso de la tierra.

En la Figura 5b, se puede observar que existe tres conglomerados en la dispersión de las muestras en función al carbono total por cada sistema a nivel de la hojarasca, en donde la mayor acumulación de carbono presento la hojarasca de las plantas de cacao, mientras que las menores acumulaciones estuvieron a nivel del mismo componente pero en el sistema de pastos. Y en la

Figura 5c, las medias del contenido de carbono a nivel de suelo, mostrando una dispersión total al momento de comparar sus promedios; es decir, que el contenido de carbono estuvo en función a la especie vegetal predominante en cada uno de los diferentes sistemas. Del mismo modo se observa que a nivel de las tres dispersiones la muestra 1 alcanza medias superiores a las demás; el cual proviene del sistema comprendido con la especie *T. cacao* L.

Cuadro 8. Distribución de las cantidades de carbono almacenado en los diferentes componentes de los cuatro sistemas de uso de la tierra

Carbono (t ha⁻¹)				
	Cacao	Pasto	Purma	Suelo degradado
Suelo	19,95	79,25	30,24	32,28
Arbustivo	0,08	3,34	1,23	4,39
Hojarasca	11,02	2,15	7,08	7,37
Planta	94,68	4,09	26,95	0,00
Total C	125,74	88,83	65,51	44,28

Los contenidos de carbono en los diferentes sistemas evaluados y a nivel de cada uno de sus componentes, encontrando que el sistema de cacao alcanzó medias de 125,74 t C ha⁻¹, superando a las demás, seguida de las plantaciones de pasto y purma, todas superando al sistema de suelo degradado, que alcanzó 44,05 t C ha⁻¹; esto se puede confrontar con lo manifestado por ALBRECHT y KANDJI (2003), quienes reportan un

almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica entre 39 y 102 t C ha⁻¹ (Cuadro 8).

El carbono total almacenado del cultivo de cacao es de 101,01 t C ha⁻¹ (GONZALES, 2007), cabe explicar que estos reportes fueron obtenidos a través del empleo de ecuaciones de estimación de carbono para especies forestales, lo cual incrementa el error de estimación, mientras que para el presente trabajo se empleo ecuaciones estimadas para la especie *T. cacao* especialmente.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 6, podemos decir que el carbono almacenado a nivel del sistema agroforestal de cacao alcanzó una media de 125,82 t C ha⁻¹, superando a los demás sistemas. Concordando con lo manifestado por la FAO (1998), que en trópicos el contenido de carbono varía entre 60 y 230 t C ha⁻¹. En bosques tropicales el carbono en el suelo varía entre 60 y 115 t C ha⁻¹, y a nivel de la purma evaluada se capturó 91,635 t ha⁻¹. Sin embargo, no coincidimos con lo reportado por GONZALES (2007), que reportó un almacenamiento de carbono en el Sistema de Uso de Tierra: bolaina - pijuayo - cítrico de 138,90 t C ha⁻¹; cabe resaltar, que estos reportes provienen de un distinto protocolo de muestreo y de una estimación con ecuaciones planteadas para especies forestales sin considerar la parte radicular de las plantas evaluadas, ya que resulta completamente exagerado estos resultados, porque LAPEYRE (2004), reportó en plantaciones de cacao de 15 años 47,20 t C ha⁻¹, del mismo modo CONCHA *et. al.*, (2007), muestra resultados que varían desde 26,20 a 45,07 t C ha⁻¹ en plantaciones agroforestales de 12 años, con protocolos de muestreo para especies forestales en Juanjui.

