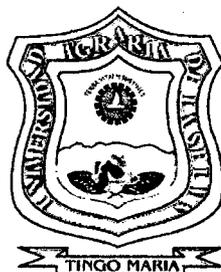


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO ALMACENADO  
EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO  
(*Theobroma cacao* L.) DE DIFERENTES EDADES EN LA  
PROVINCIA DE LEONCIO PRADO”**

***TESIS***

**Para optar el título de**

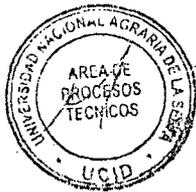
**INGENIERO AGRÓNOMO**

**JORDAN BERTONI HERRERA ARANDA**

**PROMOCIÓN 2006 – I**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2010**



P07

H44

Herrera Aranda, Jordan B.

Estimación de la Biomasa y Carbono Almacenado en dos Sistemas Agroforestales de Cacao (*Theobroma cacao* L.) de Diferentes Edades en la Provincia de Leoncio Prado. Tingo María, 2010

93 h.; 14 cuadros; 30 fgrs.; 55 ref.; 30 cm.

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

THEOBROMA CACAO L. / ALMACENAMIENTO-CARBONO / CULTIVO  
CACAO / SISTEMAS AGROFORESTALES / METODOLOGÍA / TINGO  
MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.

## DEDICATORIA

A mis padres: **Santos** y **Luisa**, con todo el amor y cariño de siempre; mi eterno agradecimiento a quienes con su sacrificio y comprensión hicieron posible mi formación profesional.

A mis hermanos **Rivelino** y **Anderson**, por todo el apoyo, sacrificio y amor brindado todos estos años.

A **Tania Milagros** con mucho amor y cariño, por brindarme su amor y comprensión.

A mi sobrino **Yarid**, por ser la alegría de mi familia.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por haberme dado la oportunidad de realizar mi formación profesional.
- Al Ing. Jaime Chavéz Matías, docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su apoyo y ayuda como asesor del presente trabajo.
- A mi co-asesor el Ph.D. Hernán J. Andrade, investigador del CATIE, por su apoyo, orientación y recomendaciones para desarrollar el presente trabajo.
- Al Ing. Raúl Alberto Lescano López, por su apoyo y sabios consejos que me orientaron a mejorar cada día y esforzarme por ser mejor.
- Al Ing. Uladislao Rodríguez Del Águila, por brindarme su apoyo y experiencia como persona y profesional.
- A los miembros integrantes del Jurado de Tesis: Dr. Rolando Ríos Ruiz, M.Sc Wilfredo Zavala Solórzano, M.Sc José L. Gil Bacilio, por sus sabios consejos para mejorar el trabajo de investigación.
- A Santos Huamán Félix, por su apoyo brindado durante la finalización de mi carrera profesional.
- A Lady, Karen y Leonard, por su apoyo y comprensión durante mi formación profesional.

## INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCION .....	12
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	14
2.1. Cambio climático.....	14
2.2. Secuestro de carbono en los sistemas agroforestales.....	17
2.2.1. Secuestro de carbono por las plantas .....	21
2.2.2 Carbono orgánico en el suelo.....	24
2.2.3. Biomasa y carbono.....	24
2.3. Generalidades de las especies en estudio.....	26
2.3.1. <i>Theobroma cacao</i> L. ....	26
2.3.2 <i>Inga edulis</i> Mart.....	29
2.3.3 <i>Guazuma crinita</i> Lam. ....	31
2.4. Metodología de captura de carbono para el sistema agroforestal con cacao.....	32
2.4.1. Estimación de la biomasa arriba del suelo .....	32
2.4.2. Ecuaciones para la estimación de biomasa y captura de carbono para el cultivo de cacao.....	35
2.5. Contenido de carbono en cacaotales (trabajos realizados) .....	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
3.1. Características de la zona de estudio .....	41
3.1.1. Ubicación geográfica promedio de Tingo María.....	41
3.1.2. Clima .....	41
3.1.3. Antecedentes de la zona de estudio .....	42

3.2. Componentes en estudio .....	43
3.3. Análisis estadístico.....	44
3.4. Metodología y parámetros registrados.....	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	49
4.1. Biomasa y carbono almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + guaba .....	49
4.1.1. Biomasa del SAF cacao + guaba .....	49
4.1.2. Carbono del SAF cacao + guaba .....	54
4.2. Biomasa y carbono almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + bolaina en plantaciones de tres edades .....	68
4.2.1. Biomasa del SAF cacao + bolaina.....	68
4.2.2. Carbono del SAF cacao + bolaina.....	72
V. CONCLUSIONES .....	80
VI. RECOMENDACIONES .....	82
VII. RESUMEN .....	83
VIII. BIBLIOGRAFIA .....	85
IX. ANEXO.....	93

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Carbono almacenado por nivel de carbono en biomasa total para los sistemas agroforestales con cacao en Talamanca (Costa Rica).	37
2. Flujo anual de carbono y CO <sub>2</sub> equivalente en diferentes sistemas...	39
3. Niveles de CO <sub>2</sub> equivalente capturado por los sistemas evaluados en Costa Rica.....	40
4. Total de fincas y parcelas por tipo de sistemas.....	43
5. Promedios de carbono almacenado por el sistema agroforestal cacao + guaba en la provincia de Leoncio Prado.....	67
6. Centroídes de los conglomerados iniciales y finales del carbono almacenado en el SAF cacao + guaba.....	68
7. Promedios de carbono almacenado por la asociación agroforestal cacao + bolaina.....	77
8. Centroídes de los conglomerados iniciales y finales del carbono almacenado en el SAF cacao + bolaina.....	79
9. Biomasa del SAF cacao + guaba a nivel de tres edades de plantación.....	94
10. Biomasa del SAF cacao + bolaina a nivel de plantaciones de tres edades.....	95
11. Historial de conglomeración de distancias del carbono almacenado en el SAF cacao + guaba.....	97
12. Historial de conglomeración de distancias del carbono almacenado en el SAF cacao + bolaina.....	98

13. Carbono del SAF cacao + guaba a nivel de plantaciones de tres edades.....	106
14. Carbono del SAF cacao + bolaina a nivel de plantaciones de tres edades.....	107

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1. Ubicación del sitio experimental .....	42
2. Parcela de muestreo tipo anidada, para el inventario de biomasa y carbono en el sistema de cacao + guaba y cacao + bolaina. ....	46
3. Parcela de muestreo tipo anidada, para el inventario de biomasa y carbono en hojarasca y suelo en un sistema agroforestal con cacao.....	47
4. Relación y dispersión de la biomasa total en el SAF cacao + guaba de cada uno de los componentes en tres edades de plantación.....	51
5. Relación y dispersión del C almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + guaba en un rango de tres edades de plantación.....	56
6. Dendograma de clasificación del contenido de carbono almacenado de las 30 parcelas evaluadas en el SAF cacao CCN – 51 + guaba, en tres edades de plantaciones en la provincia de Leoncio Prado. ....	59
7. Promedios de la estimación del carbono almacenado por el SAF cacao + guaba en plantaciones de tres edades. ....	63
8. Relación y dispersión de la biomasa aérea total en el SAF cacao + bolaina en plantaciones de tres edades. ....	71
9. Relación y dispersión del carbono almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.....	73

10. Promedios de la estimación del carbono almacenado por el SAF cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.....	74
11. Dendograma de clasificación del carbono almacenado de las 9 muestras evaluadas en el SAF cacao CCN – 51 + bolaina en plantaciones de tres edades.....	78
12. Promedios de la estimación de la biomasa del SAF cacao + guaba en plantaciones de tres edades.....	96
13. Promedios de la estimación de la biomasa del SAF cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.....	96
14. Dendograma de agrupación de la biomasa del SAF cacao + guaba	98
15. Dendograma de agrupación de la biomasa del SAF cacao + bolaina.....	99
16. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + guaba, del componente: planta de cacao.....	99
17. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + guaba, del componente: arbustos.....	100
18. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + guaba, del componente: hojarasca.....	100
19. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + guaba, del componente: raíces.....	101

20. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + guaba, del componente: guaba.....	101
21. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + guaba, del componente: suelo .....	102
22. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: planta de cacao. ....	102
23. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: arbusto.....	103
24. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: hojarasca .....	103
25. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: raíces cacao .....	104
26. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: bolaina .....	104
27. Dendograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: suelo .....	105

28.	Evaluación del diámetro a 30 cm del suelo del cacao en el sistema agroforestala cacao + guaba de 4 – 5 años de edad. ....	107
29.	Evaluación del diámetro a 30 cm del suelo del cacao en el sistema agroforestala cacao + guaba de 3 – 4 años de edad. ....	108
30.	Evaluación del diámetro a la altura de pecho de la bolaina en el sistema agroforestala cacao + bolaina de 3 – 4 años de edad.....	108

## I. INTRODUCCION

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera de la tierra es una preocupación mundial y se considera como uno de los seis principales gases que intervienen en el efecto invernadero (además del vapor de agua, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y clorofluorocarburos), los cuales están contribuyendo en mayor proporción a la destrucción de la atmósfera produciendo el cambio climático (IPCC, 2000).

Las plantas utilizan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub> durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono. Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, el cual varía en función al diámetro del tallo y ramas, altura de los componentes arbóreos, edad, densidad de población de cada estrato y comunidad vegetal, etc. (ALEGRE *et. al.*, 2000).

A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los efectos invernaderos por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad existente; siendo uno de ellos el proyecto llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono (CONAM, 2001); estas a su vez nos pueden beneficiar ambientalmente mediante el secuestro de

carbono, disminuyendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima, mejorando la calidad de agua, el paisaje y la biodiversidad.

Actualmente el Perú cuenta con muy pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono en los diferentes sistemas de siembra agrícola, especialmente los agroforestales, donde al combinar los cultivos con especies forestales incrementan sus niveles de captura de carbono, mejorando además su productividad (LAPEYRE *et al.*, 2004); siendo las plantaciones de cacao una de las extensiones mayormente asociados en sistemas agroforestales en nuestra provincia; este estudio permitió evaluar en forma cuantitativa el carbono secuestrado a nivel de la biomasa, necromasa y suelo, para dos sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la provincia de Leoncio Prado, determinando el siguiente objetivo general:

Estimar la biomasa y el almacenamiento de carbono en los diferentes componentes de los dos sistemas de producción agroforestal de cacao CCN 51 (cacao + guaba y cacao + bolaina) de tres edades de plantación en la provincia de Leoncio Prado.

Para la determinación del objetivo se tubo en consideración la hipótesis: en los sistemas agroforestales de mayor edad de cacao + guaba y cacao + bolaina presenta mayor almacenamiento de carbono en comparación a las plantaciones jóvenes.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Cambio climático

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se han duplicado desde mediados hasta el final del siglo XX, elevando la temperatura global de 1.5 a 4.5°C, proceso que causa un desplazamiento en la distribución y en la producción de la vegetación (HOUGHTON, 1994).

Tales desplazamientos en los modelos de vegetación afectarán la producción de cultivos agrícolas y el incremento de los suelos marginales (DIXON, 1995). El gran flujo de carbono a la atmósfera es el resultado de la deforestación en las latitudes tropicales para acomodarse a la producción de alimentos y suplir las necesidades de leña y tierras. FISHER y TRUJILLO (1999), manifiestan que la tasa de deforestación se incrementa en proporción al crecimiento de la población, la emisión de C vía biótica puede ser dos veces que la realizada vía emisiones de combustible fósil.

La foresta de los trópicos contiene las concentraciones más grandes de biomasa y biodiversidad en la tierra; y su destrucción tiene consecuencias medio ambientales directas en todo el mundo. La retención de energía en la atmósfera por el incremento del CO<sub>2</sub> causando el efecto invernadero se debe principalmente a la utilización indiscriminada de combustibles fósiles y a los cambios de uso del suelo. De acuerdo a cifras reportadas para el cambio climático, se estima que la emisión de C por deforestación es de 1.6 billones de toneladas por año (1 t C= 3,67 t CO<sub>2</sub>) (MONTENEGRO y ABARCA, 1999).

Se estima que la deforestación de los trópicos aporta entre 42 y 160 millones de t C/año a la atmósfera, de las cuales entre 10 y 30 millones de toneladas se atribuyen al decrecimiento de la materia orgánica en los suelos deforestados. Los efectos de la deforestación incluyen la emisión de gases de efecto invernadero, pérdida de la biodiversidad, pérdida de diversidad cultural, degradación de la tierra, del recurso agua y posibles impactos sobre el clima regional (FUJISAKA *et al.*, 1998).

Una de las opciones de manejo de carbono relacionadas con los ecosistemas existentes y con los sistemas de producción, incluyen la incorporación de árboles a los sistemas agrícolas, ya sea como sistemas agroforestales o silvopastoriles (KANNINEN, 1999; DE JONG *et al.*, 2000).

El uso de la tierra para sistemas de pastoreo intensivo se ha incrementado durante las últimas décadas, principalmente en lo que fueron tierras de bosque. Cerca del 38% (94 millones de hectáreas) del área total de Centroamérica está constituida por tierras de pastoreo (KANNINEN, 1999). En países como Costa Rica, se ha presentado una dramática reducción en el área boscosa, éste es uno de los aspectos más preocupantes, ya que la producción de ganado se ha dado con aumentos modestos en productividad y bajo un sistema extensivo (STEINFELD, 1999). Por lo tanto, los sistemas de producción agropecuaria que trasladan CO<sub>2</sub> ocioso de la atmósfera a un ciclo biótico y lo retengan por más tiempo dentro del agroecosistema, serán más sostenibles y convenientes (MONTENEGRO y ABARCA, 1999).

La importancia de los sistemas silvopastoriles es su utilización como modelo de uso de la tierra, adaptados a los ecosistemas del trópico seco como herramienta útil en la mitigación del CO<sub>2</sub> atmosférico (ALBRECHT y KANDJI, 2003) y a su vez como fuentes de ingresos como medio de reducción de la pobreza (PANDEY, 2002).

La atmósfera contiene dióxido de carbono en cantidades variables, y aumenta un 0,4% al año. Es utilizado por las plantas verdes en el proceso conocido como fotosíntesis, por el cual se fabrican los carbohidratos, dentro del ciclo del carbono. El dióxido de carbono se produce por diversos procesos: por combustión u oxidación de materiales que contienen carbono, como el carbón, la madera, el aceite o algunos alimentos; por la fermentación de azúcares, respiración, y por la descomposición de los carbonatos bajo la acción del calor o los ácidos (ALBRECHT y KANDJI, 2003).

La cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico había permanecido estable, aparentemente durante siglos, pero desde 1750 se ha incrementado en un 30% aproximadamente. Lo significativo de este cambio es que ha provocado un aumento de la temperatura de la tierra a través del proceso conocido como efecto invernadero. El dióxido de carbono atmosférico tiende a impedir que la radiación de onda larga escape al espacio exterior; generando el aumento de la temperatura global de la tierra (MOPTMA, 1991).

## **2.2. Secuestro de carbono en los sistemas agroforestales**

LUNDGREN y RAINTREE (1982), definen agroforestería al nombre colectivo para el sistema de uso de la tierra y las tecnologías donde las leñosas perennes son deliberadamente usadas en el mismo sistema de manejo como en cultivos agrícolas y/o animales; en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal.

La promoción de la agroforestería es una de las mayores opciones que se perciben con mayores oportunidades para resolver los problemas relacionados con el uso de la tierra y los problemas de calentamiento global (SCHROEDER, 1994; ALBRECHT y KANDJI, 2003).

El almacenamiento de carbono en los árboles, es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y se suma así a posibles beneficios para el productor que adopta estos sistemas alternativos, beneficios hídricos en relación con el incremento productivo de cultivos, pastos, bosques, y beneficios al nivel de fijación de carbono por medio de “bonos verdes” o “de carbono” o su equivalente en impuestos, etc. (IPPC, 2000).

Si bien mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio, dentro del Protocolo de Kyoto, sólo se consideran inversiones en proyectos de reforestación, esto no resta validez a estudios realizados en bosques nativos, ya que es importante contar con información local e indicadores de las especies nativas para conocer el flujo de carbono en estos ecosistemas

forestales así como para futuros compromisos de reducción de CO<sub>2</sub> atmosférico.

En el contexto del cambio climático y el ciclo global del carbono, la agroforestería es de interés por al menos dos razones. La primera es que el componente arbóreo fija y almacena carbono de la atmósfera vía fotosíntesis. Porque los árboles son plantas perennes, y pueden actuar como un sumidero de carbono por periodos de muchos años y continúan almacenando carbono hasta que se cortan y mueren. La segunda razón del interés en la agroforestería es la aparente necesidad de reducir la tala de más bosque para la agricultura y proveer una alternativa para la agricultura migratoria (SCHROEDER, 1994; DIXON, 1995 y PANDEY, 2002).

PANDEY (2002), sugiere que un sistema agroforestal típico crea una interacción sinérgica entre los cultivos y los árboles para sostener la productividad, mientras que al mismo tiempo el C es secuestrado continuamente para la mitigación del clima.

Los sistemas agroforestales tienen dos beneficios principales para conservar carbono: Almacenaje directo de carbono a corto y mediano plazo (décadas y hasta siglos) en los árboles y en el suelo. Reducción indirecta de la emisión de los gases de efecto invernadero causada por la deforestación y la agricultura migratoria (SCHROEDER, 1994; DIXON, 1995 y PANDEY, 2002).

Los beneficios adicionales de los sistemas agroforestales son alcanzar la seguridad alimentaría y la tenencia de la tierra en los países en desarrollo,

incrementar el ingreso familiar, restaurar y mantener la biodiversidad, mantener las cuencas hidrográficas y la disminución de la erosión del suelo (ANDRADE e IBRAHIM, 2000). En los sistemas agroforestales, el secuestro de carbono es un proceso dinámico y se puede dividir en fases; cuando se establece muchos sistemas probablemente son fuentes de gases de efecto invernadero (pérdida de carbono y nitrógeno de la vegetación y del suelo). Luego sigue una fase rápida de acumulación y período de maduración cuando el carbono es almacenado en los troncos, raíces y en el suelo, y al final del periodo de rotación, cuando los árboles son cosechados (sistemas secuenciales), parte del carbono será lanzado de nuevo a la atmósfera. Por lo tanto, un secuestro efectivo de carbono solo puede ser considerado si hay un balance positivo después de varias décadas al compararlas con una reserva de carbono inicial (ALBRECHT y KANDJI, 2003).

La información sobre la cubierta de la tierra y el uso de esta es esencial, ya que la cantidad de carbono almacenado en un sitio dado depende del clima (precipitación y temperatura), las condiciones del suelo y de las actividades humanas desarrolladas (ALBRETCH y KANDJI, 2003).

La cuantificación del carbono en los diferentes ecosistemas se basa principalmente en la acumulación de carbono (producción de biomasa) y la pérdida de CO<sub>2</sub> estimada por respiración en los diferentes compartimentos del sistema. La variabilidad de los datos por unidad es enorme, dependiendo de

factores como componentes del sistema, clima, suelo, ecozona, especies, manejo del sistema y/ o factores socioeconómicos (CAMERO *et. al.*, 1999).

A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad existente; siendo uno de ellos el proyecto llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono (CONAM, 2001), estas a su vez pueden beneficiarse ambientalmente mediante el secuestro de carbono, disminuyendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima; mejorando la calidad de agua, el paisaje y la biodiversidad. También previniendo desastres naturales, realizando funciones de refugio de especies animales y generando socialmente empleos y produciendo bienes con servicios, entre otros.

El ciclo global del carbono en el planeta se basa en la absorción de dióxido de carbono que realizan las plantas, a través de la fotosíntesis en su proceso de crecimiento, aumentando su masa vegetal aérea y radicular. Durante el ciclo, la masa vegetal captura y retiene un valor creciente de carbono, que es consecuentemente retirado de la atmósfera. Las especies arbóreas y arbustivas mayores son las principales en la absorción de carbono, y el objeto principal de los estudios relativos a la captura biológica de carbono.

Los trabajos en mejoramiento genético de las especies agrícolas cultivadas desarrollados en los últimos cuarenta años han tenido como primera y principal variable de selección el vigor o crecimiento volumétrico de las especies. Esta variable de crecimiento ha sufrido un constante incremento en sus valores medios para una especie y sitio determinado, con mejoras en los rendimientos superiores al 50% en algunos casos. Estas mejoras en las tasas de crecimiento de las especies cultivadas determinan un incremento proporcional de la captación de carbono, haciendo significativamente más eficiente dichos procesos biológicos.

#### **2.2.1. Secuestro de carbono por las plantas**

Para la medición de la cantidad de biomasa aérea y subterránea en cualquier sistema de uso de la tierra, se requiere primero realizar inicialmente un análisis destructivo directo o estimaciones indirectas del material vegetal y realizar las inferencias respectivas; y segundo las estimaciones de la biomasa total, determinándose el tamaño y diámetro de los árboles, a fin de poder encontrar funciones matemáticas basadas en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo (ALEGRE *et al.*, 2001).

El secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (TAIZ y ZEIGER, 1998).

En las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa aérea se asume generalmente el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% sin diferenciar especies (BROWN y LUGO, 1984 y IPCC, 1996).