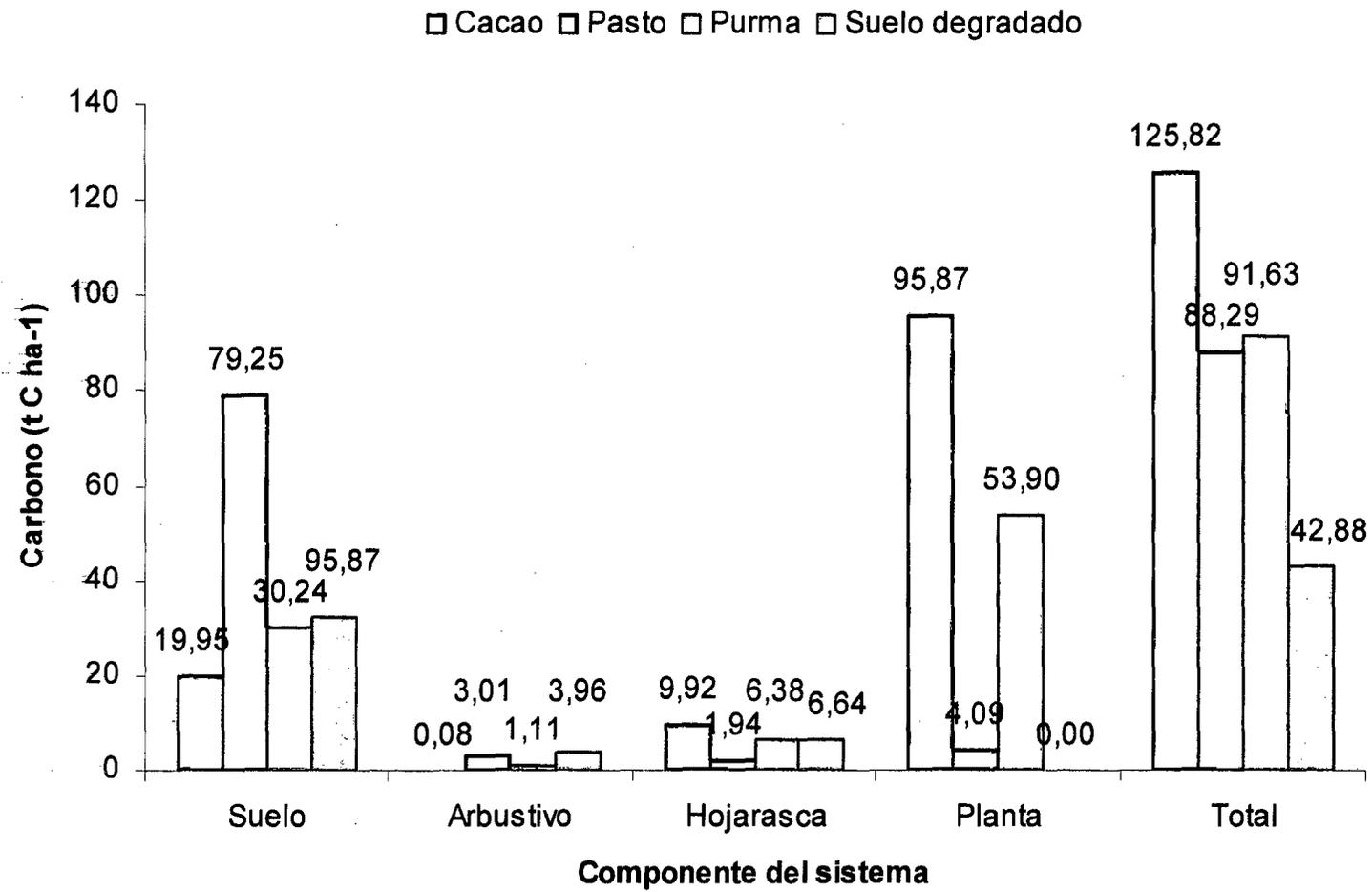


Figura 6. Medias de carbono almacenado bajo cuatro sistemas de uso de la tierra.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluyo lo siguiente:

1. La mayor acumulación de biomasa en los diferentes sistemas de uso de tierra ocurrió en plantaciones de cacao de cinco años de edad con $251,48 \text{ t ha}^{-1}$, seguido de las purmas con $131,02 \text{ t ha}^{-1}$; y las que menos biomasa presentaron fueron las plantaciones de pastos con $37,67 \text{ t ha}^{-1}$, quienes también tenían la edad de cinco años.
2. La mayor acumulación de carbono almacenado ocurre en los sistemas de cacao con $125,74 \text{ t C ha}^{-1}$, seguidos del pasto, purma y suelos degradados $88,83$, $65,51$ y $44,05 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente; cabe mencionar, que las mayores acumulaciones de carbono atmosférico se presentaron en las especies predominantes del sistema, es decir en la parte aérea, presentándose en el suelo en menores cantidades.
3. Los sistemas agroforestales de cacao y pastizales tienen un gran potencial para el almacenamiento de carbono en forma de cultivos; además de ser un sistema sostenible para mitigar el cambio de uso de suelo que ocurre en nuestra región.
4. El almacenamiento de carbono fue mayor en la biomasa arbórea de los árboles vivos en todos los sistemas evaluados.

5. Los diferentes sistemas de uso de tierra presentan biomasa heterogénea en función a las especies y al tipo de los suelos; siendo este último influyente de la predominancia y desarrollo de las especies vegetales.

VI. RECOMENDACIONES

Con fines de mitigar los problemas relacionados al presente trabajo de investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Realizar instalaciones con plantaciones agroforestales de cacao, ya que realiza un almacenamiento de carbono superior a los sistemas evaluados.
2. Continuar con trabajos similares, con el propósito de tener información acerca del almacenamiento en otros sistemas de uso de tierra y plantaciones diferentes.
3. Realizar estudios de estimación económica para realizar la valorización por el almacenamiento de carbono a nivel de cada sistema de uso de la tierra.

VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en cuatro zonas de la provincia de Leoncio Prado, ubicado en los siguientes sectores; Km 51 (cacao), en la parcela del Sr. Laura Hidalgo; el Fundo Tulumayo (Pastos), en el caserío Santa Lucía; en Los Milagros (Purma) y en el AA. HH. Buenos Aires (Suelo degradado), iniciándose en octubre 2007 hasta marzo del 2008. El objetivo fue estimar y determinar la cantidad de biomasa y su almacenamiento de carbono en cuatro sistemas de uso de la tierra; y comparar las proporciones de biomasa vegetal de las diferentes parcelas evaluadas de 5 años de edad. La metodología utilizada comprendió técnicas de estimación de carbono almacenado en los sistemas forestales es la de AREVALO *et. al.* (2003), y para sistemas agroforestales se tuvo en cuenta el IPCC (2003). El primero evalúa el diámetro a la altura de pecho (DAP) de las especies forestales, y el segundo protocolo comprende ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa de las plantas de cacao determinadas por el diámetro a 30 cm del suelo (D_{30cm}); y para el caso del carbono en el suelo, esta se obtuvo realizando calicatas para tomar muestras de los diferentes horizontes que cada sistema de uso de tierra comprendía, analizadas por el método de calcinación en laboratorio. Determinado la biomasa, se calculó el carbono almacenado mediante un factor de proporcionalidad entre la biomasa y su contenido de carbono, que fue de 0,5. Todos los datos fueron procesados con el análisis estadísticos de Clusters.

Los resultados obtenidos indican que el sistema de uso con el cultivo de cacao realiza un mayor almacenamiento de carbono a nivel de las plantaciones, alcanzando $125,74 \text{ t C ha}^{-1}$, frente a los tres sistemas de uso de tierra de la purma, suelo degradado y pasto que alcanzaron $65,51$; $24,45$ y $18,83 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente; todos los sistemas fueron de las mismas edades.

Para una mejor explicación de los resultados, se empleo el análisis de Clusters o conglomerados que agrupa muestras provenientes de diferentes parcelas para su posterior ajuste y conglomeración por semejanza de medias, la cual conforma agrupaciones donde la varianza entre grupos es la máxima y dentro de los grupos es la mínima, además del análisis descriptivo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBRECHT, A. y KANDJI, S.T. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3):15 - 27.
2. ALEGRE, J. y AREVALO, L. 1998. Determinación de las reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Pucallpa y Yurimaguas, Perú. 62 p.
3. ANDRADE, H. y SEGURA, M. 2005. Estimación de carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Salamanca, Turrialba. Costa Rica. 104 p.
4. ARÉVALO, L.; ALEGRE, J. y 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. Edición gráfica Miguel Álvarez A. Pucallpa, Perú. 24 p.
5. ASUMADU, K. 1998. Actualidad forestal tropical. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (Japón). Boletín Volumen 6, Número 4. 32 p.
6. BARBARAN, G. 2000. Determinación de biomasa y carbón en los principales usos de la tierra en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. 54 p.
7. BROWN, S. y LUGO A. 1984. Biomass of Tropical Forest: a New Estimate Based on Forest Volumes. *Science* 223: 1290-1293

8. BUDOWSKI, G. 1999. Secuestro de carbono gestión forestal en América tropical. Bosque y desarrollo. Costa Rica. Pág. 17 - 21.
9. CALLO, D. 2000. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. Tesis M. Sc. Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
10. CATIE. 2005. Allometric models for biomass estimation in secondary forests, San Carlos municipal district, Nicaragua. Proyecto Cambio de uso de la tierra y flujos de carbono para Centroamérica. CATIE-Universidad de Helsinki (Finlandia). En preparación. 150 p.
11. CATRIONA, P. 1998. Actualidad forestal tropical. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (Japón). Boletín Volumen 6, Número 4. 32 p.
12. CENTRO INTERNACIONAL PARA LA INFORMACIÓN EN AGROFORESTERIA. 1998. Respuesta a nuevas demandas tecnológicas, fortalecimiento de la investigación en agroindustria y el manejo de recursos naturales. Pucallpa, Perú. 50 p.
13. CHAMBI, P. 2001. Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicados a la zona del Río Inambari y Madre de Dios. Perú. 54 p.
14. COLLAZOS, M. 2004. Determinación de biomasa aérea y estimulación de carbono. Tarapoto - San Martín, Perú. 54 p.