La actividad humana dio origen a la emisión de más de 300 mil millones de toneladas de carbono durante el siglo pasado. Si la actividad económica continua como hasta ahora, se estima que se emitirá un millón de millones adicionales en los próximos cincuenta años. Esta tendencia permite prever grandes pérdidas económicas causadas por catástrofes naturales derivadas del cambio climático, si no se toman correctivos urgentes según TOTTEN (1999).

De hecho, ya existen negociaciones actuales sobre este servicio ambiental como experiencias pilotos, pero todavía se esta a la espera de su generalización en el mercado. El mantenimiento de los *stocks* de carbono representa un servicio ambiental sumamente valioso y ha cobrado un mayor vigor debido a la inminente aplicación de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, dentro del Protocolo de Kyoto, que entraran en plena vigencia con la firma de Rusia, posiblemente a finales del año 2003 (ALBRETCH y KANDJI, 2003).

Recientes estimaciones en proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio colocan en 634 dólares el costo por tonelada de carbono en Costa Rica, tal como se reporta en algunos proyecto de la USIJI (U.S. Initiative on Joint Implementation). En el Ecuador, proyectos como el llevado a cabo por

PROFAFOR – FACE han obtenido costos más bajos menores a los 4 dólares por tonelada de carbono. Contando como ejemplo, SOUTHGATE y WHITAKER (1994), sostienen que la deforestación en el Ecuador puede tener menos impacto en el clima mundial. A diferencia de lo que ocurre en Brasil, el desmonte de las tierras en el Oriente, por ejemplo, no se efectúa quemando la vegetación, ya que las condiciones son habitualmente muy húmedas. De esta forma, llegan a estimar que los daños de calentamiento global con la deforestación en el Ecuador pueden ser tan solo de 300 dólares por hectárea (5 dólares/tonelada de carbono de 60 toneladas de carbono por hectárea).

Según Baldoceda (2001), citado por ALBRETCH y KANDJI (2003), encuentra que el costo de captura de carbono en la zona de Neshuya – Curimana (Pucallpa) en el Perú oscila entre los 8.3 y los 16.3 dólares por tonelada de carbono. HAUGEN (1995), por su parte, asumiendo supuestos bastante realistas sobre calendarios para la implementación de proyectos forestales para los diferentes países, señalaba que entre los veinte países tropicales más significativos, el Ecuador podría capturar, sobre la base de nuevas plantaciones y de proyectos de reducción de la deforestación, entre 320 y 640 millones de toneladas en cincuenta años. Esto quiere decir que se podrían generar entre 106 millones y 213 millones de dólares anuales utilizando un precio promedio de mercado de 20 dólares por tonelada métrica.

Abstrayéndonos al valor exacto que por concepto de captura de carbono que se pueda obtener, son evidentes los potenciales beneficios

económicos, así como los “costos evitados” que estarían asociados con este servicio ambiental (CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMÉRICA, 2002).

### **2.2.2 Carbono orgánico en el suelo**

HARMAND (2003), define la materia orgánica del suelo como la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, incluyendo tejidos y células de organismos que viven en el suelo, y sustancias orgánicas producidas por los habitantes del mismo (flora y fauna). Los estudios sobre materia orgánica son invariablemente estudios de carbono orgánico. El carbono es la fuente de energía o el sustrato sobre el que los microorganismos se alimentan, su actividad depende directamente de la cantidad de carbono disponible en cualquier tiempo particular, y la cantidad de carbono así perdido es proporcional al presente inicialmente (YOUNG, 1989).

La magnitud con la cual un suelo puede ser un reservorio continuo de C depende del balance entre las tasas de los procesos de adquisición del mismo y las tasas de degradación, tanto del carbono residente como del recientemente adquirido. Poco se conoce a cerca de estos procesos, especialmente en los suelos ácidos de las sabanas neotropicales (FISHER *et al.*, 1994).

### **2.2.3. 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.

(BROWN, 1997; citado por CALLO, 2000). Consideramos sus componentes, epigeos e hipogeos, árboles, arbustos, palmeras, arbolillos, lianas, epifitas, etc. y plantas muertas que oferten madera y mulch.

En caso de bosques maduros, los volúmenes de biomasa no arbórea, herbáceos, arbustos y lianas, no suelen superar el tres por ciento de la biomasa total (Jordan y Uhl, 1978; Tañer, 1980; Hegarty, 1989; Lugo y Brown 1984, citado por CALLO, 2000). Mientras que en bosques secundarios puede alcanzar hasta 30% (Brown y Lugo, 1984; citado por CALLO, 2000). Del 40 al 50% se incorpora al suelo, proveniente de hojas, ramas y raíces (Regos, 1989; citado por BARBARAN, 2001). Sin embargo en la cuantificación de la biomasa se suelen subestimar algunas variables: las raíces, de aporte oscilante de acuerdo al clima y suelo pueden llegar hasta tercera parte (Brown y Lugo, 1982; Stanford y Cuevas, 1996; Regos, 1989 citado por BARBARAN, 2001).

Dado a un factor de proporcionalidad entre la biomasa forestal y su contenido de carbono, entre 0.45 y 0.5 (BARBARAN, 2001 y IPCC, 2000), su precisa estimación es fundamental. En consecuencia, los inventarios forestales son el punto de partida para estimación de carbono (Brown y Lugo, 1992 citado por CALLO, 2000). Midiendo directamente la biomasa y deduciéndola por modelos alométricos; se obtiene resultados de regresiones de grandes volúmenes de información en campo (Brown, 1997 citado por CALLO, 2000).

## **2.3. Generalidades de las especies en estudio**

### **2.3.1. *Theobroma cacao* L.**

El cacao es una especie vegetal cuyo origen o diversidad se halla en las cabeceras de los ríos Putumayo, Caquetá, Napo y otros que forman la cuenca amazónica, y es allí donde posee la mayor variabilidad genética (BARTLEY y DE CASTRO, 1983).

El clon CCN-51 (Colección Castro Naranjal) fue seleccionado y estudiado por el Ing. Agrónomo Homero Castro, hace más de 30 años. Este incansable científico investigaba la población de cacao en el Alto Amazonas, coleccionando material genético para usarlos en programas de cruzamiento con variedades Trinitarias y otros cultivares, buscando un clon de alta calidad y gran productividad resistente a las enfermedades que más afectan a nuestros huertos de cacao: "Escoba de Bruja", "Monilia" y "Mal del Machete". Fue así como después de muchos ensayos, obtuvo este clon ecuatoriano, que cumple ampliamente con los objetivos propuestos (CRESPO y CRESPO, 1997).

El cacao y su cultivo son originarios de las zonas tropicales de América, y hasta fines del siglo pasado casi todo el cacao consumido en el mundo provenía de este continente (SORIA, 1974).

Una de las plantaciones más antiguas de CCN-51, fue establecida en 1965 en la zona de Naranjal en la Hacienda "Soffa", que fue de propiedad del Sr. César Amador Baquerizo, agricultor visionario que apoyó constantemente a este investigador. Actualmente esta hacienda, con sus

huertos, pertenece al Ing. Ricardo Delfini, con producciones de cacao seco que después de 30 años todavía superan los 40qq./ha (CRESPO y CRESPO, 1997).

El cacao es una especie neotropical que fue encontrada de forma espontánea y dispersa en las planicies húmedas de América del Sur y Central (MEJIA y PALENCIA, 2004), siendo la única especie dentro de las 22 especies del género *Theobroma*, comercialmente explotada a gran escala (LUZ, *et. al.*, 1996).

A partir de 1,940 en Tingo Maria se inicia las acciones de cultivo del cacao trasladando de Iquitos casi todos los clones forasteros originarios de la selva baja norte y fueron seleccionados por el Dr. Pound (HERNANDEZ, 1991).

La planta de cacao se desarrolla bien hasta los 1000 m.s.n.m.; las mejores zonas para explotar este cultivo son las que se ubican en este rango altitudinal (WOOD, 1982). Es una planta que alcanza una altura entre 5 – 6 m, presentando ramificaciones de 3 - 5 m, desarrollándose en forma de sombrilla a una altura de 1.5 m encima de la superficie del suelo (LUZ *et. al.*, 1996).

El tiempo de maduración de los frutos se ve afectado por la temperatura, durante los meses más calurosos, estos maduran entre 140 y 175 días, mientras que cuando madura durante los meses más frescos tardan entre

167 y 205 días. En Tingo María los frutos maduran en unos 180 días (ADRIAZOLA, 1991).

La planta de cacao para producir altos rendimientos es exigente en cuanto a suelo; este debe ser de buena fertilidad, bien drenado y con una profundidad mínima de un metro. Los mejores suelos tropicales son ubicados a los márgenes de los ríos, de topografía predominante plana y sin exceso de humedad (ADRIAZOLA, 1991).

El árbol de cacao en estado natural vive en asociación biológica con otras especies donde crece y produce mazorcas bajo la cubierta del bosque tropical. Por lo anterior, los especialistas han caracterizado a esta planta como umbrófila o muy amiga de la sombra, lo que indica que prospera donde su follaje no está expuesto a la plenitud de la luz solar. Este comportamiento ha puesto en evidencia que la luz asociada con ciertos grados de temperatura, dentro de determinados límites, estimula la conformación del follaje, la abertura de estomas de las hojas, la fotosíntesis (captura CO<sub>2</sub>), el aprovechamiento de nutrientes y la producción (PAREDES, 2003).

Los árboles de sombra mejoran las propiedades físicas de los suelos, incrementan el porcentaje de nutrientes y facilitan el drenaje. Deben poseer diversas cualidades entre ellas las de ser esbeltos y de porte más alto que el cacao, con hojas de fácil descomposición al caer al suelo (PAREDES, 2003).

La planta utiliza CO<sub>2</sub> y libera O<sub>2</sub> durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacena componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se le debe considerar como reservas naturales de carbono. Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población de cada estrato y por comunidad vegetal (ALEGRE *et. al.*, 2000).

### **2.3.2 *Inga edulis* Mart.**

La guaba se encuentra en forma silvestre en la Amazonia, América Central y las Indias Occidentales. Por su alta variabilidad y el alto número de especies observadas, probablemente tenga como centro de distribución la región amazónica. La guaba es un árbol leguminoso de América del Sur y América Central, *Inga edulis*, se cultiva por sus grandes vainas comestibles y por su aporte a la rotación de cultivos de fijación de nitrógeno.

Es un árbol con 8 a 15 m de altura, tronco bajo, ramificando algunas veces casi desde la base, copa algo rala. Hojas compuestas pinnadas, con 4 - 6 pares de folíolos subsésiles, elípticos u ovalados, los inferiores siempre más pequeños, base obtusa o redondeada, nervaduras laterales paralelas y presencia de glándulas interpeciolares. Inflorescencias terminales o subterminales agrupadas en las axilas de las hojas. Flores con cáliz verdoso y corola blanquecina, perfumadas, sésiles, agrupadas en el ápice del raquis. El

fruto es una vaina cilíndrica indehiscente, de color verde, multisurcado longitudinalmente y de largo variable, pudiendo llegar hasta un metro. Las semillas son negras de 3 cm de longitud, con un rango entre 1,4 y 4,5 cm, cubiertas por una pulpa (arilo) blanca, suave y azucarada (PENNINGTON, 1997).

Para el caso de *I. edulis* se han identificado dos sub especies: *typica* y *parvifolia*, correspondiendo la descripción anterior a la primera de ellas. La sub especie *parvifolia* tiene flores y frutos más pequeños. Su follaje y fruto tienen valor alimenticio para el ganado, las hojas que se caen sirven como abono verde, y el fruto sirve para alimento humano. Las semillas pueden comerse siguiendo la siguiente receta: las semillas se cocinan y luego se muelen. La masa resultante se condimenta con cebolla, pimienta y sal. Se le agrega huevo revuelto y se hacen tortitas que se fríen. También pueden conservarse desecadas como cualquier cereal para consumirse después (PENNINGTON, 1997).

La fruta de las plantas del género *Inga* se utiliza como alimento, consumiéndose al natural la pulpa que rodea a la semilla. Esta pulpa es carnososa y de sabor dulce agradable. La madera de ciertas especies se utiliza de manera limitada en la construcción de viviendas rurales. El árbol de algunas especies de *Inga* se emplea como sombra para el café y el cacao, con la ventaja de mantener la humedad en la capa superficial del suelo y mantener la fertilidad del mismo.

Algunas comunidades indígenas de la Amazonía, además de consumir la fruta como alimento, utilizan las semillas y hojas con fines medicinales: antidiarreico y antirreumático. Las semillas de especies seleccionadas son consumidas por ciertos grupos indígenas. También se emplea la corteza de algunas especies para la producción de taninos. Otros indígenas utilizan la goma de ciertas especies para fijar los colores destinados a pintar sombreros, canastas y otras artesanías (PENNINGTON, 1997).

### **2.3.3 *Guazuma crinita* Lam.**

La bolaina blanca se encuentra en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali, entre 0 y 1000 m.s.n.m.

La especie existe en bajas cantidades en la Amazonía central y en cantidades medias en la Amazonía sur del Perú. La bolaina blanca, es una especie forestal, maderable y de muy rápido crecimiento, es propia de los bosques aluviales de la amazonia Baja, principalmente en las playas y áreas abandonadas por agricultura, forma rodales casi puros los que son utilizados en la producción de tablillas de madera para la construcción de casas (MARTÍNEZ, 1979).

El árbol alcanza 35 m de altura y 50 cm de diámetro; tronco circular, sin aletones o éstos extendidos y ramificados. Copa plana o aparasolada, sobre el tercio superior. La corteza superficial del tronco es

grisácea, negruzca, agrietada a fisurada. Corteza viva con muchas laminillas; es posible obtener de ella tiras largas; en árboles de cierto grosor se observan dos capas; una externa fibroso-compacta y otra interna fibroso-laminar, ambas de color crema, oxidando a marrón oscuro después de unos segundos de ser expuestas al aire: exudan un mucílago incoloro, escaso y dulceño.

Las hojas son simples, alternas y dísticas, de 10 - 18 cm de longitud, y 5 - 7 cm de ancho, el pecíolo de 1.5 - 2 cm de longitud, pulvinulado, las láminas ovadas, frecuentemente asimétricas, aserradas, la nervación palmeada, los nervios secundarios prominulos en haz y envés, el ápice agudo y acuminado, la base cordada, las hojas cubiertas de pubescencia de pelos estrellados y escamosos sobre todo por el envés (MARTÍNEZ, 1979).

#### **2.4. Metodología de captura de carbono para el sistema agroforestal con cacao**

Para determinar la captura de carbono se recomienda seguir el Protocolo de muestreo: "Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales con cacao preparado por el IPCC (2003), citado por ANDRADE y SEGURA (2005).

##### **2.4.1. Estimación de la biomasa arriba del suelo**

Se deberán establecer dos Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) de forma circular tipo anidada, el radio principal será de 17,84 m. para un área de 1000 m<sup>2</sup>

El centro de la parcela se identificará con una estaca de madera y/o una varilla de hierro enterrada en el suelo. Se extenderá la cinta métrica con 17,84 m. y se empezará a marcar y medir los árboles mayores a 10 cm de diámetro a la altura de pecho desde el norte en el sentido de las manecillas del reloj.

Se incluyen los árboles que se encuentren entre el centro de la parcela y el borde de esos 17,84 m., para asegurar esto se pueden enterrar cuatro estacas en los bordes de la parcela en cada orientación (norte, sur, este y oeste).

Dentro de esta misma parcela principal se marcará una sub-parcela con un radio de 7 m (153,4 m<sup>2</sup>) para medir los árboles de cacao y otra sub-sub-parcela de 4 m de radio (50 m<sup>2</sup>) tomando el mismo centro de la parcela principal y se empezará a medir los árboles con >1.5 m de altura y <9.9 cm de diámetro. Cerca del punto central de la parcela se distribuirá al azar un marco de 50x50 cm. tres veces, se cortará toda la vegetación < 1.5 m de altura, exceptuando el cacao. Se pesará en fresco y se tomarán dos muestras, que serán etiquetadas y pesadas con la balanza digital.

**Registro de árboles:** los árboles encontrados en las PPM serán marcados con placas metálicas al norte, indicando el sistema, el relieve, el número de la parcela y el número de árbol. De esta forma, el árbol con la placa metálica con el código CV0101, corresponderá a cacao en el valle, parcela 1 y árbol No.1. Se colocará un clavo de aluminio a 10 cm sobre el punto de

medición (DAP), donde irá la placa metálica debidamente identificada. Se medirá y registrará en los formatos respectivos según cada sistema.

**Árboles comerciales y no comerciales:** especie, diámetro a la altura del pecho a 1.30 m del suelo, y el estado del árbol (en términos de porcentaje de hojas o estado sanitario).

**Cacao:** diámetro a 30 cm del nivel del suelo, número y diámetro basal de ramas en árboles y estado del árbol (en términos de porcentaje de hojas o estado sanitario).

**Árboles o madera caída:** se trazará dos líneas perpendiculares de 50 m. cada una de manera que atraviesen el centro de la PPM. Se medirá los diámetros mayores a 10 cm. de las piezas donde se intercepte las líneas. Esta se determinará golpeándolos con un machete y registrando el efecto que este golpe causa.

**Hojarasca:** en las primeras tres PPM de cada sistema de muestreo se muestreará la hojarasca en 10 sitios seleccionados al azar. Se medirá la altura de la hojarasca y se pesará todo el material colectado en cada marco, tomando una muestra de 200 g para materia seca. En las restantes parcelas se medirá, al azar, la altura de la hojarasca con una regla en 10 sitios.

**Suelo:** se realizará dos hoyos de 40 cm de profundidad por parcela de los cuales se extraerá una muestra de suelo en un cilindro de

volumen conocido a una profundidad exacta de 17 cm. (ANDRADE y SEGURA (2005).

#### **2.4.2. Ecuaciones para la estimación de biomasa y captura de carbono para el cultivo de cacao**

##### **a) Para cacao arriba del suelo**

Los modelos de mejor ajuste y los más recomendables para su uso son de tipo logarítmico, utilizando diámetro a 30 cm del suelo ( $Diam_{30cm}$ ) como variable independiente. La ecuación que se muestra presenta las mejores características para su aplicabilidad práctica y estimar la biomasa total producida por el cultivo de cacao según IPCC (2003), citado por ANDRADE y SEGURA (2005).

$$\text{LogBt} = a + b * \log \text{Diam}_{30}$$

Donde:

BT: Biomasa total

a y b: parámetros estimados: -1.625 y 2.626

$Diam_{30}$ : diámetro a 30 cm del suelo (IPCC, 2003).

##### **b) Estimación de carbono en biomasa de cacao bajo el suelo en PPM (raíces)**

La biomasa bajo el suelo se refiere a la biomasa de raíces. Esta se estimará empleando la ecuación elaborada por CAIRNS *et. al.* 1997, citada por CATIE e IPCC (2003) y recomendada para suelos tropicales:

$$B_{raices} = \exp[-1.0587 + 0.8836 * \ln(BAT)]$$

Donde:

$B_{raíces}$ : biomasa de raíces ( $t\ ha^{-1}$ );  $\ln$ : logaritmo natural;  $exp$ : potencia base e;

BAT: biomasa aérea total en ( $t\ ha^{-1}$ ) (IPCC, 2003).

**c) Para árboles no comerciales (guaba y bolaina):**

Se determinará el diámetro a la altura del pecho a 1.30 m del suelo, número de ejes, altura total, altura comercial y el estado del árbol (en términos de porcentaje de hojas o estado sanitario). La estimación del contenido de carbono se determina según el siguiente modelo alométrico para especies forestales (guaba y bolaina):

$$\text{LogBT} = a + b \cdot \text{LogDap}$$

Donde:

BT: Biomasa total; a y b: parámetros estimados: -1.11 y 2.64; Dap: diámetro a la altura del pecho (IPCC, 2003; (RUIZ *et. al.*, 2007).

**2.5. Contenido de carbono en cacaotales (trabajos realizados)**

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados (degradados o mejorados) por los cambios en el uso y el manejo de la tierra (LÓPEZ, 1998).

La alteración de las condiciones del suelo con las prácticas agropecuarias puede afectar significativamente la producción debido a su influencia sobre la distribución de la materia orgánica, la actividad microbiana y

la dinámica de nutrientes. El manejo de los sistemas ganaderos afecta la cantidad y calidad de M.O. y los ritmos de mineralización (JENKINSON, 1992).

ANDRADE y SEGURA (2005), los sistemas agroforestales con cacao (SAFC) se clasificaron según el contenido de carbono en tres niveles; bajo, medio y alto. El promedio del carbono almacenado en la biomasa total por clase se presenta en el Cuadro 1. Los sistemas con cacao son igualmente, muy variables en sus magnitudes de almacenamiento de carbono. Estos sistemas pueden ser clasificados, para fines de inventario y estrategias de intervención. Los sistemas evaluados fueron cacaotales con asociaciones de laurel y banano.

**Cuadro 1.** Carbono almacenado por nivel de carbono en biomasa total para los sistemas agroforestales con cacao en Talamanca (Costa Rica).

Nivel de Carbono	Carbono almacenado en biomasa total (t C/ha)		
	Rango	Promedio	Desv. estándar
Bajo	<39.9	31.6	8.0
Medio	40-79.9	62.5	11.3
Alto	>80	97.8	11.3

Fuente: ANDRADE y SEGURA (2005).

ALBRECHT y KANDJI (2003), reportan un almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica entre 39 y

102 t C/ha. Estos resultados nos indican que los cacaotales con bajo y medio nivel de carbono tiene la potencialidad de incrementos de 66.2 y 35.3 t C/ha.