15. CONCHA, J.; ALEGRE, J. y POCOMUCHA, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 86 p.
16. CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE. 1999a. Perú, vulnerabilidad frente al cambio climático aproximaciones a la experiencia con el fenómeno el Niño. Lima, Perú. 209 p.
17. CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE. 1999b. Cambio climático y desarrollo sostenible en el Perú. Lima, Perú. 27 p.
18. FAO. 1998. Agroforestería para la producción animal en América Latina. www.fao.org/documentos. 22 de Abril del 2009.
19. FONAM. 2004. Secuestro de carbono. Fondo Nacional del Ambiente - Perú. <http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro>. 16 Marzo del 2008.
20. FONDO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2003. Cambio climático. [En línea]:FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/cambio.as> 15 Marzo).
21. GONZALES, M. 2007. Capacidad de captura de carbono en los distintos sistemas de uso de la tierra en el campo experimental de Tulumayo - Leoncio Prado. Tesis Ing. en Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Perú. 101 p.

22. GUZMAN, W. y AREVALO, L. 2003. Servicios ambientales de almacenamiento de carbono activo para el desarrollo en la Amazonía Peruana: Avances y retos. *In*. Seminario Permanente de Investigación Agraria. (10, 2003. Pucallpa, Perú). 16 p.
23. HERNANDEZ, L. 2001. Densidad de biomasa aérea en bosques extensos del neotrópico. México. 28 p.
24. IPARRAGUIRRE, L. 2000. Ecología. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima. Perú. 39 - 42 p.
25. IPCC. 1996. Intergovernmental panel on climate change. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. México city. 75 p.
26. IPCC. 2003. National Greenhouse Gas Inventories Programme Intergovernmental. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. In IPCC Good Practice Guidance for Land-use, Change and Forestry. Chapter 4: Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Panel on Climate Change. Eds. Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. p: 4. 113 - 116.
27. LAPEYRE, T. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San

- Martín. Tesis M. Sc. Gestión Ambiental con campo complementario en Bosques y Gestión de Recursos Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 110 p.
28. LUDEVIA, A.M. 1997. El cambio global en el medio ambiente. Introducción a sus causas humanas. Edit. Alfa y Omega. México. 97 p.
 29. MALCA, J.P. 2001. Carbono en sistemas agroforestales. Estudio de cuantificación de carbono en Costa Rica. 102 p.
 30. NASI, R.; WUNDER, S. y CAMPOS, J. 2002. Servicios de los ecosistemas forestales ¿Podrían ellos pagar para detener la deforestación?. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico N°331. 37 p.
 31. ROBERT, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. [En línea]: FAO, <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2779S/y2779s00.htm#Contents> (Noviembre 2006).
 32. TAIZ, L. y ZEIGER., E. 1998. Plant physiology. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers. Brasil. 32 p.

IX. ANEXO

Cuadro 9. Contenido de carbono en los diferentes sistemas.

Horizontes	Cacao	Pasto	Purma	Suelo degradado
1	59,32	64,40	10,14	18,35
2	18,77	103,52	13,03	18,66
3	6,19	90,18	42,27	42,85
4	9,36	69,77	55,54	49,27
5	22,12	68,38		
6	3,95			

Cuadro 10. Contenido de biomasa y carbono de los sistemas evaluados.

Contenido de biomasa/sistema (t ha⁻¹)				
Componente	Cacao	Pasto	Purma	Suelo degradado
Arbustivo	0,17	6,69	2,46	8,79
Hojarasca	22,04	4,30	14,17	14,75
Planta	189,36	8,18	53,90	0,00
Total	211,57	19,17	70,52	23,54
Contenido de carbono/sistema (t ha⁻¹)				
Suelo	19,95	79,25	30,25	32,28
Arbustivo	0,085	3,35	1,23	4,40
Hojarasca	11,02	2,15	7,08	7,38
Planta	94,68	4,09	26,95	0,00
Total C	125,74	18,84	65,51	24,45

Cuadro 11. Diámetro y biomasa de las plantas de cacao (transecto I)

Nº	Nombre común	DAP	BA (kg árbol⁻¹)
1	Cacao	9,15	32,06
2	Cacao	15,28	117,25
3	Cacao	10,03	40,39
4	Cacao	9,23	32,77
5	Cacao	7,64	20,30
6	Cacao	8,28	24,86
7	Cacao	11,30	54,66
8	Cacao	5,63	9,40
9	Cacao	6,05	11,24
10	Cacao	6,21	12,00
11	Cacao	7,32	18,23
12	Cacao	17,51	165,45
13	Cacao	7,32	18,23
14	Cacao	9,23	32,77
15	Cacao	10,66	47,20
16	Cacao	8,12	23,67
17	Cacao	14,32	99,58
18	Cacao	7,64	20,30

Cuadro 12. Diámetro y biomasa de las plantas de cacao (transecto II)