Los volúmenes de carbono secuestrado por los SUT (Sistema de Uso de Tierra) evaluados (**pasturas**: 64.555 t C/ha; **agroforestal**: Arazá – Sangre de grado 122.821 t C/ha; Bolaina – Pijuayo - Cítrico 138.900 t C/ha y Capirona – Aguaje 94.615 t C/ha; **agrícola**: Papaya 80.945 t C/ha, Cítrico 104.605 t C/ha y Cacao 101.015 t C/ha) incluyen las sumatorias de los componentes arbóreo, arbustivo – herbáceo, hojarasca y edáfico, obteniéndose el mayor aporte por el sistema agroforestal Bolaina – Pijuayo-Cítrico con 138.900 t C/ha (GONZALES, 2007).

Son los sistemas agroforestales quienes tienen un gran potencial para la captura de carbono en tierras de cultivo además de ser un sistema sostenible para mitigar el cambio de uso de suelo que ocurre en nuestro país y sus efectos. Al comparar los sistemas de uso de tierra se encuentra diferencia significativa entre el sistema agroforestal y sistema de pastura; más entre el sistema agrícola y agroforestal no existen diferencia significativa. Lo cual demuestra que la relación biomasa y captura de carbono es directamente proporcional. El carbono total capturado del cultivo de cacao es de 101,015 t C/ha (GONZALES, 2007).

El flujo anual de captura de CO<sub>2</sub> equivalente en cada uno de los sistemas, como se observa en el Cuadro 2, 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 las capturas que se realicen en plantaciones forestales recientemente establecidas (LAPEYRE, 2004).

**Cuadro 2.** Flujo anual de carbono y CO<sub>2</sub> equivalente en diferentes sistemas.

<b>Sistemas</b>	<b>C (t/ha)</b>	<b>C (t/ha/año)</b>	<b>CO<sub>2</sub> equivalente</b>
Bosque secund. 50 años.	234.3	4.69	17.23
Bosque secund. 20 años.	62.1	3.10	12.43
Café-guaba. 4 años.	19.3	4.82	14.92
Cacao 15 años.	47.2	3.15	13.31

Fuente: LAPEYRE (2004).

Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26.2 t C/ha para el sistema de 5 años, hasta 45.07 t C/ha del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años. Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 a 35.5 t C/ha, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t C/ha hasta 9.97 t C/ha; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C/ha; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C/ha. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual, generando el mayor beneficio económico con créditos por CO<sub>2</sub> equivalente (CONCHA *et. al.*, 2007).

Según LAPEYRE (2004), la captura de carbono mostrada en el Cuadro 3, permite observar la captura total de carbono de algunas especies vegetales durante un lapso de tiempo de evaluación.

**Cuadro 3.** Niveles de CO<sub>2</sub> equivalente capturado por los sistemas evaluados en Costa Rica.

<b>Sistemas</b>	<b>C (t/ha)</b>	<b>CO<sub>2</sub> equivalente</b>
Bosque primario	485.3	1779.43
Bosque secundario 50 años.	234.3	859.1
Bosque secundario 20 años.	62.1	227.7
Arroz	1.7	6.23
Maíz	4.4	16.13
Pastos	2.3	8.43
Café-guaba. 4años.	19.3	70.77
Cacao 15 años.	47.2	173.07

Fuente: LAPEYRE (2004).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Características de la zona de estudio**

El presente trabajo de investigación se realizó en las diferentes instalaciones agroforestales cacaoteras pertenecientes a la provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco; dichas parcelas fueron identificadas y seleccionadas tratando de buscar la homogeneidad tanto en edades y densidad de las plantaciones a nivel del cultivo principal (cacao), así como para la especie empleada con fines de sombra (guaba y bolaina).

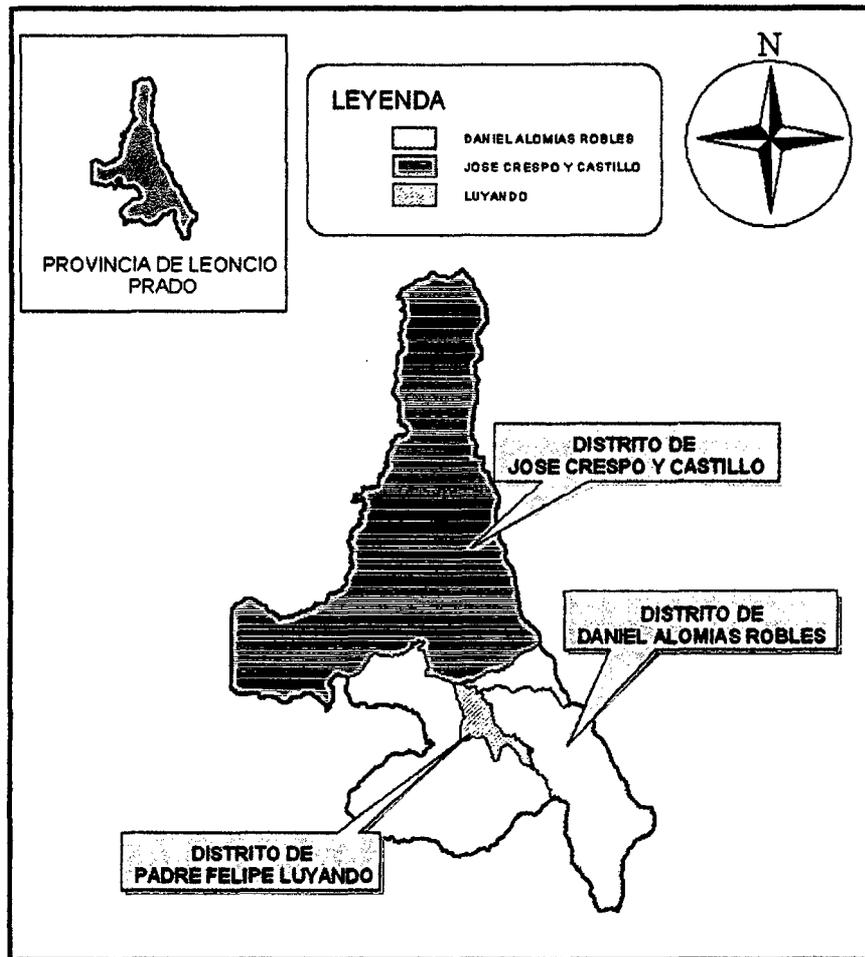
##### **3.1.1. Ubicación geográfica promedio de Tingo María**

Altitud	:	660 m.s.n.m
Latitud sur	:	395621 UTM
Longitud oeste	:	8986633 UTM

##### **3.1.2. Clima**

Temperatura máxima:	29° C
Temperatura mínima:	18 °C
Precipitación	: 3,600 mm/año

De acuerdo a la clasificación ecológica de Holdridge el clima de Tingo María corresponde a un Bosque Húmedo sub Tropical (HOLDRIDGE, 1967). Los tipos de suelos que presenta el distrito se caracteriza por ser de fertilidad media y topografía accidentada.



**Figura 1.** Ubicación del sitio experimental

### **3.1.3. Antecedentes de la zona de estudio**

La zona donde se realizó el estudio cuenta con una gran diversidad florística; sin embargo, ante la constante contaminación, no estimamos la contribución de las especies forestales y agrícolas en la captura de carbono (CO<sub>2</sub>) como un servicio ambiental. Una de las incógnitas para realizar el presente trabajo nace de ver la constante siembra del cultivo de cacao en la cuenca del Huallaga, por ser el cultivo bandera para los programas de desarrollo como alternativa del cultivo ilícito de la coca. En tal sentido, se

hizo necesario realizar la estimación de la biomasa y captura de carbono, ya que solo contamos con reportes de otros países y no podemos compararlo con estudios dichos estudios, porque la concentración de este gas contaminante es diferente a nivel del globo terrestre, y también influye las horas de sol, manejo agrícola y necesidad del cultivo al realizar la fotosíntesis y fotorespiración.

### 3.2. Componentes en estudio

En el presente experimento de estimación de captura de carbono se emplearon los siguientes componentes:

- Sistemas agroforestales con componentes de cacao CCN-51 + guaba y cacao CCN-51, en las edades de 2-3, 3-4 y 4-5 años de siembra.

A continuación en el Cuadro 4, indica los diferentes SAF evaluados en la presente estimación de captura de carbono:

**Cuadro 4.** Total de fincas y parcelas por tipo de sistemas

Sistema evaluado	Total	
	Fincas	Parcelas
Cacao + bolaina (2-3 años)	3	3
Cacao + bolaina (3-4 años)	2	3
Cacao + bolaina (4-5 años)	3	3
Cacao + guaba (2-3 años)	10	10
Cacao + guaba (3-4 años)	10	10
Cacao + guaba (4-5 años)	10	10
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>39</b>

### **3.3. Análisis estadístico**

El análisis estadístico empleado fue el Clusters o conglomerado, ya que se ajusta mejor a las condiciones presentadas para el presente trabajo; debido a la heterogeneidad de habitats presentados en la zona de evaluación. Este análisis estadístico permite homogenizar los resultados ajustándolos con un error menor de 1% y 5%, procesados con el SPSS versión 12, además de agruparlos por homogeneidad de medias.

Los resultados obtenidos también fueron interpretados a través de análisis descriptivos simples, en función a cada una de las medias obtenidas por cada uno de los dos sistemas agroforestales evaluados.

### **3.4. Metodología y parámetros registrados**

La metodología empleada se ajusta al protocolo de muestreo basado en las recomendaciones del "Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry" (IPCC, 2003). Para la evaluación del carbono almacenado en los diferentes Sistemas Agro Forestales (SAF), se evaluó 9 plantaciones de SAF cacao + bolaina de tres edades, y 30 plantaciones del SAF cacao + guaba de las mismas edades (ver Cuadro 4).

Para realizar las mediciones cuantitativas de los diferentes componentes de los sistemas agroforestales involucrados en el presente trabajo de investigación se procedió a realizar la selección de las parcelas, con características de similitud de edades, densidades de plantación, porcentaje de

sombra y unidad fisiográfica, para evitar heterogeneidad a nivel de las parcelas, lo cual incrementaría el error y por ende la carencia de confiabilidad de los reportes.

### **Delimitación del área de muestreo**

Ubicadas las 39 parcelas (9 en SAF cacao + bolaina y 30 en SAF cacao + guaba) en donde se realizaron los muestreos, se procedió a realizar la delimitación del área de muestreo o evaluación/parcela. Dentro de la parcela seleccionada, se busco la parte central con mayor homogeneidad (segundo filtrado), y se procedió a demarcarla con una estaca, posteriormente con la ayuda de una wincha se realizo el trazado de un circulo con un radio de 17.84 m para alcanzar un área de 1000m<sup>2</sup> (Figura 1).

### **Evaluación de biomasa del cacao y especie forestal**

En esta primera circunferencia se procedió a evaluar todas las plantas empleadas como sombra (guaba y bolaina), midiéndolas el diámetro de planta a la altura del pecho a 1.30 m (en cm.). La estimación del contenido de carbono se determinó según IPCC (2003), con la siguiente ecuación:

$$\text{LogBT} = a + b * \text{LogDAP}$$

Donde:

BT: Biomasa total; a y b: parámetros a estimados: -1.11 y 2.64; DAP: diámetro a la altura del pecho.

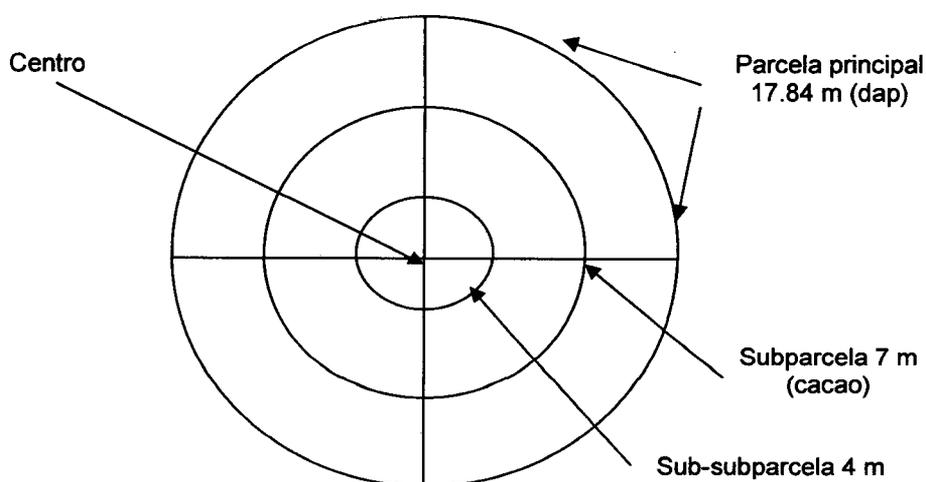
Dentro de la parcela delimitada (r=17.84 m), se procedió a demarcar otras dos circunferencias con radios de 7 y 4 m (Figura 2); realizando en la

primera de ellas, la evaluación de todas las plantas de cacao, considerando a todas las plantas dentro del área de evaluación según el protocolo de muestreo del IPCC (2003); determinando el diámetro del tallo a 30 cm. del suelo. Una vez determinada las medidas registras, se procedió a realizar el cálculo de la biomasa de cacao, para lo cual se uso el modelo de tipo logarítmico, utilizando  $Diam_{30}$  como variable independiente. La ecuación empleada fue la recomendada por IPCC (2003) y ANDRADE y SEGURA (2005):

$$\text{LogBt} = a + b * \log \text{Diam}_{30}$$

Donde:

BT: Biomasa total; a y b: parámetros a estimados: -1.625 y 2.626;  $Diam_{30}$ : diámetro a 30 cm del suelo.



**Figura 2.** Parcela de muestreo tipo anidada, para el inventario de biomasa y carbono en el sistema de cacao + guaba y cacao + bolaina.

Para la determinación de la biomasa de raíces de cacao, se empleó la ecuación elaborada por CAIRNS *et. al.* (1997), citada por CATIE (2003), y recomendada para suelos tropicales:

$$B_{\text{raíces}} = \exp[-1.0587 + 0.8836 \cdot \ln(\text{BAT})]$$

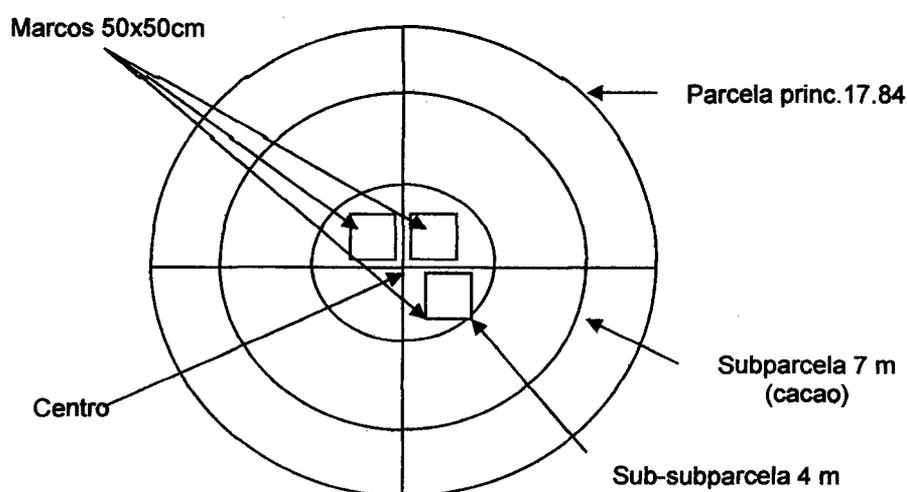
Donde:

$B_{\text{raíces}}$ : biomasa de raíces (t/ha); ln: logaritmo natural; exp: potencia base e;

BAT: biomasa aérea total en (t/ha) del cacao.

### Evaluación de hojarasca, especies arbustivas y suelo

Dentro de la parcela con  $r = 4\text{m}$  (Figura 1), se procedió a realizar la demarcación de 3 parcelas pequeñas con la ayuda de un marco de madera con dimensiones de  $0.5 \times 0.5\text{m}$ ; estas parcelas fueron distribuidas aleatoriamente dentro de la circunferencia, en las cuales se procedió a extraer toda la maleza y hojarasca, la cual fue pesada y llevada al laboratorio para realizar su contenido de carbono y biomasa respectivamente (Figura 3).



**Figura 3.** Parcela de muestreo tipo anidada, para el inventario de biomasa y carbono en hojarasca y suelo en un sistema agroforestal con cacao.

En las primeras las parcelas de muestreo de cada SAF, se muestreo la hojarasca y arbustos o malezas. Pesando todo el material

encontrado en cada marco de  $1\text{m}^2$ , tomando una muestra de 200 g para la determinación de la materia seca y su posterior contenido de carbono y biomasa.

Para la determinación del carbono en el suelo se empleó el barreno o tubo muestreador, extrayendo una muestra de suelo/parcela, proveniente de los tres marcos de  $0.50 \times 0.50 \text{ m}$ , enterrando el barreno hasta la marca ubicada en él (32 cm), se homogenizó completamente y se tomó una muestra de alrededor de 500 g el cual se llevó al laboratorio, y determinó el contenido de carbono presente.

El cálculo final de la biomasa y carbono almacenado en los sistemas evaluados fueron llevados a hectárea; para el caso de los árboles de cacao y especies forestales, fueron totalizadas por el número de plantas/ha. (1111 plantas de cacao/ha, 39 plantas de guaba/ha y 123 plantas de bolaina/ha). Los parámetros: hojarasca y arbustos o malezas, fueron calculadas elevando el resultado de  $0.25 \text{ m}^2$  a  $10,000 \text{ m}^2$ , y los resultados a nivel de los suelos evaluados fueron obtenidos a nivel de hectáreas.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1. Biomasa y carbono almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + guaba**

#### **4.1.1. Biomasa del SAF cacao + guaba**

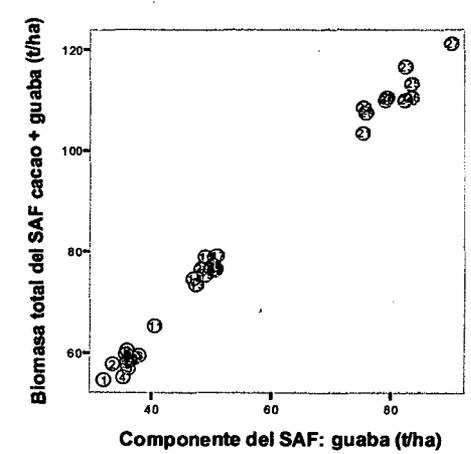
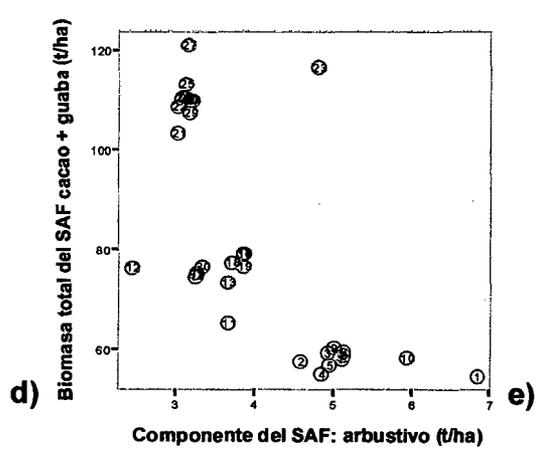
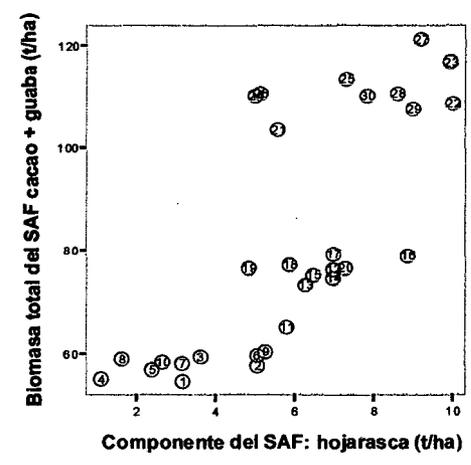
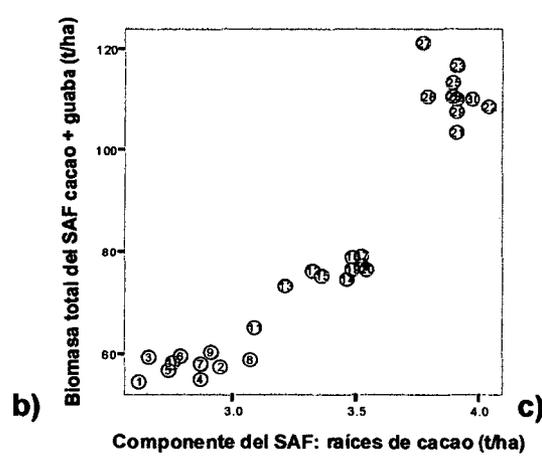
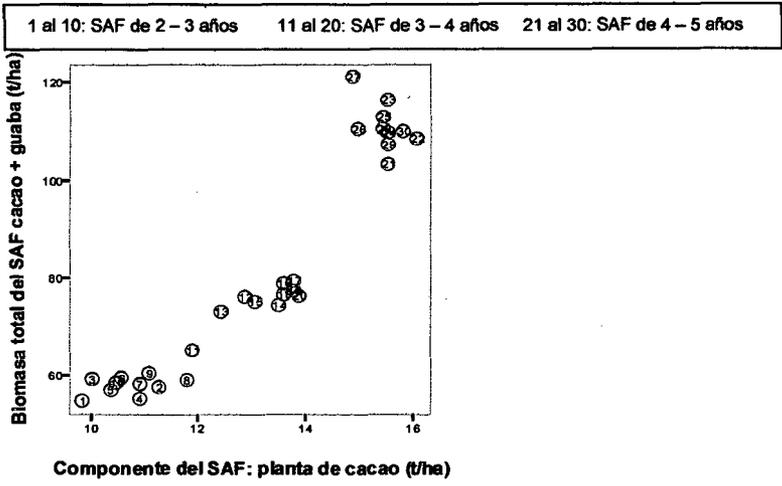
La estimación de la biomasa se realizó a través del volumen total de la materia viva y muerta sobre y bajo la tierra, concordando con el concepto de biomasa de Brown (1997), citado por CALLO (2000), quien dice que la biomasa o masa biológica, es la masa total de los seres presentes en una determinada área y en un momento determinado, suele expresarse en toneladas de materia seca por unidad de superficie o de volumen. Para el presente experimento se estimó a nivel de hectárea, mediante la densidad de la plantación para las especies de cacao y guaba; mientras que para las especies arbustivas y hojarasca fue en peso/área llevada a hectáreas.

De acuerdo al análisis realizado con las variables mencionadas en la Figura 4 (biomasa total del sistema agroforestal, biomasa del: cacao, raíces, hojarasca, arbustiva y guaba), del conglomerado de pertenencia de un análisis discriminante para cada componente del sistema; el cual se realizó para facilitar la interpretación de las diferencias existentes entre las muestras, ya que las variables dependientes se encuentran muy relacionadas entre sí. Se puede decir que los resultados obtenidos muestran una distribución de los casos en el espacio definido por funciones discriminantes como la biomasa del SAF (cacao + guaba) de las especies evaluadas y la biomasa de cada uno de

sus componentes; existiendo un total de cuatro conglomerados en cada una de ellas.

La estimación de la biomasa se estipulo en función a la valoración del almacenamiento de carbono, ya que esta se efectúa en los ecosistemas mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo como lo menciona TAIZ y ZEIGER (1998); dando como resultado un volumen determinado del tamaño de las plantas de cacao y guaba con contenido de carbono.

Las gráficas de dispersión de la Figura 4, muestran la ubicación concreta de los promedios de biomasa en las funciones dispersantes, cuyos valores centrales de los conglomerados finales tras un proceso de actualización iterativa de los centroídes iniciales realizaron un desplazamiento de los mismos hacia la parte superior e inferior del plano definido por las variables de clasificación; es decir que las dispersiones mostradas, fueron ajustadas a través de la clasificación de medias por el diseño estadístico de Clusters, el cual realizo la agrupación mediante la jerarquización de las medias obtenidas de las parcelas.



**Figura 4.** Relación y dispersión de la biomasa total en el SAF cacao + guaba de cada uno de los componentes en tres edades de plantación.

Las dispersiones muestran claramente a los conglomerados jerárquicos, reflejando la organización y distribución en el plano de los datos en las variables estudiadas. Los promedios de las biomásas se diferencian claramente de acuerdo a las edades de las plantas; es decir, las plantas de 2 – 3 años mostraron menor biomasa arbórea en comparación a las de edades mayores (Ver Anexo, Cuadro 9 y Figura 12). Esto es debido a que las plantas de avanzada edad presentan un mayor crecimiento y por lo tanto una mayor biomasa. El caso mencionado es similar para el género *Inga* sp. (utilizada como sombra); además, cabe mencionar que para la futura estimación de carbono almacenado y fijado es indispensable mostrar los valores de la biomasa de las plantas evaluadas.

Sin embargo en la cuantificación de la biomasa se suelen subestimar algunas variables como las raíces; pero debido a que se contó con ecuaciones alométricas para la determinación de la biomasa de raíces, se estimó este parámetro, realizando el cálculo respectivo empleando la fórmula elaborada por Cairns *et. al.* (1997), citada por CATIE (2003), y recomendada para suelos tropicales. Dado a un factor de proporcionalidad entre la biomasa vegetal y su contenido de carbono el cual se encuentra entre 0.45 y 0.50 de acuerdo con IPCC (2000) y BARBARAN (2001).

Por otra parte, observando la Figura 4a y b, se puede apreciar el comportamiento creciente en acumulación de biomasa del cacao tanto de la parte aérea como el sistema radicular; esto es debido al crecimiento racional que presenta esta planta, mostrando una lógica visual en la figura mencionada.

Del mismo modo, la Figura 3e, correspondiente a la dispersión de las medias de la biomasa del género *Inga*, la cual tiene un comportamiento similar a la especie anteriormente mencionada.

En las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20 (ver Anexo), podemos encontrar la agrupación de cada una de las dispersiones mostradas en la Figura 4, donde la conformación de los conglomerados es de acuerdo a la similitud de medias del contenido de biomasa en cada uno de los componentes del sistema agroforestal evaluado; los cuales fueron ajustados estadísticamente mediante el análisis de clasificación de medias jerárquicas de la prueba de clusters.

Las agrupaciones mostradas permiten observar el origen o procedencia de cada una de las muestras; así mismo, se aprecia que existen muestras que varían en la edad del sistema de cultivo, sin embargo algunas asemejan sus medias a las de otras edades; debido a factores edáficos, climáticos y humanos, que modificaron su normal desarrollo; lo que originó una diferencia en el crecimiento y acumulación de la biomasa de cada uno de los componentes del SAF cacao + guaba a nivel de las tres edades en evaluación.

Con respecto a la biomasa estimada, se puede observar que existió un comportamiento ascendente en el crecimiento y desarrollo de la planta en función a la edad de la plantación; debido al genotipo de la planta, el cual presenta un comportamiento creciente en busca de su desarrollo normal; sin embargo, el cultivo también está en función de factores externos como los bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (precipitación, horas luz, fertilidad,

sombra, etc.), los cuales dieron como resultado al fenotipo evaluado. El comportamiento de las biomásas en las tres edades evaluadas muestra un total de cuatro conglomerados de clasificación jerárquica en el sistema agroforestal de las dos especies vegetales, alcanzando un máximo de 111.14 t ha<sup>-1</sup> y una mínima de 58.00 t ha<sup>-1</sup> en las tres edades evaluadas (Ver anexo, Figura 12).

#### **4.1.2. Carbono del SAF cacao + guaba**

De acuerdo a lo observado en las dispersiones, se aprecia el comportamiento de las muestras en función del contenido de carbono almacenado a nivel arbustivo, suelo, hojarasca, especie de sombra, parte aérea y raíces del cacao (Figura 5), cuyas dispersiones fueron extraídas de acuerdo a los promedios de las biomásas del sistema agroforestal cacao + guaba en función a las tres edades de evaluación en el presente experimento. El número de evaluaciones realizadas fue de 10 parcelas para cada edad de plantación, alcanzando un total de 30 muestras por todo el sistema agroforestal. En las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa aérea, se asumió el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% sin diferenciar especies, según lo manifestado por BROWN y LUGO (1984) y IPCC (1996).

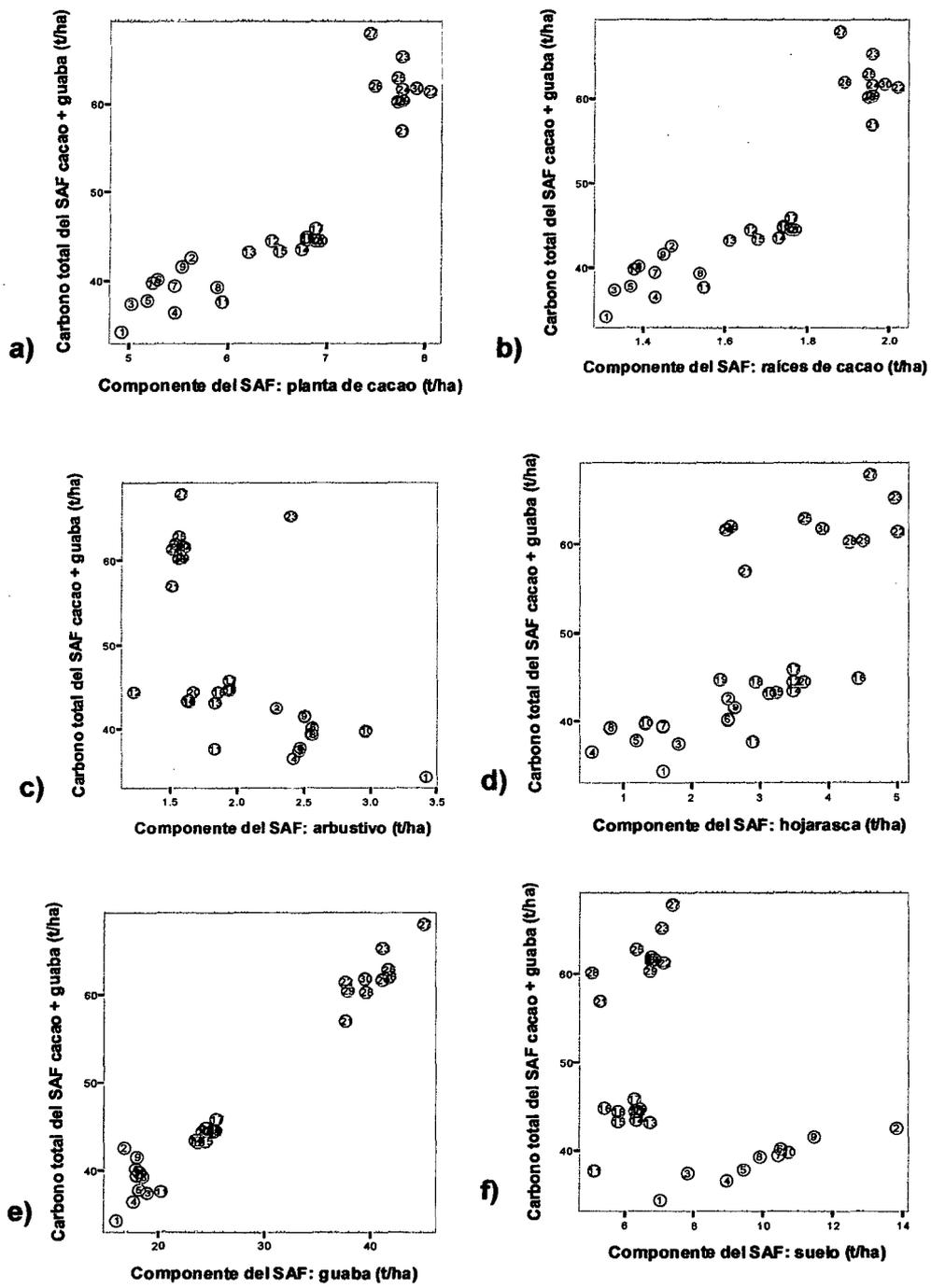
Sin embargo, en las dispersiones mostradas en la Figura 5, de los componentes guaba, raíces y planta de cacao, muestran una clara distribución de las muestras en agrupaciones; es decir, en dos conglomerados de acuerdo

a la media de los contenidos de carbono. Pero a nivel del carbono contenido en los arbustos, suelo y hojarasca, muestran un comportamiento muy diferente, no existiendo similitud o agrupación a simple vista entre los valores mostrados.

La diferencia en el comportamiento de las dispersiones para las variables mencionadas es debido a que el almacenaje de carbono en la planta de cacao, guaba y raíces responden en función al crecimiento de las plantas, lo cual diferencia un comportamiento creciente y agrupado al mismo tiempo en función a sus edades; siendo muy diferenciado al almacenaje de carbono en los arbustos y hiervas, suelo y hojarasca, debido a que esta acumulación está en función a factores que dependen de variables a largo plazo, relacionados con la formación del suelo y actividad biológica de las especies vegetales y humana; pero pueden ser fuertemente modificados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra, coincidiendo con LÓPEZ (1998).

Las medias de los resultados del carbono fijado en los SAF variaron a pesar de que se realizó una selección a través de la homologación de muestras; es decir, que las muestras o parcelas involucradas en el presente trabajo de investigación presentaron condiciones semejantes en cuanto la densidad de plantación, sombra y manejo.

1 al 10: SAF de 2 – 3 años    11 al 20: SAF de 3 – 4 años    21 al 30: SAF de 4 – 5 años



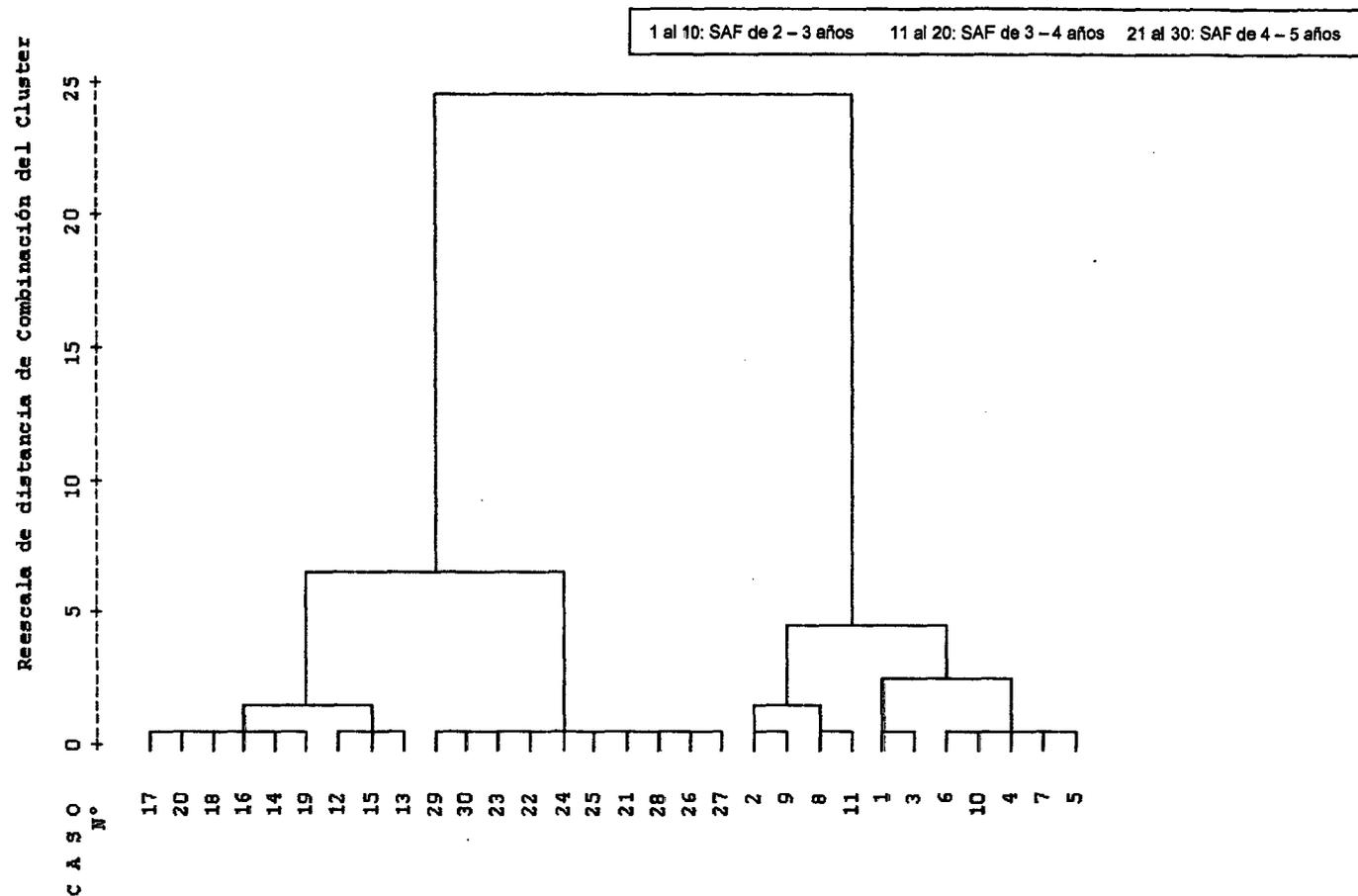
**Figura 5.** Relación y dispersión del C almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + guaba en un rango de tres edades de plantación.

La acumulación de carbono a nivel del suelo no fue muy homogénea como se aprecia en la Figura 5f, la cual muestra una desuniformidad a nivel del sistema y a la misma edad de evaluación. Esto se puede justificar citando a JENKINSON (1992), quien manifiesta que la alteración de las condiciones del suelo con las prácticas agropecuarias puede afectar la distribución de la materia orgánica, la actividad microbiana y la dinámica de nutrientes. A pesar que el contenido de carbono en el suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera, esta a nivel de las parcelas evaluadas presentaron medias menores a 10t/ha, cuyas variaciones según HOUGHTON (1995), corresponden al cambio de uso de tierra, deforestaciones, manejo, pastoreo de las tierras cultivadas. Además, el carbono del suelo proviene de la mineralización de la materia orgánica y depende sobre todo de la temperatura, y la disponibilidad de oxígeno (drenaje), el uso de tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos; y según GREENLAND (1995), un suelo expuesto a practicas constantes alcanza casi un equilibrio de la materia orgánica (carbono) después de 30 a 50 años

La interpretación final de los resultados, permite decir que los conglomerados están constituidos por parcelas con homogeneidad de medias de contenido de carbono; estas existencias de grupos dentro de las parcelas de la misma edad permite agruparlas en plantaciones de bajo contenido en biomasa hasta parcelas con alto contenido de biomasa, apreciándose la distribución de las parcelas evaluadas en el dendograma mostrado en la Figura 6. Así mismo, cabe resaltar que las agrupaciones de carbono almacenado en

las variables analizadas para los componentes del sistema agroforestal muestran agrupaciones de acuerdo a la distribución jerárquica o valor representativo de sus promedios.

El almacenamiento de carbono total y de acuerdo a las variables evaluadas o componentes del sistema agroforestal evaluado, presentaron una alta variabilidad en cada edad del cultivo; esto indica la existencia de un amplio rango en valores en el contenido de carbono. Además indica la potencialidad en el incremento del carbono almacenado mediante algunas prácticas de enriquecimiento del suelo (podas) y regeneración de este SAF perenne; también nos permite observar una desviación estándar aceptable de las muestras evaluadas, siendo alta a nivel de variables de la parte aérea del cacao y carbono total debido al incremento de su contenido en las diferentes edades de siembra, lo que incrementa la diferencia de los promedios en dichas variables. Aquí radica la diferencia en el comportamiento de las muestras en la acumulación de carbono observado en el dendograma de la Figura 6, debido a que la influencia de las condiciones edáficas (suelos degradados o fértiles), manejo de la plantación e historial de campo, los cuales son factores que influyen en la acumulación final de carbono a nivel aéreo y edáfico, mostrando resultados de almacenaje con comportamientos diferentes a pesar que son plantaciones de las mismas edades, pudiendo observar que algunas parcelas de menor o mayor edad son semejantes a otras que no tienen las mismas edades en el sistema agroforestal (Ver Anexo, Cuadro 13, edades de plantación y número de muestras).



**Figura 6.** Dendrograma de clasificación del contenido de carbono almacenado de las 30 parcelas evaluadas en el SAF cacao CCN – 51 + guaba, en tres edades de plantaciones en la provincia de Leoncio Prado.

La conglomeración u agrupación se realizó utilizando el método de Ward, el cual conforma agrupaciones donde la varianza entre grupos es la máxima y dentro de los grupos es la mínima. Se definieron cuatro grupos de almacenaje o fijación de carbono (Figura 6), siendo los cuatro Cluster o conglomerados formados por 9, 10, 4 y 7 parcelas o muestras respectivamente.

En el presente dendograma, además de representar las agrupaciones existentes entre las muestras, nos está representando su distribución a una escala estandarizada a 25 puntos. Donde líneas horizontales identifican a elementos fundidos (conglomerados) y las líneas verticales, la distancia entre los elementos. Sabiendo que para la mayor distancia de fusión entre los conglomerados vale 1299.94 (entre el conglomerado 1 y el 12) y la menor 0,50 (entre 17 y 20). Puesto que la distancia representada en el dendograma esta reescalada, a la distancia mayor (1299.94) le corresponde un valor 25 y a la menor (0,50) un valor de 1 (Ver Cuadro 11 Anexo).

La primera etapa de fusión se representa en el conglomerado 1, donde puede observarse que las parcelas 17, 20, 18, 16, 14, 19, 12, 15 y 13; conglomerado 2: 29, 30, 23, 22, 24, 25, 21, 28, 26 y 27; conglomerado 3: 2, 9, 8 y 11, y el conglomerado 4, por las parcelas restantes. El conglomerado 1 se encuentran distantes al conglomerado 2 a una distancia de 2 puntos (la distancia que va desde el origen de la escala hasta el punto 2). Por el contrario el conglomerado 2 se encuentra a una unión del punto 1; El conglomerado 3 y 4 a su vez tienen una sub agrupación de muestras homogéneas dentro de

ellas, la cual difiere entre las mismas ya que se funden a una distancia de 2 y 3 puntos (la distancia que va desde el origen de la escala hasta el punto de fusión). Los valores exactos de las distancias entre estos elementos se encuentran en el Cuadro 12 (historial de conglomeración); cabe mencionar que las muestras restantes no mencionadas anteriormente, pertenecen al segundo conglomerado.