Nº	Nombre común	DAP	BA (kg árbol⁻¹)
1	Cacao	8,59	27,35
2	Cacao	7,19	17,44
3	Cacao	15,28	117,25
4	Cacao	8,91	29,98
5	Cacao	15,28	117,25
6	Cacao	11,14	52,73
7	Cacao	11,78	60,69
8	Cacao	12,41	69,34
9	Cacao	12,41	69,34
10	Cacao	7,23	17,63
11	Cacao	-	-
12	Cacao	10,82	49,00
13	Cacao	16,01	131,99
14	Cacao	9,64	36,61
15	Cacao	17,19	157,95
16	Cacao	11,36	55,44
17	Cacao	10,66	47,20
18	Cacao	14,64	105,28

Cuadro 13. Diámetro y biomasa de las plantas de cacao (transecto III)

Nº	Nombre común	DAP	BA (kg árbol⁻¹)
1	Cacao	8,28	24,86
2	Cacao	6,27	12,32
3	Cacao	9,61	36,31
4	Cacao	9,07	31,36
5	Cacao	16,23	136,68
6	Cacao	12,41	69,34
7	Cacao	9,14	31,92
8	Cacao	15,34	118,49
9	Cacao	12,73	73,92
10	Cacao	13,43	84,64
11	Cacao	3,28	2,39
12	Cacao	8,28	24,86
13	Cacao	7,42	18,84
14	Cacao	9,23	32,77
15	Cacao	8,75	28,65
16	Cacao	9,55	35,70
17	Cacao	8,28	24,86
18	Cacao	7,48	19,25

Cuadro 14. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de uso con cacao

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	65,30	39,16	9,12	0,15	0,18
1	2	83,54	46,66	11,28	0,20	
2	1	185,13	100,99	8,30	0,15	0,14
2	2	102,46	71,84	8,28	0,12	
3	1	113,18	73,30	9,51	0,15	0,19
3	2	154,20	80,31	12,52	0,24	
Promedio					0,17	0,17

Tran. = Parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de la biomasa arbustiva/herbacea

PFM = Peso fresco de la biomasa arbustiva/herbacea

PSM = Peso seco de la biomasa arbustiva/herbacea

Cuadro 15. Biomasa de hojarasca del sistema de uso con cacao

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	1900,00	202,41	85,70	32,18	19,45
1	2	249,17	126,32	85,22	6,72	
2	1	2650,00	254,72	80,50	33,50	32,95
2	2	2420,00	274,91	92,00	32,39	
3	1	620,80	171,22	85,73	12,43	13,72
3	2	710,40	180,10	95,05	15,00	
Promedio					22,04	22,04

Tran. = Número de parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de hojarasca por 0.25 m²

PFM = Peso fresco de la muestra de hojarasca

PSM = Peso seco de la muestra de hojarasca

Cuadro 16. Contenido de carbono del suelo en el sistema del cultivo de cacao

Tran.	Calicata	Prof. (cm)	Hz	Ps (m)	VCH (cc)	Peso crisol	Crisol + muestra	Crisol + ceniza	DA (g/cc)	Materia orgánica	% C orgánico	% C	T C ha ⁻¹
1	1	0-13	A	0,13	95,42	17,84	18,77	18,68	1,35	0,0583	5,83	3,39	59,32
1	1	13-24	CA	0,11	95,42	16,72	17,76	17,70	1,41	0,0209	2,09	1,21	18,77
1	1	24-41	C1	0,17	95,42	18,00	19,04	19,00	1,30	0,0048	0,48	0,28	6,19
1	1	41-80	C2	0,39	95,42	17,14	18,14	18,14	1,20	0,0034	0,34	0,2	9,36
1	1	80-112	C3	0,32	95,42	21,27	22,29	22,26	1,28	0,0093	0,93	0,54	22,12
1	1	112-130	C4	0,18	95,42	17,41	18,41	18,41	1,22	0,0031	0,31	0,18	3,95
												Prom..	19,95

Cuadro 17. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de uso con pasto

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	3242,00	203,04	41,70	6,66	8,81
1	2	3400,00	155,92	50,26	10,96	
2	1	2300,00	169,94	48,14	6,52	6,61
2	2	1832,00	95,13	34,77	6,70	
3	1	2132,00	184,44	53,17	6,15	4,64
3	2	1332,00	259,44	61,22	3,14	
Promedio					6,69	6,69

Tran. = Parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de la biomasa arbustiva/herbácea

PFM = Peso fresco de la biomasa arbustiva/herbácea

PSM = Peso seco de la biomasa arbustiva/herbácea

Cuadro 18. Biomasa de hojarasca del sistema de uso con pasto

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	550,00	243,53	60,42	5,46	5,61
1	2	303,98	140,38	66,45	5,76	
2	1	208,63	114,02	52,06	3,81	3,78
2	2	354,44	163,76	43,28	3,75	
3	1	276,44	159,44	59,08	4,10	3,52
3	2	167,44	110,44	48,54	2,94	
Promedio					4,30	4,30