Las fusiones que se producen en la parte baja de la Figura 7, indican que el conglomerado formado es bastante homogéneo; por el contrario, las fusiones que se producen en la zona superior de la escala indican que el conglomerado formado es bastante heterogéneo.

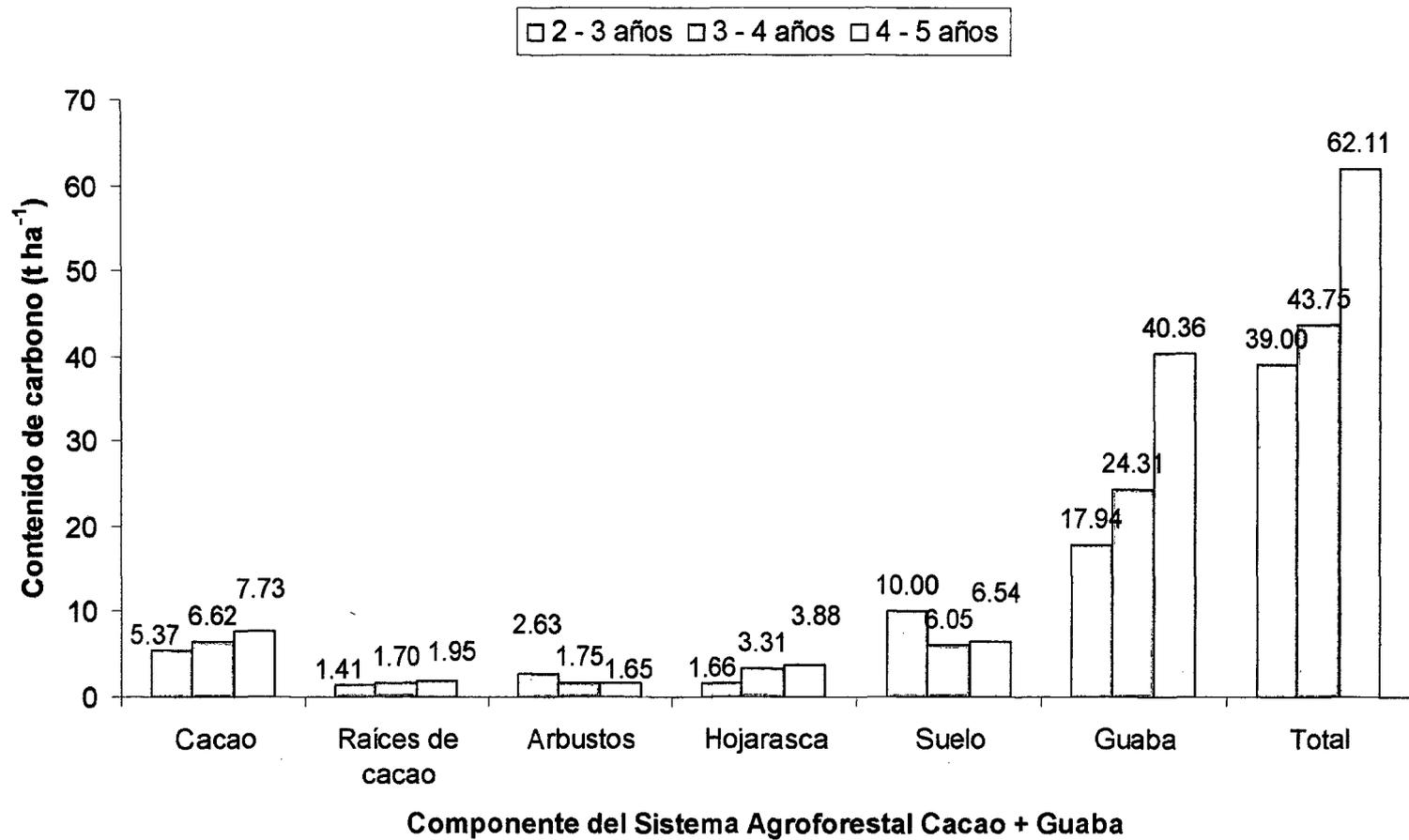
Así mismo en las Figuras 16, 17, 18, 19, 20 y 21 (Ver Anexo), podemos observar las agrupaciones de todos los conglomerados existentes a nivel de cada uno de los componentes del SAF cacao + guaba a nivel de las tres edades de evaluación.

Con respecto al contenido de carbono del sistema agroforestal de cacao + guaba en plantaciones de tres edades, en la Figura 7, se puede observar las diferencias existentes de carbono almacenado entre los tres rangos de edades del cultivo de cacao bajo un mismo sistema agroforestal y a nivel de todos sus componentes; estableciéndose un crecimiento ascendente en función al tiempo de desarrollo y crecimiento del cultivo, esto es debido a que los árboles en estudio son plantas perennes, y pueden actuar como un

sumidero de carbono por periodos de muchos años y continuar almacenando carbono hasta que se cortan y mueren, concordando con SCHROEDER (1994); DIXON (1995) y PANDEY (2002).

Es notable la interacción favorable del sistema agroforestal cacao + guaba en las tres edades evaluadas, el cual incrementa la acumulación de carbono a través del tiempo, concordando con PANDEY (2002), quien manifiesta que un sistema agroforestal típico crea una interacción sinérgica entre los cultivos y los árboles, mientras que al mismo tiempo el carbono es secuestrado y almacenado continuamente, ya que el almacenaje de carbono es a corto y mediano plazo (décadas y hasta siglos) en los árboles y en el suelo.

Por otra parte en el sistema agroforestal, el almacenamiento de carbono se realizó a través de un proceso dinámico de acumulación en función al tiempo en los troncos, raíces y en el suelo, aunque un almacenamiento de carbono realizado solo puede ser considerado si hay un balance positivo después de varias décadas al compararlas con una reserva de carbono inicial de acuerdo a ALBRECHT y KANDJI (2003).



**Figura 7.** Promedios de la estimación del carbono almacenado por el SAF cacao + guaba en plantaciones de tres edades.

El carbono almacenado por el sistema agroforestal cacao + guaba alcanzó un promedio de 62.11 t C/ha en plantaciones de 4 - 5 años de edad, mostrando una mayor cantidad de almacenaje a nivel aéreo (40.36 t C/ha) de la planta cultivada como sombra, seguida del carbono almacenado en la planta de cacao (7.73 t C/ha); y en tercer lugar, a nivel del suelo con 6.54 t C/ha. También se aprecia que el carbono almacenado a nivel del género *Inga* sp. fue de 17.94, 24.31 y 40.36 t C/ha en plantaciones de 2 - 3, 3 - 4 y de 4 - 5 años; y según la clasificación que realiza ANDRADE y SEGURA (2005), para el almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales con cacao, el promedio del carbono almacenado en la biomasa total por SAF mostrado en la Figura 6, nos permite decir que el sistema agroforestal de cacao + guaba de 2 - 3 y 3 - 4 años son cacaotales de nivel medio de almacenaje de carbono, mientras que el sistema de 4 - 5 años está en nivel alto.

La menor cantidad de almacenaje de carbono en el sistema agroforestal a nivel de las tres edades evaluadas se encontró a nivel de las raíces de cacao alcanzando un máximo de 1.95 t C/ha a nivel de plantaciones de 4 a 5 años de edad y un mínimo de 1.41 t C/ha en plantaciones de 2 a 3 años; esta diferencia en abundancia de especies arbustivas es ocasionada por que en las plantaciones de menor edad del SAF, la predominancia de las especies arbustivas es más notoria debido a que no existe presencia de sombra propiciada por la guaba y autosombra del cacaotal, ocasionando así la presencia de malezas en la plantación; mientras que en plantaciones de mayor edad, la abundancia de la sombra generada por las especies cultivadas

comprendidas en el sistema agroforestal son un impedimento de la proliferación de las especies arbustivas, ocasionando este decline conforme las plantaciones evaluadas son de mayor edad; otro factor de impedimento de la presencia de malezas es debido a la hojarasca proporcionada por la caída de las hojas del género *Inga* y *Theobroma*; así mismo, por la actividad de podas en el cultivo.

Con respecto al sistema agroforestal de las dos edades inicialmente evaluadas (2 - 3 y 3 - 4 años), estas mostraron un comportamiento similar a nivel de sus componentes en el almacenaje de carbono con el de 4 - 5 años, alcanzando un promedio de 39.00 y 43.75 t C/ha respectivamente, mostrando una lógica creciente en función a las edades y desarrollo de las plantas en el sistema agroforestal.

Los resultados obtenidos comparados con los de ALBRECHT y KANDJI (2003), quienes reportan un almacenamiento de carbono en sistema agroforestal entre 39.00 y 102.00 t C/ha en plantaciones de hasta 25 años de edad, permiten dar confiabilidad a los promedios reportados en el presente experimento.

Así mismo, se discrepa con GONZALES (2007), quien realizó en la Estación Experimental Tulumayo una captura de carbono secuestrado por sistema de uso de tierra en el cultivo de cacao alcanzando 101.01 t C/ha incluyendo las sumatorias de los componentes arbóreo, arbustivo - herbáceo,

hojarasca y edáfico; sin la captura a nivel de raíces. Cabe resaltar que el reporte considerado, se realizó empleando otro protocolo de muestreo y ecuación de estimación para especies forestales, cuyos promedios alcanzados superan al reportado por el presente trabajo a nivel del cultivo individual.

Del mismo modo CONCHA (2007), obtiene resultados de captura de carbono en el mismo sistema agroforestal que varían desde 26.2 t C/ha para el sistema de Pachiza de 5 años, hasta 45.07 t C/ha del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años, con el cual también discrepamos.

Por otro lado LAPEYRE (2004), alcanza un reporte de 47.2 t C/ha en plantaciones de SAF con guaba de 15 años sin componente forestal y radicular, discrepando con lo demostrado en el presente trabajo.

Asimismo, CONCHA (2007), estima la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos de guaba, oscila desde 12.09 a 35.5 t C/ha, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 a 9.97 t C/ha; en sistemas agroforestales de 12 y 20 años, permitiendo una proyección del almacenamiento en mayores edades del sistema agroforestal.

A continuación en el Cuadro 5, se muestra el resumen de los promedios reportados en el presente trabajo, considerando plantaciones de tres edades en un sistema agroforestal de cacao + guaba; en la cual se observa la desviación estándar alcanzada.

Los valores más altos alcanzados por la desviación estándar se encuentran a nivel de dos componentes, siendo estos la parte aérea del cultivo de cacao y el carbono total del SAF, lo que permite decir que no existe homogeneidad a nivel de las muestras; esto es a consecuencia de los contenidos de carbono en cada una de las edades evaluadas, las cuales difieren por consecuencia del crecimiento de las especies vegetales dentro del SAF.

**Cuadro 5.** Promedios de carbono almacenado por el sistema agroforestal cacao + guaba en la provincia de Leoncio Prado.

Edad del cultivo (años)	Captura de carbono de cacao (t ha <sup>-1</sup> )					Guaba (t C ha <sup>-1</sup> )	Total SAF (t C / ha <sup>-1</sup> )
	Parte aérea	Necromasa	Raíces	Suelo	Arbustivo		
2-3	5.37	1.66	1.41	10.00	2.63	17.94	39.00
3-4	6.62	3.31	1.70	6.05	1.75	24.31	43.75
4-5	7.73	3.88	1.95	6.54	1.65	40.36	62.11
DS	3.37	1.15	2.15	2.15	0.54	7.35	13.82

DS: Desviación estándar

El Cuadro 6, muestra los centroídes iniciales y finales del carbono almacenado en las plantas evaluadas, cuya tabla es de gran utilidad para interpretar el desplazamiento de los conglomerados, pues resume los valores centrales de cada uno de ellos conglomerado en las variables de interés a nivel de cada uno de las figuras mostradas; permite observar los centros inicialmente sin procesar y procesados, ajustados estadísticamente y su distribución en las

dispersiones del dendograma visto en la Figura 6. En pocas palabras, nos muestra las medias finales que están dispersas en la Figura 5 (para todos los parámetros como suelo, arbustivo, necromasa, etc.) que están en función a estos centroídes ajustados estadísticamente.

**Cuadro 6.** Centroídes de los conglomerados iniciales y finales del carbono almacenado en el SAF cacao + guaba.

Variable evaluada	Agrupación 1 (t ha <sup>-1</sup> )		Agrupación 2 (t ha <sup>-1</sup> )	
	Inicial	Final	Inicial	Final
C cacao	6,23	6,08	7,86	7,71
C arbustivo	2,35	2,43	1,52	1,63
C hojarasca	0,83	2,07	5,00	3,68
C suelo	10,63	10,21	14,26	12,48
C raíces	1,53	1,45	1,81	1,98
C guaba	25,17	25,06	37,73	40,32

#### **4.2. Biomasa y carbono almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + bolaina en plantaciones de tres edades**

##### **4.2.1. Biomasa del SAF cacao + bolaina**

El ciclo global del carbono en el planeta se basa en la absorción de dióxido de carbono que realizan las plantas a través de la fotosíntesis en su proceso de crecimiento; aumentando su masa vegetal aérea y radicular; esto se refleja y sucede en mayor acumulación en plantaciones perennes como el cacao, y mucho más en los sistemas agroforestales.

En la Figura 8, del conglomerado de pertenencia, después de realizar un análisis discriminante a las variables evaluadas, la cual indica una existencia de diferencias entre las medias obtenidas. La dispersión final muestran una distribución de la biomasa del cacao y la especie forestal (bolaina) con respecto a la biomasa total del SAF; existiendo un total de dos conglomerados a nivel de la biomasa de la bolaina y a nivel del cultivo de cacao.

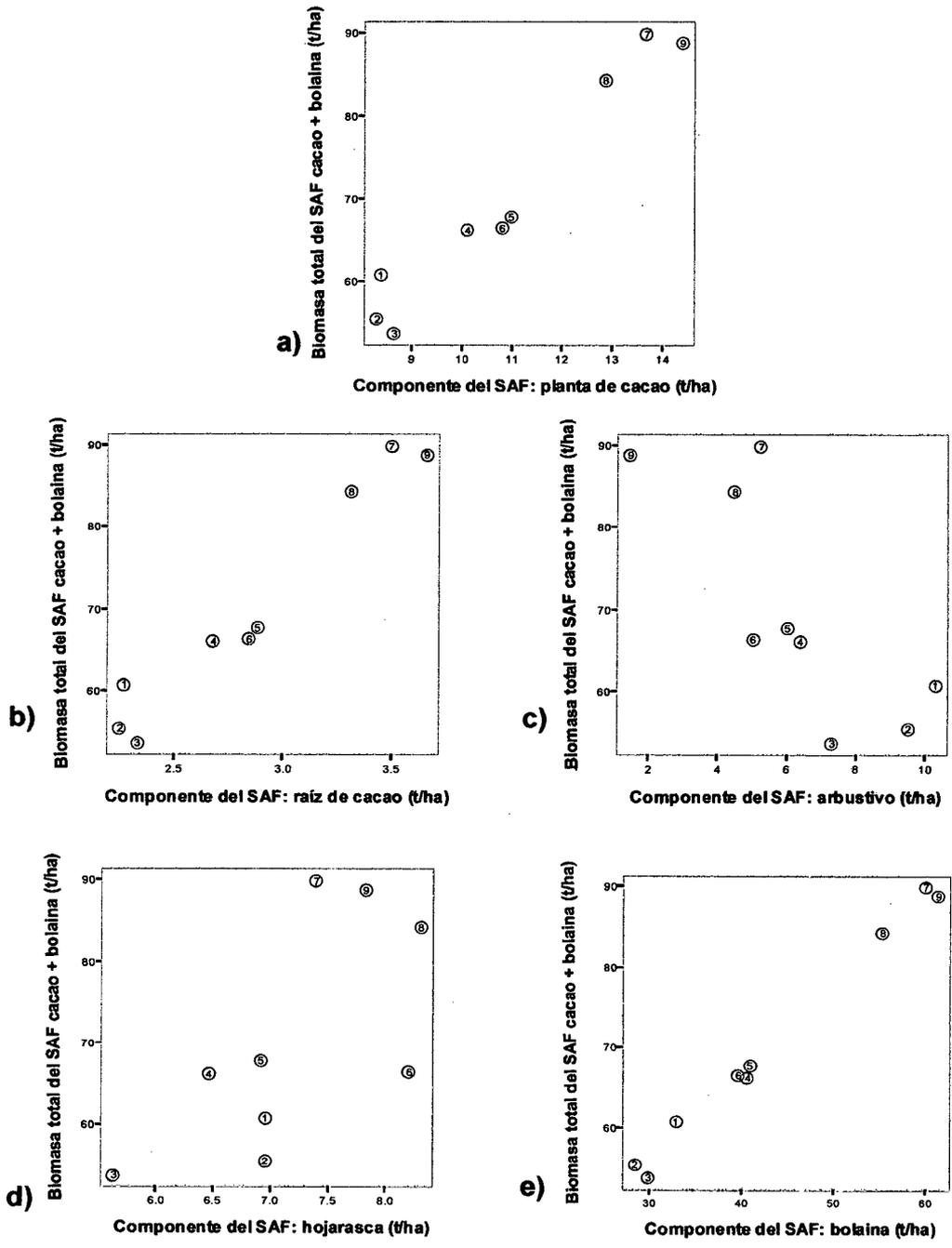
Durante el ciclo de crecimiento de las especies evaluadas (cacao y bolaina), la masa vegetal captura y retiene un valor creciente de carbono, que es consecuentemente retirado de la atmósfera. Conforme la edad de la plantación es mayor, su acumulación del carbono atmosférico también lo es, ya que las especies arbóreas y arbustivas son responsables del mayor almacenamiento de carbono, y el objeto principal de los estudios relativos a la captura biológica de carbono.

Observando la Figura 8a, b, c, d y e; la distribución de los promedios en el plano están sujetas a unos centroídes ajustados por un análisis de conglomerados mediante una actualización iterativa de datos; sin embargo a simple vista se puede apreciar tres conglomerados, pero el número verdadero de conglomerados para el presente caso es cuatro (Ver Anexo, Figuras 22, 23, 24, 25 y 26), ya que sus medias ajustadas se encuentran más próximos a los promedios de los valores individuales a los demás integrantes de cada grupo evaluado.

En el presente trabajo se procedió a realizar la estimación empleando ecuaciones alométricas ya planteadas por el IPCC (2003), ANDRADE y SEGURA (2005) y CATIE (2003), para la medición de la cantidad de biomasa aérea y subterránea en cualquier sistema de uso de la tierra. Ya que si se realizaba sin las ecuaciones estimadas se tendría primero que realizar un análisis destructivo vegetal directo, y segundo las estimaciones de la biomasa total, determinando el tamaño y diámetro de los árboles, a fin de poder encontrar las biomásas de los individuos.

La biomasa alcanzada en el sistema agroforestal de cacao + bolaina llega a sobrepasar las 87.00 t/ha en plantaciones de 4 – 5 años (Figura 13, Ver Anexo), tal como sucedió en la Figura 7, del SAF cacao + guaba, observando un comportamiento ascendente reflejado por un crecimiento natural y genético de las plantas.

1 al 3: SAF de 2 – 3 años    4 al 6: SAF de 3 – 4 años    7 al 9: SAF de 4 – 5 años



**Figura 8.** Relación y dispersión de la biomasa aérea total en el SAF cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.

#### **4.2.2. Carbono del SAF cacao + bolaina**

El carbono estimado a través de la biomasa del SAF cacao + bolaina, observamos que en la Figura 9 y 10, se aprecia el comportamiento de las muestras en función del contenido de carbono almacenado a nivel de cada uno de sus componentes, existiendo agrupaciones en función al promedio de las muestras, las cuales se pueden apreciar en el dendograma mostrado en la Figura 11. Así mismo, en las Figuras 22, 23, 24, 25, 26 y 27 (Ver Anexo), se pueden apreciar la distribución y agrupación de las muestras de cada uno de los componentes del sistema agroforestal cacao + bolaina a nivel de las tres edades evaluadas, después de ser analizadas estadísticamente por la clasificación de medias jerárquicas del análisis de clusters. Sin embargo cabe resaltar que las dispersiones de carbono almacenado en las variables analizadas muestran una clara distribución en agrupaciones; es decir, en cuatro conglomerados de acuerdo la distribución jerárquica o valor representativo de ellos. El comportamiento de las dispersiones para las variables de almacenaje de carbono en el sistema, responde en función a la unidad fisiográfica de siembra y crecimiento de las plantas, lo cual permite tener un comportamiento creciente y agrupado homogéneamente al mismo tiempo en función a sus edades. Mientras que a nivel del almacenamiento a nivel del suelo y hojarasca es indistintamente diferente, ya que se encuentra sujeto factores que infieren en la cubierta del suelo y su uso, y la cantidad de carbono almacenado en un sitio depende de la precipitación y temperatura, las condiciones del suelo, también de las actividades humanas desarrolladas, según lo manifestado por ALBRETCH y KANDJI (2003).

1 al 3: SAF de 2 – 3 años    4 al 6: SAF de 3 – 4 años    7 al 9: SAF de 4 – 5 años

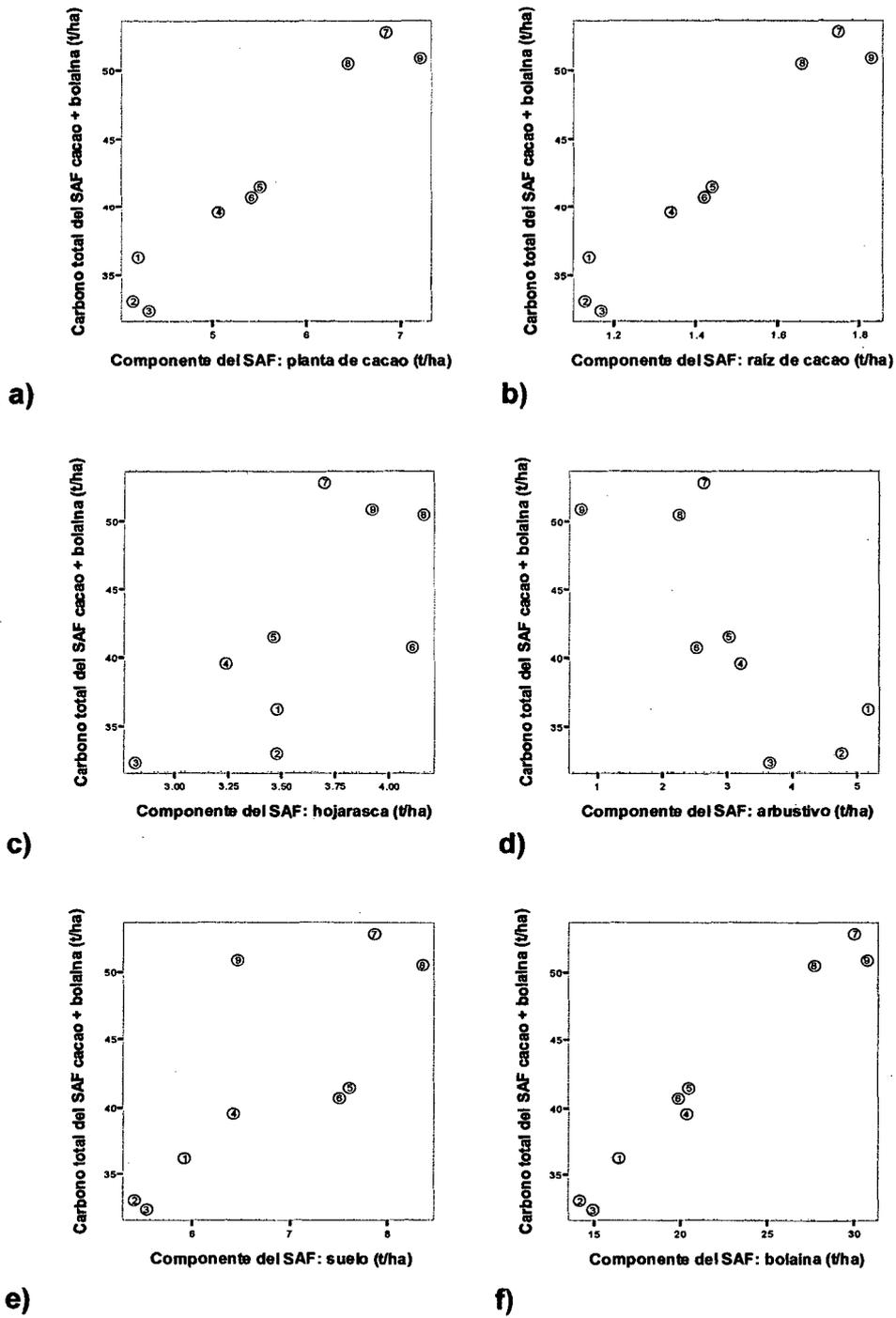


Figura 9. Relación y dispersión del carbono almacenado en el sistema agroforestal (SAF) cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.

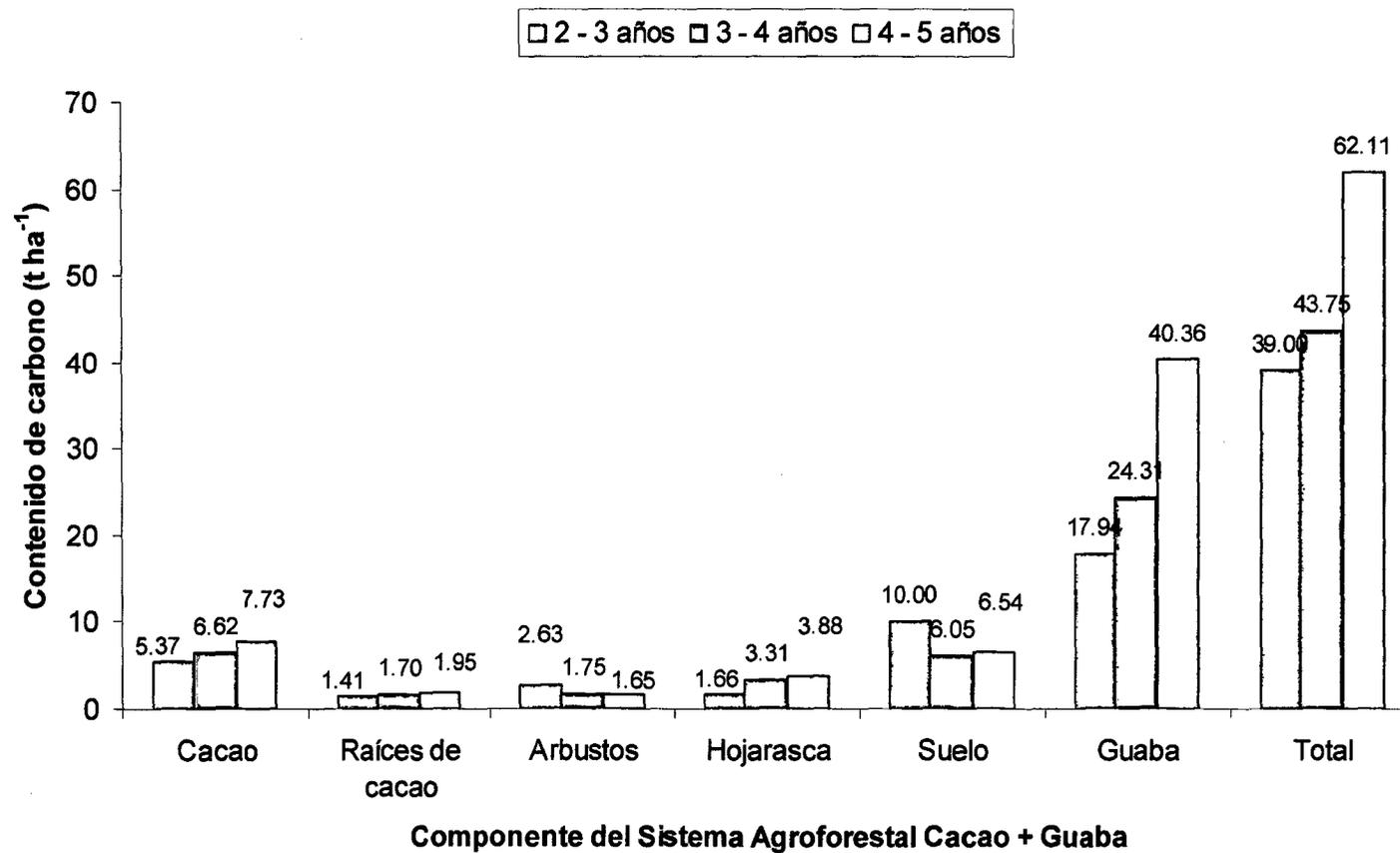


Figura 10. Promedios de la estimación del carbono almacenado por el SAF cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.

La cuantificación del carbono en los diferentes ecosistemas se basa principalmente en la producción de biomasa en los diferentes compartimentos del sistema agroforestal. La variabilidad de los datos por unidad es enorme, dependiendo de sus factores como los componentes del sistema, clima, suelo, especies, manejo del sistema y/o factores socioeconómicos según lo manifestado por CAMERO *et. al.* (1999). En la Figura 10, se puede observar las diferencias existentes entre las diferentes edades del cultivo de cacao bajo un mismo sistema agroforestal (cacao + bolaina); estableciéndose un comportamiento ascendente en función al crecimiento y desarrollo del cultivo.

Con respecto al carbono almacenado por el sistema agroforestal cacao + bolaina en plantaciones de 4 – 5 años de edad, estas alcanzaron un promedio de 51.41 t C/ha, mostrando una mayor cantidad de almacenaje a nivel aéreo (29.48 t C/ha) de la planta cultivada como sombra, seguida del carbono existente en el suelo (7.56 t C/ha). La planta de cacao presentó una media de 6.83 t C/ha, mientras que la menor cantidad de almacenaje de carbono en el SAF se encontró a nivel radicular alcanzando un promedio de 1.14 t C/ha.

Sin embargo no concordamos con lo reportado por GONZALES (2007), quien reporta una captura de carbono en el sistema de uso de tierra: Bolaina – Pijiuayo - Cítrico de 138.90 t C/ha; cabe resaltar nuevamente que estos reportes provienen de un distinto protocolo de muestreo y de una

estimación con ecuaciones planteadas para especies forestales sin tener en cuenta la parte radicular de las plantas evaluadas, al mismo tiempo nos resulta completamente exagerado sus resultados, ya que LAPEYRE (2004), reporta en plantaciones de cacao de 15 años un promedio de 47.20 t C/ha. Del mismo modo CONCHA *et. al.*, (2007), muestra resultados que varían desde 26.20 a 45.07 t C/ha en plantaciones agroforestales de 12 años en Juanjui menos densas y con protocolos de muestreo para especies forestales.

Con respecto al sistema agroforestal de las dos edades inicialmente evaluadas (2 - 3 y 3 - 4 años), estas mostraron un comportamiento similar con respecto al de mayor edad a nivel de las variables evaluadas en el almacenaje de carbono, alcanzando un promedio de 33.99 y 40.62 t C/ha respectivamente; del mismo modo se pudo observar en la Figura 9, que a nivel de las especies evaluadas existe un comportamiento ascendente en la acumulación de carbono en función al crecimiento de la plantaciones o sistemas agroforestales evaluados.

El Cuadro 7, permite la visualización de los promedios de almacenamiento de carbono a nivel de las variables evaluadas; al mismo tiempo la variación de la desviación estándar indicando la homogeneidad de los resultados y el grado de error alcanzado. Sin embargo para los datos obtenidos, las desviaciones estándares están en un rango aceptable, lo que permite que genere confiabilidad en los datos obtenidos.

**Cuadro 7.** Promedios de carbono almacenado por la asociación agroforestal cacao + bolaina

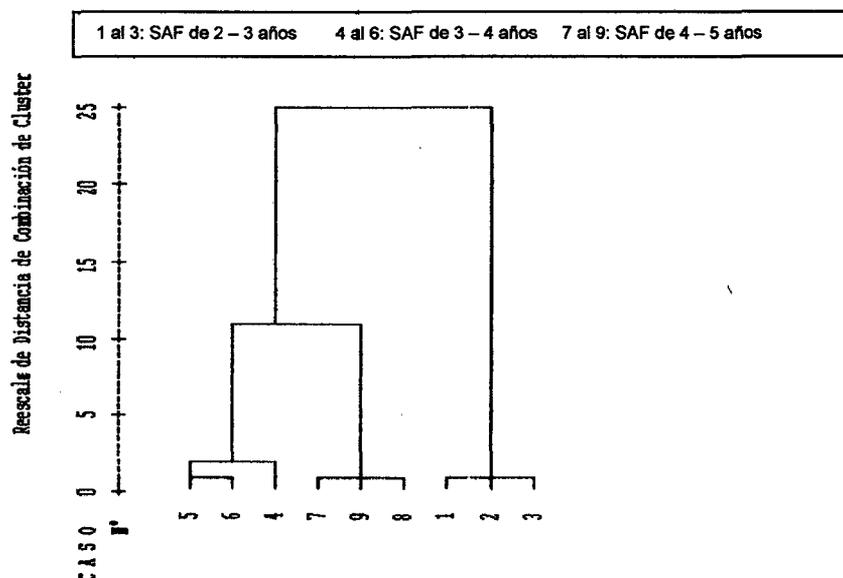
Edad del cultivo (años)	Captura de carbono de cacao (t C ha <sup>-1</sup> )				Bolaina (t C ha <sup>-1</sup> )	Total SAF (t C ha <sup>-1</sup> )	
	Parte aérea	Necromasa	Raíces	Suelo			Arbustivo
2-3	4,22	3,26	1,14	5,62	4,53	15,22	33,99
3-4	5,32	3,60	1,40	7,18	2,91	20,21	40,62
4-5	6,83	3,92	1,75	7,56	1,87	29,48	51,41
DS	3,15	0,33	3,69	1,03	1,34	6,24	12,52

DS: Desviación estándar

Por otra parte el Cuadro 7, permite observar los promedios del carbono contenido en el suelo, lo cual permite decir que las medias no superan a 7.56 t/ha, siendo una cantidad muy baja en comparación a lo encontrado en los suelos forestales de Francia a un metro de profundidad, donde la media del ecosistema fue de 137 t C/ha, y el suelo representa 71 t C/ha según el IPPCC (2000). Y en suelos de pastoreo el carbono estimado promedia las 70 t C/ha, similar a las cantidades en los suelos forestales. Cabe resaltar que las muestras fueron tomadas a 32 cm del suelo, aparte de los factores climáticos (temperatura), los procesos más importantes que causan pérdidas de carbono en el suelo con la erosión y la mineralización de la materia orgánica. La lixiviación del carbono es otro mecanismo de pérdida.

La Figura 11, muestra el agrupamiento de las parcelas en grupos, donde la varianza entre grupos es la máxima y dentro de los grupos es la mínima,

definiendo tres grupos de almacenaje o fijación de carbono. Dicha conformación de los clusters o conglomerados es diferente para los tres casos; ya que cada conglomerado presenta 3 muestras; las cuales fueron agrupadas por homologación de medias.



**Figura 11.** Dendrograma de clasificación del carbono almacenado de las 9 muestras evaluadas en el SAF cacao CCN – 51 + bolaina en plantaciones de tres edades.

En el presente dendrograma, además de representar las agrupaciones existentes entre las muestras, nos están representando su distribución a una escala estandarizada a 25 puntos como en el caso de carbono a nivel del SAF cacao + guaba. Las líneas horizontales identifican a las muestras fundidas (conglomerados) y las líneas verticales, la distancia entre ellas. Sabemos que para la mayor distancia entre conglomerados vale 2430.776 (entre el conglomerado 1 y el 4) y la menor 4.909 (entre 5 y 6). Puesto que la distancia representada en el dendrograma esta reescalada, a la

distancia mayor (2430.776) le corresponde un valor 25 y a la menor (4.909) un valor de 1 (Ver Anexo, Cuadro 12).

La primera etapa de fusión se representa en el conglomerado 1, donde puede observarse que los casos 5, 6 y 4; el conglomerado 2: 7, 9, y 8, y el tercer conglomerado por las demás parcelas. Los mismos que se encuentran distantes a 2, 10 y 1 respectivamente (la distancia que va desde el origen de la escala hasta la fusión de las muestras). Las graficas de agrupación de cada uno de los componentes del SAF cacao + bolaina son mostradas en las Figuras 22, 23, 24, 25, 26 y 27 (Ver anexo). Por otro lado, en el Cuadro 8, se muestra los resultados iniciales y finales después de la iteración de los datos procesados estadísticamente, los cuales son centros de los conglomerados mostrados anteriormente en la Figura 9; es decir, que la ubicación final de las dispersiones mostradas esta en función a las medias mostradas en dicho cuadro.

**Cuadro 8.** Centroídes de los conglomerados iniciales y finales del carbono almacenado en el SAF cacao + bolaina.

Variable evaluada	Agrupación 1 (t C/ha)		Agrupación 2 (t C/ha)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
C cacao	5,04	5,16	6,25	6,86
C arbustivo	5,28	4,43	1,64	2,50
C hojarasca	2,24	2,87	4,34	3,71
C suelo	5,20	6,20	7,73	7,45
C raíces	1,22	1,36	1,74	1,63
C bolaina	15,46	19,92	24,35	28,54

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, considerando a los objetivos planteados y las condiciones en las que se realizó el experimento, se puede concluir lo siguiente:

- La mayor biomasa acumulada a nivel de los sistemas agroforestales se encontró en la asociación cacao + guaba con 58.00, 75.40 y 111.14 t C/ha en plantaciones de 2 – 3, 3 – 4 y 4 – 5 años de edad; frente a la asociación cacao + bolaina con 56.74, 66.90 y 87.69 t C/ha en plantaciones de las mismas edades al primer sistema.
- A nivel de cada componente, las mayores biomásas presentes en los sistemas evaluados se encontraron en las especies de sombra con 35.87, 48.62 y 80.72 t C/ha en plantaciones de 2 – 3, 3 – 4 y 4 – 5 años de edad y 30.44, 40.42, 58.95 t C/ha para la asociación cacao + guaba y cacao + bolaina respectivamente. Estos resultados fueron precedidos por las biomásas presentes en las raíces del cacao, guaba, bolaina, arbustos y hojarasca.
- El mayor almacenaje de carbono en los sistemas agroforestales de cacao + guaba y cacao + bolaina de 4 a 5 años alcanzaron una media de 62.11 y 51.41 t C/ha respectivamente; mientras que en los sistemas agroforestales de 2 - 3 y 3 - 4 años de edad, la asociación cacao +

guaba supero al otro sistema con 39.00 y 43.75 t C/ha frente a 33.99 y 40.62 t C/ha respectivamente.

- La media del almacenamiento de carbono para cacao en el sistema agroforestal cacao + guaba fue: 5.37, 6.62 y 7.73 t C/ha en las edades de 2 – 3, de 3 – 4 y 4 - 5 años; y para guaba: 17.94, 24.31 y 40.36 t C/ha; mientras que para cacao en el sistema agroforestal cacao + bolaina alcanzó 4.22, 5.32 y 6.83 t C/ha en las edades de 2 - 3, de 3 - 4 y 4 - 5 años; y para la bolaina 15.22, 20.21 y 29.48 t C/ha.
- Los sistemas agroforestales evaluados tienen un gran potencial para la captura de carbono.

## **VI. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a la metodología empleada y los resultados obtenidos es posible recomendar lo siguiente:

- Realizar plantaciones agroforestales de cacao + guaba con fines de mitigar la contaminación atmosférica, debido a que este realiza una mayor acumulación de almacenamiento de carbono en comparación a plantaciones de cacao + bolaina.
- Continuar con este proyecto con el propósito de obtener información acerca del almacenamiento de carbono en árboles maderables manejados como sombras del cacao y sobre los índices de crecimiento a través de los años, tanto para frutales como maderables.
- Ejecutar estudios de estimación económica para la valorización por la captura de carbono a nivel de los sistemas de siembra del cultivo de cacao.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en 10 comunidades de la provincia de Leoncio Prado; abarcando los meses de abril – junio del 2007, teniendo como objetivo la estimación del carbono almacenado a nivel de los sistemas agroforestales de cacao + guaba y cacao + bolaina; ambos comprendidos por parcelas de tres edades diferentes (2-3, 3-4 y 4-5 años de siembra), determinado por la sumatoria del carbono almacenado en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), guaba (*Inga edulis* Mart.), bolaina (*Guazuma crinita* Lam.), suelo, hojarasca y arbustos.

La metodología utilizada comprendió técnicas de estimación de carbono almacenado en los sistemas agroforestales que no fueron destructivas, empleando para ello el protocolo de muestreo de estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales con cacao, preparado por el IPCC (2003), citado por ANDRADE y SEGURA (2005). Dicho protocolo comprende ecuaciones alométricas para la estimación de las biomásas de las plantas de cacao determinadas por el diámetro a 30 cm del suelo ( $D_{30cm}$ ) y de las especies empleadas como sombra guaba y bolaina, evaluando el diámetro a la altura de pecho (DAP). Para la determinación del carbono a nivel de las especies arbustivas y hojarasca se estableció por la biomasa comprendida a nivel de la hectárea; y para el caso del carbono almacenado en el suelo, se estipuló a través del análisis de suelo de los sistemas agroforestales cuyas muestras se tomaron con un tubo muestreador, Determinadas las biomásas, se

calculó el carbono almacenado mediante un factor de proporcionalidad entre la biomasa y su contenido de carbono, que fue de 0.5.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se establece que en los sistemas agroforestales de cacao + guaba, se realiza un mayor almacenamiento de carbono a nivel de las plantaciones con edades de 2-3, 3-4 y 4-5 años, alcanzando medias de 39.00, 43.75 y 62.11 t C/ha respectivamente, frente al sistema agroforestal de cacao + bolaina que alcanzó 33.99, 40.62 y 51.41 t C/ha en plantaciones de las mismas edades,

La media del almacenamiento de carbono a nivel de especies en el sistema agroforestal cacao + guaba fue: cacao: 6.78, 8.32 y 9.68 t C/ha en las edades de 2 – 3, de 3 – 4 y 4 – 5 años (total a nivel aéreo del cacao y raíces); y guaba: 17.94, 24.31 y 40.36 t C/ha; mientras que en el sistema agroforestal cacao + bolaina, el cacao alcanzó 5.36, 6.72 y 8.58 t C/ha; y la bolaina 15.22, 20.21 y 29.48 t C/ha respectivamente en las mismas edades.