Tran. = Número de parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de hojarasca por 0.25 m²

PFM = Peso fresco de la muestra de hojarasca

PSM = Peso seco de la muestra de hojarasca

Cuadro 19. Contenido de carbono del suelo en el sistema del cultivo de pastos

Tran.	Calicata	Prof. (cm)	Hz	Ps (m)	VCH (cc)	Peso crisol	Crisol + muestra	Crisol+ ceniza	DA (g/cc)	Materia orgánica	% C orgánico	% C	T Cha ⁻¹
1	1	0-17	A	0,17	95,42	17,13	18,14	18,08	1,23	0,05	5,31	3,08	64,4
1	1	17-46	CA	0,29	95,42	17,95	18,95	18,93	1,21	0,05	5,08	2,95	103,52
1	1	46-73	C1	0,27	95,42	17,30	18,31	18,25	1,17	0,04	4,94	2,86	90,18
1	1	73-103	C2	0,30	95,42	18,12	19,17	19,09	1,14	0,03	3,51	2,04	69,77
1	1	103-110	C3	0,70	95,42	17,80	18,84	18,79	1,11	0,01	1,52	0,88	68,38
												Prom.	79,25

Cuadro 20. Especies, diámetros y biomásas de las plantas de la purma evaluada (transecto I)

Nº	Especie	DAP (cm)	BA (kg árbol ⁻¹)	BA (t ha ⁻¹)
1	Leche caspi	9,04	31,08	3,11
2	Leche caspi	5,89	10,51	1,05
3	Cordoncillo	4,46	5,19	0,52
4	Cordoncillo	5,25	7,87	0,79
5	Cordoncillo	3,60	3,02	0,30
6	Cordoncillo	2,71	1,47	0,15
7	Cordoncillo	4,77	6,18	0,62
8	Cordoncillo	4,46	5,19	0,52
9	Cordoncillo	4,14	4,30	0,43
10	Cordoncillo	3,82	3,51	0,35
11	Cordoncillo	2,99	1,89	0,19
12	Cordoncillo	2,61	1,34	0,13
13	Cicahuito	5,57	9,13	0,91
14	Cordoncillo	4,14	4,30	0,43
15	Cordoncillo	4,93	6,72	0,67
16	Ocuera	5,41	8,48	0,85
17	Ocuera	6,88	15,55	1,55
18	Ocuera	3,95	3,82	0,38
19	Cordoncillo	2,67	1,43	0,14
20	Cordoncillo	2,93	1,79	0,18
21	Cordoncillo	2,86	1,70	0,17
22	Cicahuito	6,37	12,80	1,28
23	Ocuera	7,48	19,25	1,92
24	Cordoncillo	2,86	1,70	0,17
25	Cordoncillo	2,67	1,43	0,14

26	Ocuera	7,80	21,39	2,14
27	Ocuera	5,06	7,16	0,72
28	Ocuera	5,41	8,48	0,85
29	Cordoncillo	3,06	2,00	0,20
30	Cordoncillo	3,34	2,51	0,25
31	Cordoncillo	2,86	1,70	0,17
32	Cordoncillo	4,62	5,67	0,57
33	Cordoncillo	3,34	2,51	0,25
34	Cordoncillo	3,76	3,37	0,34
35	Ocuera	7,77	21,17	2,12
36	Cordoncillo	2,55	1,26	0,13
37	Cordoncillo	4,87	6,50	0,65
38	Yanabarilla	2,55	1,26	0,13
39	Ocuera	6,21	12,00	1,20
40	Ishanga	4,27	4,65	0,46
41	Ishanga	3,18	2,22	0,22
42	Achiotillo	2,86	1,70	0,17
43	Ocuera	4,23	4,56	0,46
44	Ocuera	3,82	3,51	0,35
45	Ocuera	3,92	3,74	0,37
46	Ocuera	3,82	3,51	0,35
47	Ocuera	4,46	5,19	0,52
48	NN	3,50	2,82	0,28
Total			306,40	30,64

Cuadro 21. Especies, diámetros y biomásas de las plantas de la purma evaluada (transecto II)