Para una mejor explicación de los resultados, se empleo el análisis de clasters 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.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ADRIAZOLA, 1991. Manejo del cultivo del cacao. En: Curso Moderno de Cacao. Colegio de Ingenieros del Perú. Tingo Maria, Perú. 70pág.
2. ALBRECHT, A. y KANDJI, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3):15-27.
3. ALEGRE J., ARÉVALO L., RICSE A., BARBARAN J. & PALM C. 2001. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. Symposium Internacional de Agroforesteria. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de Noviembre 2000. 96 pág.
4. ALEGRE J., RICSE A., ARÉVALO L., BARBARÁN J. & PALM C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
5. ANDRADE, H. J.; IBRAHIM, M. 2000. Fijación de carbono en sistemas silvopastoriles: una propuesta metodológica (en línea). Consulta 10 Nov 2003. Disponible en <http://lead.virtualcentre.org>
6. ANDRADE, H; IBRAHIM, M. 2003. Cómo monitorear el secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles?. *Revista Agroforestería en las Américas*. Vol. 10 N°. 39-40: 109-116.
7. 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 pág.

8. AREVALO, L. J, A. & PALM, C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez. 25 pág.
9. BARBARAN, J. 2001. Cuantificación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en Campo Verde. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa - Perú. 66p.
10. BARTLEY y DE CASTRO, 1983. Caracterizacáo dos recursos geneticos do cacaeiro: Folha, fruto e semente de selecoes de Bahia das series SIC e SIAL. Revista *Theobroma*. 263-273pág.
11. BROWN, S. y LUGO A. 1984. Biomass of Tropical Forest: a New Estimate Based on Forest Volumes. *Science* 223: 1290-1293
12. CALLO, D. 2000. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. Chapingo, México. Tesis M.Sc. Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo - Mexico. 72p.
13. CAMERO, A; CAMARGO, J. C; IBRAHIM, M; SCHLÖNVOIGT, A. 1999. Agroforestería y sistemas de producción animal en América Central. In Seminario Internacional Intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. Turrialba, CR, FAO-CATIE. p 177-198.
14. CATIE. 2003. 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.

15. CONAM. 2001. Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima.
16. 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 pág.
17. CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE. 2001. Perú vulnerabilidad frente al cambio climático aproximaciones a la experiencia con el fenómeno el Niño. Lima, Perú. 209 pág.
18. CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO. 2002. Guía Metodológica de Valoración Económica de Bienes, Servicios e Impactos Ambientales. México. 14 pág.
19. CRESPO, E. y CRESPO, F. 1997. Cultivo y beneficio del cacao CCN51. Editorial El Conejo. Ecuador. 97 pág.
20. DE JONG, B.; TIPPER, R. y MONTROYA-GOMEZ, G. 2000. An economic analysis potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico. *Ecological Economics* 33: 313-327.
21. DIXON, R. K. 1995. Agroforestry Systems: sources or sinks of greenhouse gases?. *Agroforestry Systems* 31: 99-116.

22. FISCHER, M. J.; TRUJILLO, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neotropicales. In Seminario Internacional Intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. Turrialba, CR, FAO-CATIE. p 115-135.
23. FISCHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SAENZ, J. I.; THOMAS, J. R.; VARA, R. R. 1994. Carbon storage by introduced deep rooted grasses in the South American Savannas. *Nature* 371: 236-238.
24. FUJISAKA, S; CASTILLA, C; ESCOBAR, G; RODRÍGUEZ, V; VENEKLAAS, E. J; THOMAS, R. y FISHER, M. 1998. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69: 17-26.
25. 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 para optar el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 101 pág.
26. HERNANDEZ, T. T. 1991. Cacao. Sistemas de producción en la amazonía peruana. Programa de promoción Agro-Industrial y Desarrollo Rural Alternativo. UNFDAC-PNUD. 105pág.

27. HOLDRIDGE, L. R. 1987. *Ecología, basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.
28. HOUGHTON, R. A. 1994. The worldwide extent of land-use change: in the last few centuries, and particularly in the last several decades, effects of land-use change have become global. *Bioscience* 44(5): 305-313.
29. 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. Mexico city.
30. IPCC. 2000(a). Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report: Land Use, Land Use Change and Forestry. Cambridge University Press.
31. IPCC, 2000(b). Land use and care. Land – use Change, and Agroforestry. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University, Press, Cambridge, UK.
32. 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.

33. JENKINSON, D. S. 1992. La material orgánica del suelo: su evolución. En Wild, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Mundi Prensa. Madrid - España. 102 pág.
34. KANNINEN, M. 1999. Secuestro de Carbono en los bosques: el papel de los bosques en el ciclo global de Carbono. In Seminario Internacional Intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. Turrialba, CR, FAO-CATIE. p 137-149.
35. 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 pág.
36. LAPEYRE, T., ALEGRE, J. & ARÉVALO, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*. 3(1,2): 35-44.
37. LEON, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. IICA. San José, Costa Rica. 445pág.
38. LÓPEZ, A. 1998. Aporte de los sistemas Silvopastoriles al secuestro del carbono en el suelo. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR, CATIE. 50p.
39. LUNDGREN, B. O.; RAIN TREE, J. B. 1982. Sustained agroforestry. Nairobi, Ke, ICRAF. 25p
40. LUZ, E. D. *et. al.*, 1996. Selection of cacao genotypes resistant to *Phytophthora capsici* and *P. citrophthora* in Bahia, Brasil. *Fitopatología Brasileira*. 21:71-9pág.

41. MARTÍNEZ, M. 1979. Sistema Nacional de Información Forestal. *Guazuma* sp. Lima, Perú. 7 pág.
42. MEJIA L. A. y G. E. PALENCIA, 2004. Una aproximación a los sistemas agroforestales con cacao. Editorial La Bastilla Ltda. Bucaramanga, Colombia. 35p.
43. MONTENEGRO, J. y ABARCA, S. 1999. Fijación de Carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. In Seminario Internacional Intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. Turrialba, CR, FAO-CATIE. p 151-174.
44. MOPTMA, 1991. Desarrollo y medio ambiente en América Latina y el Caribe. Madrid – España. 29p.
45. PANDEY, D. N. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate Policy* 2: 367- 377.
46. PAREDES, M. 2003. Evaluación agronómica de las plantaciones de cacao injertado de productores de la Central de Cooperativas El Ceibo, Alto Beni, Avances de Investigación. USAID. Lima 55 p.
47. PENNINGTON, T. D. 1997. The genus *Inga*. Botany. Royal Botanic Gardens, Kew. UK. 844 pp.
48. RUIZ, A. IBRAHIM, M; LOCATELLI, B; BEER, J. y ANDRADE, H. 2007. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles. Enviado a *Revista Agroforestería en las Américas*. En Edición.
49. SCHROEDER, P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry systems* 27:89-97.

50. SEGURA, M; ANDRADE, H; SOMARRIBA. 2003. Modelos alométricos para estimar biomasa arriba del suelo en las especies más dominantes de cacaotales en Salamanca. Costa Rica. 54 pág.
51. STEINFELD, H. 1999. Producción animal y el medio ambiente en Centroamérica. In Pomareda, C; Steinfeld, H eds. Intensificación de la ganadería en Centro América: Beneficios económicos y ambientales. Turrialba, C. R, FAOCATIE. p 17-53.
52. TAIZ, L. y ZEIGER., E. 1998. Plant physiology. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers. Brasil. 32 pág.
53. TOTTEN. 1999. Getting it right: emerging markets for storing carbon in forests. World Resource Institute.
54. WOOD, G. A. 1982. Cacao. Campania Editorial Continental Press. México D.F. 363 pág.
55. YOUNG, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. Wallingford, UK, CAB International. 276pág.

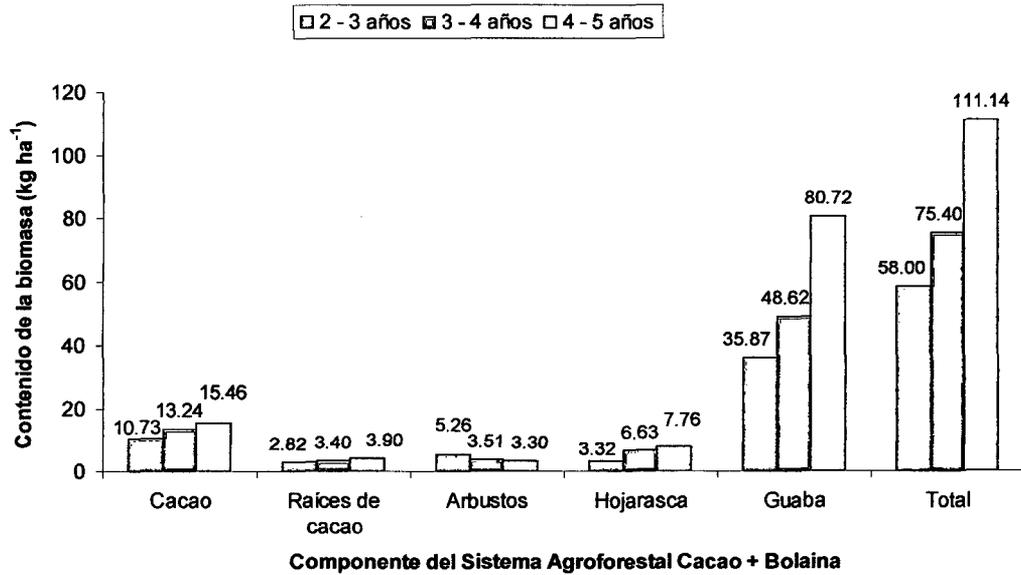
## **IX. ANEXO**

**Cuadro 9. Biomasa del SAF cacao + guaba a nivel de tres edades de plantación.**

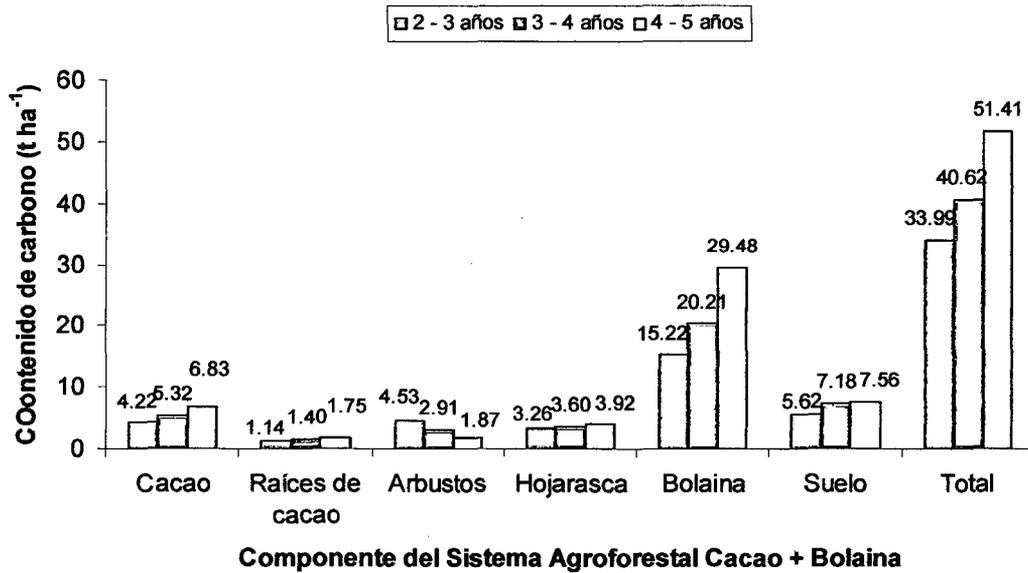
Edad de planta	Comunidad	N° muestr.	Propietarios	Biomasa (tn/ha)					
				Cacao	Arbusto	Hojarasca	Raíz cacao	Guaba	Total
2 - 3 años	Pedro Ruiz Gallo	1	Isuiza Shupinguhua Elvis	9.86	6.84	3.18	2.62	32.30	54.80
		2	Rimas Panduro Ana Maria	11.27	4.6	5.08	2.95	33.75	57.64
	Lourdes	3	Figueredo Macedo Demetrio	10.03	4.94	3.62	2.66	38.16	59.41
		4	Gómez Ávila Peter Alberto	10.91	4.86	1.10	2.87	35.54	55.27
		5	Mazgo Beraun Rosalina	10.38	4.96	2.40	2.74	36.52	57.00
	La Colorada	6	Sajami Soto Edinson	10.58	5.14	5.06	2.79	36.03	59.59
		7	Sánchez Cárdenas Ebelio	10.91	5.12	3.18	2.87	36.19	58.27
		8	Cárdenas Soto Orfilio	11.80	5.14	1.64	3.07	37.34	58.99
	A. Mansilla Km - 53	9	Falcón Meza Laureano	11.09	5.02	5.28	2.91	36.19	60.49
		10	Palomino Espíritu Fabián	10.47	5.94	2.68	2.76	36.68	58.54
3 - 4 años	Topa	11	Castre Aguirre Leyver L	11.89	3.68	5.80	3.09	40.80	65.26
		12	Castre Isminio Luis Alberto	12.87	2.46	6.96	3.32	50.73	76.34
		13	Pulgar Wimaie Gilman	12.43	3.68	6.28	3.21	47.67	73.27
	Lourdes	14	Soria Carrera Pompeyo	13.51	3.26	6.96	3.46	47.34	74.52
		15	Escalante Ávila José L	13.06	3.28	6.46	3.36	49.20	75.35
		16	Figueredo Malpartida D.	13.60	3.88	8.86	3.48	49.20	79.02
	La Colorada	17	Figueredo Zegarra Samuel	13.78	3.88	6.98	3.52	51.25	79.40
		18	Figueredo Canales Vladimir	13.78	3.72	5.88	3.52	50.56	77.46
	Antonio	19	Cardenas Ruiz Vestí	13.60	3.88	4.82	3.48	50.90	76.68
	Mansilla	20	Guerra Pisco Maríth	13.87	3.34	7.28	3.54	48.52	76.55
4 - 5 años	Topa	21	Aguirre Figueroa Honey L	15.52	3.04	5.57	3.91	75.44	103.48
		22	Ortega Escalante Santiago	16.07	3.04	9.99	4.04	75.44	108.57
		23	Rojas Jara Raul	15.52	4.81	9.94	3.91	82.48	116.65
	Trampolin	24	Zaravia Zevallos Isabel E	15.52	3.22	5.00	3.91	82.30	109.94
		25	Zaravia Zevallos Regina	15.43	3.14	7.31	3.89	83.39	113.15
		26	Zaravia Zevallos Yolanda	14.97	3.08	5.14	3.79	83.57	110.54
	Honolulu	27	Zevallos Aranda Macario	14.87	3.16	9.21	3.77	90.15	121.15
	La Colorada	28	Figueredo Canales Luis	15.43	3.14	8.60	3.89	79.40	110.46
	Alto San Juan	29	Canales Shapiama Norma	15.52	3.18	9.00	3.91	75.80	107.41
		30	Cervantes Celedonio Yony	15.80	3.18	7.82	3.97	79.22	109.99

**Cuadro 10.** Biomasa del SAF cacao + bolaina a nivel de plantaciones de tres edades.

Edad de planta	Comunidad	N° muestr.	Propietario	Biomasa (tn/ha)					
				Cacao	Arbusto	Hojarasca	Rafces cacao	Guaba	Total
2 - 3 años	P. Ruiz G.	1	Rimas Panduro Ana María	8.39	10.32	6.96	2.27	32.94	60.89
	La Colorada	2	Cárdenas Soto Orfilio	8.30	9.52	6.96	2.25	28.47	55.51
	A. Mansilla	3	Guerra Pisco Marith	8.64	7.32	5.64	2.33	29.90	53.84
3 - 4 años	La Colorada	4	Figueredo Canales Vladimir	10.12	6.4	6.47	2.682	40.638	66.31
	San Pablo	5	Margarita Natividad Huacanca	11.00	6.04	6.92	2.887	40.969	67.81
	A. Mansilla	6	Falcón Meza Laureano	10.82	5.04	8.21	2.846	39.644	66.56
4 - 5 años	Topa	7	Ortega Escalante Santiago	13.68	5.25	7.39	3.502	60.047	89.88
	P. Ruiz G.	8	Figueredo Macedo Demetrio	12.87	4.50	8.31	3.317	55.365	84.37
	Trampolin	9	Zaravia Zevallos Regina	14.41	1.47	7.83	3.666	61.443	88.82



**Figura 12.** Promedios de la estimación de la biomasa del SAF cacao + guaba en plantaciones de tres edades.



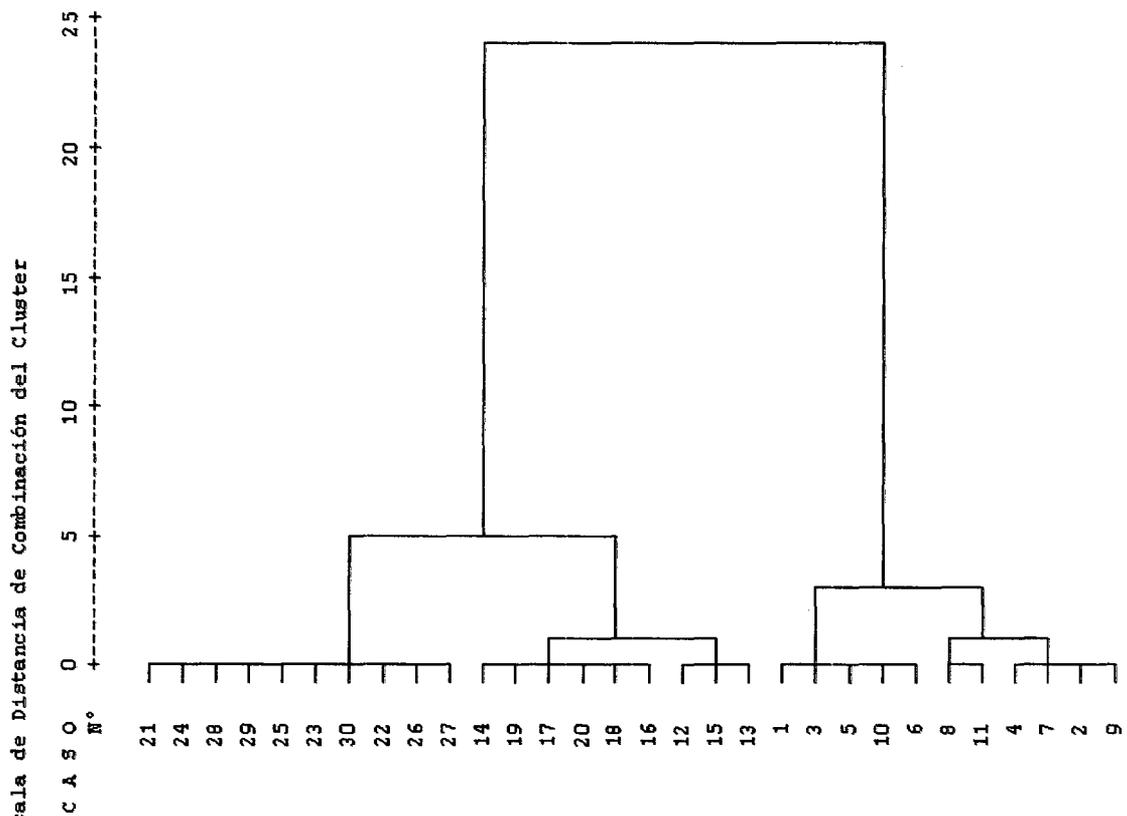
**Figura 13.** Promedios de la estimación de la biomasa del SAF cacao + bolaina en plantaciones de tres edades.