Nº	Especie	DAP (cm)	BA (kg árbol ⁻¹)	BA (t ha ⁻¹)
1	Cordoncillo	8,41	25,89	2,59
2	Shimbillo	6,38	12,87	1,29
3	Cordoncillo	5,10	7,30	0,73
4	Cordoncillo	6,24	12,17	1,22
5	Cordoncillo	3,60	3,03	0,30
6	Cicahuito	4,82	6,33	0,63
7	Cordoncillo	3,25	2,34	0,23
8	Cordoncillo	3,14	2,14	0,21
9	Quillosisa	4,80	6,26	0,63
10	Pashaco	3,49	2,80	0,28
11	Cordoncillo	4,35	4,88	0,49
12	Cordoncillo	5,60	9,25	0,93
13	Cordoncillo	3,86	3,61	0,36
14	Ishanga	3,92	3,75	0,38
15	Leche caspi	4,61	5,66	0,57
16	Ocuera	4,50	5,32	0,53
17	Quillosisa	6,59	13,97	1,40
18	Cordoncillo	3,10	2,07	0,21
19	Cordoncillo	2,83	1,65	0,16
20	Cordoncillo	3,31	2,45	0,24
21	Cordoncillo	4,60	5,63	0,56
22	Cordoncillo	3,15	2,16	0,22
23	Cicahuito	6,52	13,60	1,36
24	Ocuera	3,64	3,11	0,31
25	Cordoncillo	6,14	11,68	1,17

26	Cordoncillo	3,20	2,25	0,22
27	Ocuera	4,26	4,63	0,46
28	Achiotillo	3,81	3,49	0,35
29	Palo blanco	5,13	7,41	0,74
30	Shimbillo	3,17	2,19	0,22
31	Cordoncillo	3,14	2,14	0,21
32	Ocuera	8,42	25,97	2,60
33	Cordoncillo	3,69	3,23	0,32
34	Cordoncillo	3,02	1,95	0,19
35	Ocuera	3,10	2,07	0,21
36	Palo blanco	2,76	1,54	0,15
37	Cordoncillo	3,15	2,16	0,22
38	Cicahuito	6,40	12,97	1,30
39	Ocuera	8,92	30,05	3,00
40	Quillosisa	9,41	34,40	3,44
41	Quillosisa	7,00	16,29	1,63
42	Quillosisa	4,52	5,38	0,54
43	Ocuera	3,10	2,07	0,21
44	Ocuera	6,93	15,86	1,59
45	Cordoncillo	5,21	7,71	0,77
46	Cordoncillo	3,40	2,62	0,26
Total			359,39	35,94

Cuadro 22. Especies, diámetros y biomásas de las plantas de la purma evaluada (transecto III)

Nº	Especie	DAP (cm)	BA (kg árbol ⁻¹)	BA (t ha ⁻¹)
1	Leche caspi	7,16	17,24	1,72
2	Yarina	6,46	13,29	1,33
3	Cordoncillo	6,21	12,00	1,20
4	Cordoncillo	6,49	13,46	1,35
5	Ocuera	3,31	2,45	0,24
6	Ocuera	5,03	7,05	0,70
7	Ocuera	3,28	2,39	0,24
8	Quillosisa	2,96	1,84	0,18
9	Cordoncillo	3,98	3,90	0,39
10	Ocuera	3,98	3,90	0,39
11	Ocuera	4,30	4,73	0,47
12	Cordoncillo	4,46	5,19	0,52
13	Cordoncillo	4,14	4,30	0,43
14	Cordoncillo	4,14	4,30	0,43
15	Ishanga	4,46	5,19	0,52
16	Leche caspi	4,84	6,39	0,64
17	Ocuera	4,01	3,98	0,40
18	Quillosisa	7,86	21,83	2,18
19	Cordoncillo	3,09	2,05	0,21
20	Cordoncillo	3,63	3,09	0,31
21	Cordoncillo	3,57	2,95	0,30
22	Cordoncillo	3,82	3,51	0,35
23	Cordoncillo	3,82	3,51	0,35
24	Cordoncillo	3,82	3,51	0,35
25	Cicahuito	6,75	14,83	1,48

26	Cordoncillo	3,06	2,00	0,20
27	Cordoncillo	2,55	1,26	0,13
28	Cordoncillo	3,31	2,45	0,24
29	Ocuera	5,73	9,80	0,98
30	Ocuera	4,77	6,18	0,62
31	Achiotillo	4,62	5,67	0,57
32	Palo blanco (purma caspi)	6,05	11,24	1,12
33	Cordoncillo	7,00	16,29	1,63
34	Cordoncillo	2,86	1,70	0,17
35	Cordoncillo	6,11	11,54	1,15
36	Cordoncillo	3,18	2,22	0,22
37	Ocuera	10,50	45,44	4,54
38	Ishanga	3,69	3,23	0,32
39	Ishanga	3,02	1,95	0,19
40	Cordoncillo	2,99	1,89	0,19
41	Palo blanco (purma caspi)	2,86	1,70	0,17
42	Cordoncillo	3,98	3,90	0,39
43	Ocuera	7,07	16,67	1,67
44	Ocuera	8,12	23,67	2,37
45	Quillosisa	10,57	46,14	4,61
46	Quillosisa	7,00	16,29	1,63
47	Tabaco caspi	3,98	3,90	0,39
48	Shimbillo	2,71	1,47	0,15
49	Tigre ishanga	4,14	4,30	0,43
50	Tabaco caspi	2,71	1,47	0,15
Total			412,21	41,22