**Cuadro 11.** Historial de conglomeración de distancias del carbono almacenado en el SAF cacao + guaba.

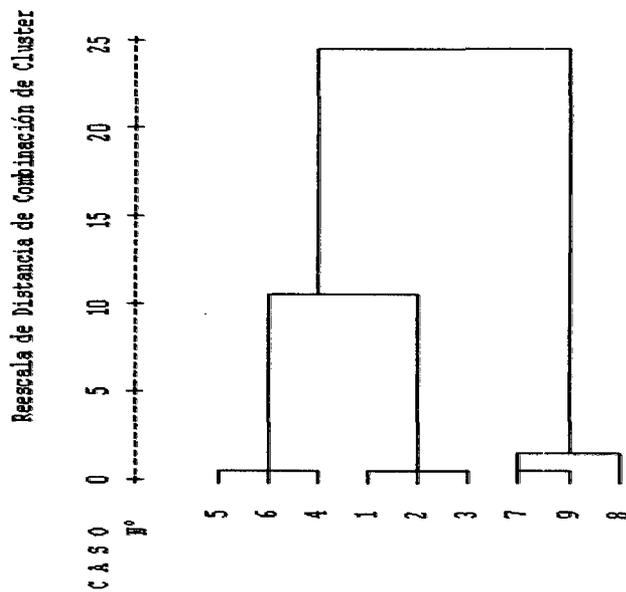
Etapa	Combinación de muestras		Coeficientes
	Muestra	Muestra	
1	17	20	0.500
2	14	19	1.531
3	24	25	1.764
4	12	15	2.308
5	17	18	2.548
6	29	30	3.192
7	21	28	3.343
8	23	29	3.945
9	16	17	4.487
10	6	10	4.527
11	21	24	4.606
12	14	16	6.243
13	1	3	8.438
14	26	27	10.072
15	4	7	10.443
16	22	23	13.977
17	21	26	14.723
18	4	6	16.046
19	2	9	18.822
20	12	13	21.418
21	4	5	29.703
22	21	22	32.755
23	8	11	34.703
24	2	8	62.160
25	12	14	73.547
26	1	4	123.905
27	1	2	219.459
28	12	21	345.171
29	1	12	1299.943

**Cuadro 12.** Historial de conglomeración de distancias del carbono almacenado en el SAF cacao + bolaina.

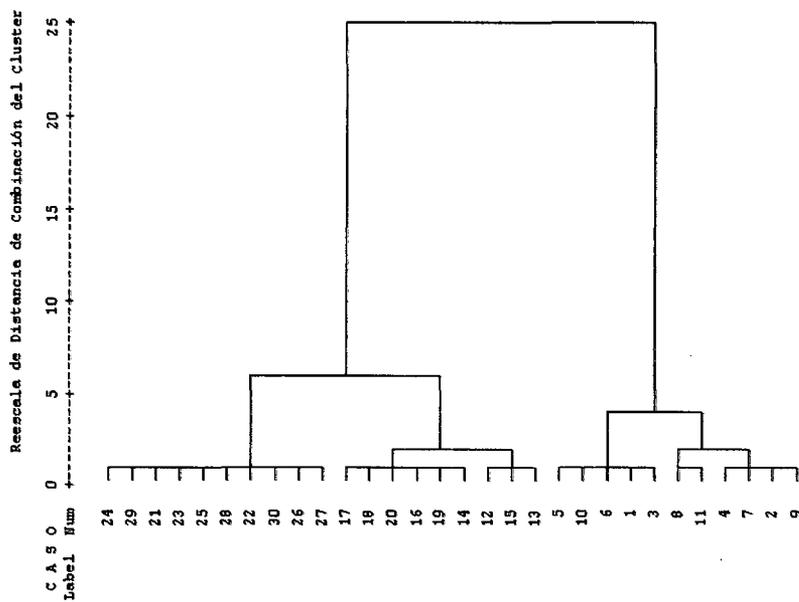
Etapa	Combinación de muestra		Coeficientes
	Muestra	Muestra	
1	5	6	4.909
2	1	2	7.194
3	1	3	16.283
4	7	9	22.869
5	7	8	84.865
6	4	5	113.293
7	4	7	977.493
8	1	4	2430.776



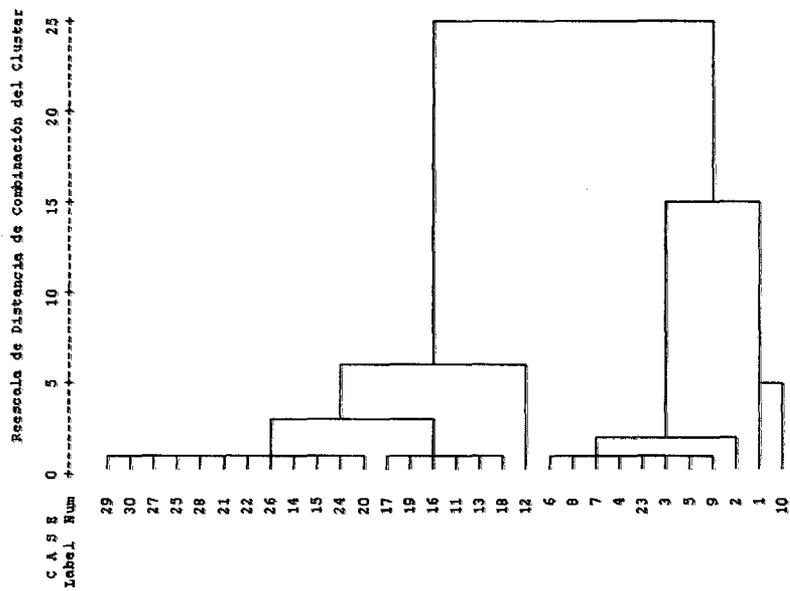
**Figura 14.** Dendrograma de agrupación de la *biomasa* del SAF cacao + guaba



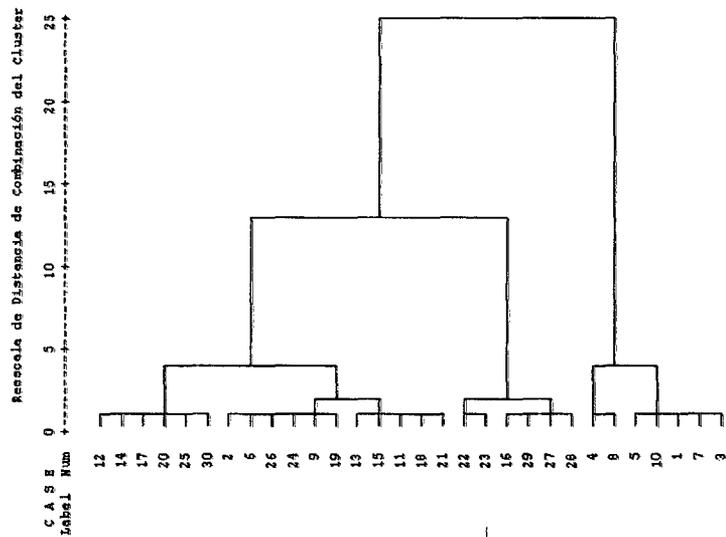
**Figura 15.** Dendrograma de agrupación de la *biomasa* del SAF cacao + bolaina



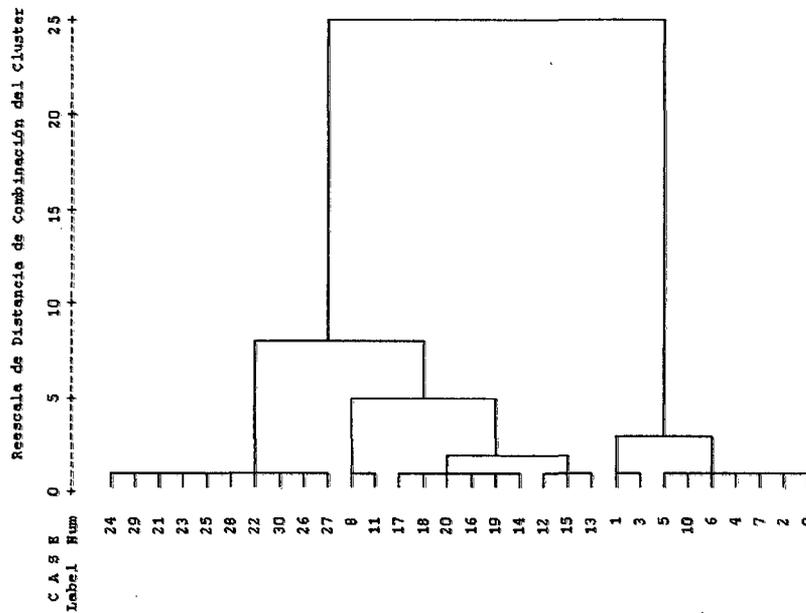
**Figura 16.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa* y *carbono* del SAF cacao + guaba, del componente: planta de cacao.



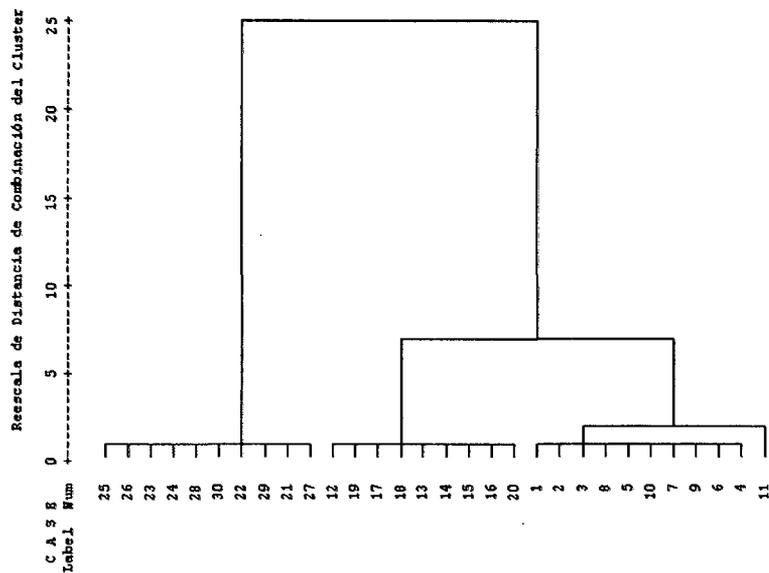
**Figura 17.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa y carbono* del SAF cacao + guaba, del componente: arbustos



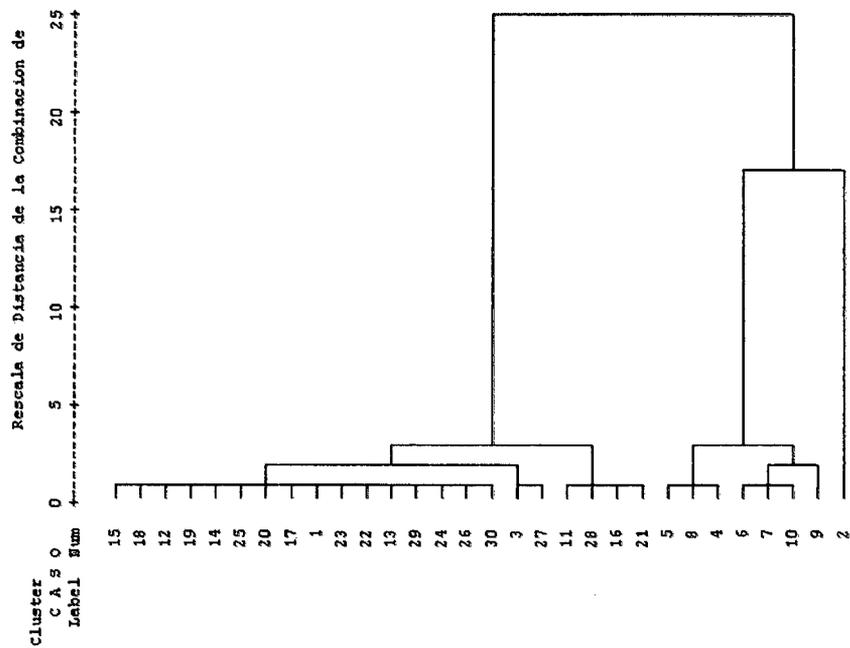
**Figura 18.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa y carbono* del SAF cacao + guaba, del componente: hojarasca.



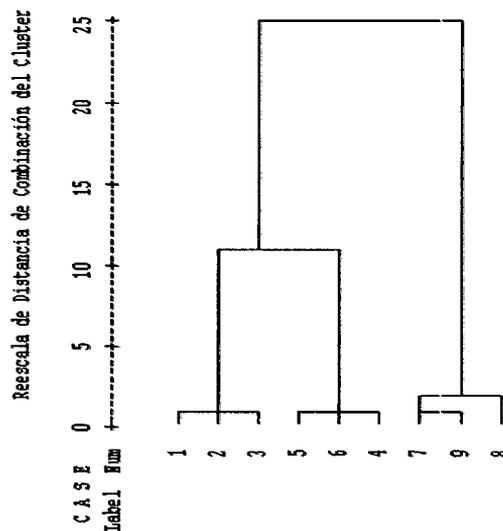
**Figura 19.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa y carbono* del SAF cacao + guaba, del componente: raíces



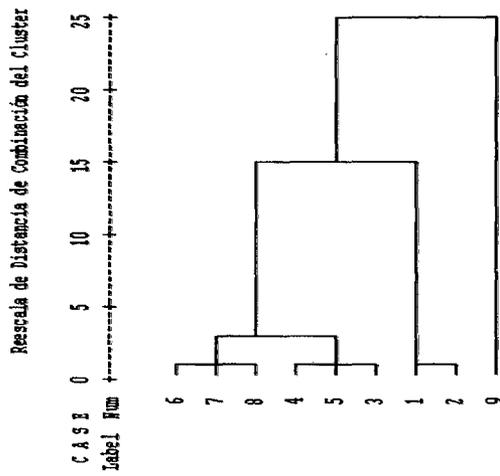
**Figura 20.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa y carbono* del SAF cacao + guaba, del componente: guaba.



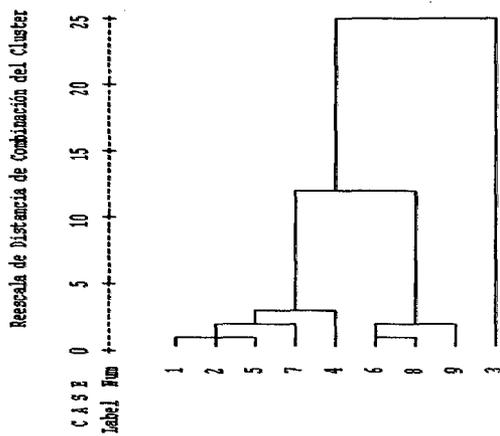
**Figura 21.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa* y *carbono* del SAF cacao + guaba, del componente: suelo.



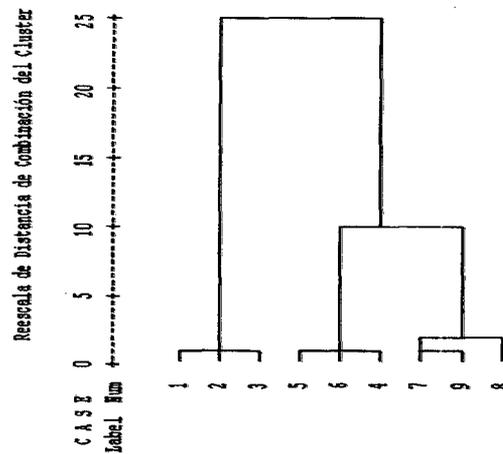
**Figura 22.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de *biomasa* y *carbono* del SAF cacao + bolaina, del componente: planta de cacao.



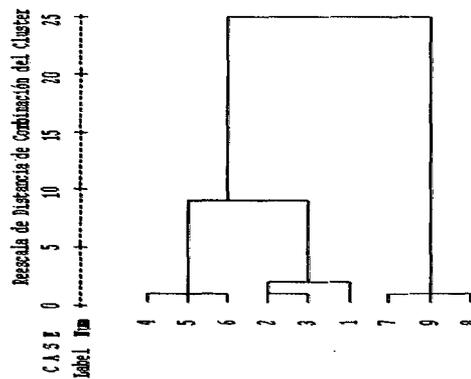
**Figura 23.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y *carbono* del SAF cacao + bolaina, del componente: arbusto



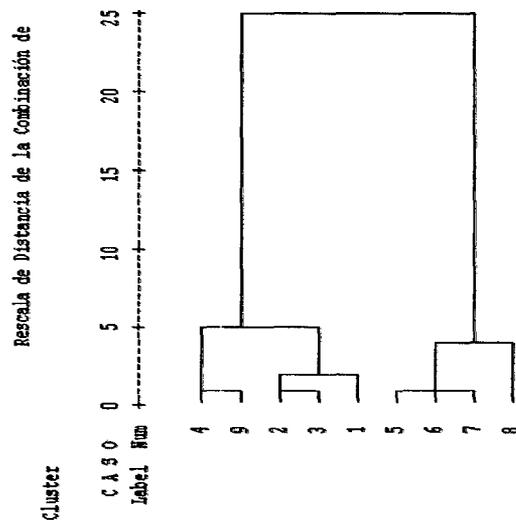
**Figura 24.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y *carbono* del SAF cacao + bolaina, del componente: hojarasca



**Figura 25.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y carbono del SAF cacao + bolaina, del componente: raíces cacao



**Figura 26.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y *carbono* del SAF cacao + bolaina, del componente: bolaina



**Figura 27.** Dendrograma de agrupación de las parcelas con respecto al contenido de biomasa y *carbono* del SAF cacao + bolaina, del componente: suelo

**Cuadro 13. Carbono del SAF cacao + guaba a nivel de plantaciones de tres edades.**

Edad de planta	Comunidad	Nº muestr.	Propietarios	Carbono (tn/ha)						
				Cacao	Arbusto	Hojarasca	Suelo	Rafz cacao	guaba	Total
2 - 3 años	Pedro Ruiz Gallo	1	Isuiza Shupinguhua Elvis	4.93	3.42	1.59	7.02	1.31	16.15	34.42
		2	Rimas Panduro Ana Maria	5.63	2.30	2.54	13.83	1.47	16.88	42.65
	Lourdes	3	Figueredo Macedo Demetrio	5.02	2.47	1.81	7.82	1.33	19.08	37.53
		4	Gómez Ávila Peter Alberto	5.46	2.43	0.55	8.95	1.43	17.77	36.59
		5	Mazgo Beraun Rosalina	5.19	2.48	1.20	9.42	1.37	18.26	37.92
	La Colorada	6	Sajami Soto Edinson	5.29	2.57	2.53	10.48	1.39	18.01	40.28
		7	Sánchez Cárdenas Ebelio	5.46	2.56	1.59	10.42	1.43	18.10	39.56
		8	Cárdenas Soto Orfilio	5.90	2.57	0.82	9.89	1.54	18.67	39.38
	A. Mansilla Km - 53	9	Falcón Meza Laureano	5.54	2.51	2.64	11.47	1.45	18.10	41.71
	10	Palomino Espíritu Fabián	5.24	2.97	1.34	10.70	1.38	18.34	39.97	
3 - 4 años	Topa	11	Castre Aguirre Leyver L	5.94	1.84	2.90	5.11	1.55	20.40	37.74
		12	Castre Isminio Luís Alberto	6.44	1.23	3.48	6.38	1.66	25.37	44.55
		13	Pulgar Wima Gilman	6.21	1.84	3.14	6.74	1.61	23.84	43.38
	Lourdes	14	Soria Carrera Pompeyo	6.75	1.63	3.48	6.33	1.73	23.67	43.59
		15	Escalante Ávila José L	6.53	1.64	3.23	5.80	1.68	24.60	43.47
	La Colorada	16	Figueredo Malpartida D.	6.80	1.94	4.43	5.41	1.74	24.60	44.92
		17	Figueredo Zegarra Samuel	6.89	1.94	3.49	6.27	1.76	25.62	45.97
		18	Figueredo Canales Vladimir	6.89	1.86	2.94	5.80	1.76	25.28	44.53
	Antonio Mansilla	19	Cardenas Ruiz Vestí	6.80	1.94	2.41	6.43	1.74	25.45	44.77
		20	Guerra Pisco Marith	6.94	1.67	3.64	6.31	1.77	24.26	44.58
4 - 5 años	Topa	21	Aguirre Figueroa Honey L	7.76	1.52	2.79	5.29	1.96	37.72	57.03
		22	Ortega Escalante Santiago	8.04	1.52	5.00	7.13	2.02	37.72	61.42
		23	Rojas Jara Raul	7.76	2.40	4.97	7.05	1.96	41.24	65.38
	Trampolin	24	Zaravia Zevallos Isabel E	7.76	1.61	2.50	6.78	1.96	41.15	61.75
		25	Zaravia Zevallos Regina	7.71	1.57	3.66	6.35	1.95	41.69	62.92
		26	Zaravia Zevallos Yolanda	7.48	1.54	2.57	6.77	1.89	41.79	62.04
	Honolulu	27	Zevallos Aranda Macario	7.44	1.58	4.60	7.40	1.88	45.07	67.98
		28	Figueredo Canales Luís	7.71	1.57	4.30	5.06	1.95	39.70	60.28
	La Colorada	29	Canales Shapiama Norma	7.76	1.59	4.50	6.75	1.96	37.90	60.45
		30	Cervantes Celedonio Yony	7.90	1.59	3.91	6.87	1.99	39.61	61.86

**Cuadro 14.** Carbono del SAF cacao + bolaina a nivel de plantaciones de tres edades.

Edad de planta	Comunidad	N° muestr.	Propietario	Biomasa (tn/ha)						
				Cacao	Arbusto	Hojarasca	Suelo	Raíz cacao	Bolaina	Total
2 - 3 años	P. Ruiz G.	1	Rimas Panduro Ana Maria	4.20	5.16	3.48	5.920	1.14	16.47	36.36
	La Colorada	2	Cárdenas Soto Orfilio	4.15	4.76	3.48	5.410	1.13	14.23	33.16
	A. Mansilla	3	Guerra Pisco Marith	4.32	3.66	2.82	5.530	1.17	14.95	32.45
3 - 4 años	La Colorada	4	Figueredo Canales Vladimir	5.06	3.20	3.24	6.420	1.34	20.32	39.58
	San Pablo	5	Margarita Nativida Huacanca	5.50	3.02	3.46	7.610	1.44	20.48	41.52
	A. Mansilla	6	Falcón Meza Laureano	5.41	2.52	4.11	7.510	1.42	19.82	40.79
4 - 5 años	Topa	7	Ortega Escalante Santiago	6.84	2.63	3.70	7.860	1.75	30.02	52.80
	P. Ruiz G.	8	Figueredo Macedo Demetrio	6.44	2.25	4.16	8.360	1.66	27.68	50.55
	Trampolin	9	Zaravia Zevallos Regina	7.21	0.74	3.92	6.460	1.83	30.72	50.87



**Figura 28.** Evaluación del diámetro a 30 cm del suelo del cacao en el sistema agroforestal cacao + guaba de 4 - 5 años de edad.



**Figura 29.** Evaluación del diámetro a 30 cm del suelo del cacao en el sistema agroforestal cacao + guaba de 3 – 4 años de edad.



**Figura 30.** Evaluación del diámetro a la altura de pecho de la bolaina en el sistema agroforestal cacao + bolaina de 3 – 4 años de edad.