Cuadro 23. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de uso con purma

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	1000,00	500,00	118,30	2,37	2,60
1	2	1430,00	500,00	98,90	2,83	
2	1	825,00	500,00	131,40	2,17	2,32
2	2	1350,00	500,00	91,50	2,47	
3	1	1286,20	500,00	115,62	2,97	2,47
3	2	894,50	500,00	109,80	1,96	
Promedio					2,46	2,46

Tran. = Parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de la biomasa arbustiva/herbacea

PFM = Peso fresco de la biomasa arbustiva/herbacea

PSM = Peso seco de la biomasa arbustiva/herbacea

Cuadro 24. Biomasa de hojarasca del sistema de uso con purma

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	1925,20	500,00	115,10	17,73	18,47
1	2	1975,10	500,00	121,60	19,21	
2	1	525,80	500,00	245,10	10,31	9,88
2	2	850,00	500,00	139,00	9,45	
3	1	841,50	500,00	186,40	12,55	14,16
3	2	1290,60	500,00	152,70	15,77	
Promedio					14,17	14,17

Tran. = Número de parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de hojarasca por 0.25 m²

PFM = Peso fresco de la muestra de hojarasca

PSM = Peso seco de la muestra de hojarasca

Cuadro 25. Contenido de carbono del suelo en el sistema de uso con purmas

Tran.	Calicata	Prof. (cm)	Hz	Ps (m)	VCH (cc)	Peso crisol	Crisol + muestra	Crisol + ceniza	DA (g/cc)	Materia orgánica	% C orgánico	% C	T C ha ⁻¹
1	1	0-13	A	0,13	95,42	18,59	19,60	19,57	0,52	0,02	2,59	1,50	10,14
1	1	13-30	CA	0,17	95,42	16,78	17,78	17,75	0,98	0,02	2,3	1,33	13,03
1	1	30-63	C1	0,33	95,42	18,07	19,07	19,05	1,22	0,01	1,71	0,99	42,27
1	1	63-100	C2	0,37	95,42	17,94	18,94	18,93	1,15	0,01	1,05	0,61	55,54
												Prom.	30,24

Cuadro 26. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema de un suelo degradado

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	1532,00	273,94	136,91	7,66	6,51
1	2	1432,00	229,64	86,02	5,36	
2	1	1532,00	322,46	126,25	6,00	6,92
2	2	1932,00	301,99	122,48	7,84	
3	1	1832,00	394,48	190,39	8,84	12,95
3	2	5032,00	310,93	105,44	17,06	
Promedio					8,79	8,79

Tran. = Parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de la biomasa arbustiva/herbácea

PFM = Peso fresco de la biomasa arbustiva/herbácea

PSM = Peso seco de la biomasa arbustiva/herbácea

Cuadro 27. Biomasa de hojarasca del sistema de uso en un suelo degradado

Tran.	Mues.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Prom./Tran.
1	1	139,01	90,83	45,23	2,77	2,91
1	2	116,45	70,45	46,00	3,04	
2	1	115,74	93,99	52,02	2,56	7,06
2	2	579,59	197,69	98,54	11,56	
3	1	1432,00	213,14	71,86	19,31	34,30
3	2	2532,00	111,69	54,35	49,28	
Promedio					14,75	14,75

Tran. = Número de parcela o transecto

PFT = Peso fresco total de hojarasca por 0.25 m²

PFM = Peso fresco de la muestra de hojarasca

PSM = Peso seco de la muestra de hojarasca

Cuadro 28. Contenido de carbono del suelo en el sistema de uso con suelo degradado

Tran.	Calicata	Prof. (cm)	Hz	Ps (m)	VCH (cc)	Peso crisol	Crisol + muestra	Crisol + ceniza	DA (g/cc)	Materia orgánica	% C orgánico	% C	T C ha ⁻¹
1	1	0-11	A	0,11	95,42	18,13	19,13	19,10	1,03	0,02	2,79	1,62	18,35
1	1	11-28	BA	0,17	95,42	14,86	15,86	15,84	0,98	0,01	1,93	1,12	18,66
1	1	28-69	B1	0,41	95,42	18,36 *	19,36	19,35	1,1	0,01	1,64	0,95	42,85
1	1	69-120	B2	0,51	95,42	17,55	18,56	18,54	1,15	0,01	1,45	0,84	49,27
												Prom.	32,28