

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES (SAF) CON CACAO (*Theobroma  
cacao L.*) EN PRODUCCIÓN.**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**KARIN ELENA VILLOGAS VENTURA**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2013**



**P01**

**V68**

**Villogas Ventura, Karín Elena**

**Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción** - Tingo María, 2013

94 páginas, 09 cuadros, 08 figuras, 51 ref., 30 cm. **KARIN E. VILLOGAS VENTURA**  
Tesis (Ingeniero Agrónomo) - Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

**1. ALMACENAMIENTO                      2. CARBONO                      3. CACAO**

**4. BIOMASA                      5. AGROFORESTALES                      6. RENTABILIDAD**

8105

## DEDICATORIA

A Dios, por su gran misericordia, por darme fuerza y sabiduría para enfrentar obstáculos y seguir adelante aún en los momentos más difíciles. A Jesús, en eterna gratitud y amor, por haber dado su vida por la mía.

A mis queridos padres: Vilma y Alejandro, quienes me dieron la vida y me enseñaron a vivirla, por enseñarme a amar, por su incondicional apoyo y por su valioso empeño por lograr que su hija logre sus metas, objetivos y por su eterno amor.

A mis añorados hermanos Freddy, Carlos, Jessica y Rosita, por su confianza y sobre todo por incentivar me a salir adelante con el cariño y gratitud de siempre.

## AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su contribución en mi formación profesional.
- A los docentes de la Facultad de Agronomía quienes me han formado con sus enseñanzas, teóricas y prácticas a lo largo de mi carrera universitaria.
- Al Ing. M. Sc. FERNANDO GONZÁLEZ HUIMAN, asesor de la presente tesis y al Ing. M. Sc RAFAEL ROBLES RAMÍREZ, co-asesor, por darme su amistad y asesoramiento en el desarrollo científico y académico del presente trabajo.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. M. Sc. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO, Dr. JORGE RÍOS ALVARADO y al Ing. M. Sc. JORGE ADRIAZOLA DEL ÁGUILA, por el aporte académico, científico y las revisiones de fondo y forma del texto.
- Al Sr. José Luis Reyes Aquino y a la familia Chávez Ángeles, quienes con mucha voluntad cedieron sus parcelas para la realización del presente trabajo.
- A mis amigos, Liz De la Cruz Inuma, Juan Ronald Salazar Lloja, Rosa Huaqui Figueroa, Isaias Mariño Paucar, Henry Alexis Bringas Paredes, Manuel Paredes Arce y Manuel Carrion que de una u otra manera colaboraron y me apoyaron en la realización del presente trabajo de investigación.
- A Alfredo Rojas Ayquipa por su exigencia y entusiasmo en las revisiones del texto
- A Washington Salomón Guzmán por dejarme culminar la investigación y desarrollarme profesionalmente.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Ecología del cultivo .....	16
2.2. Exigencias de suelo .....	17
2.3. Demanda, oferta y servicios ambientales en el cultivo del cacao	17
2.4. Sistema agroforestal (SAF).....	18
2.4.1. Características de los sistemas agroforestales .....	20
2.4.2. Clasificación de los Sistemas Agroforestales .....	20
2.4.3. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono ...	21
2.5. Efectos de la concentración de dióxido de carbono .....	22
2.5.1. Dióxido de carbono.....	22
2.5.2. Causas y consecuencias del cambio climático global ....	22
2.6. Captura de carbono.....	23
2.7. Secuestro de carbono .....	24
2.8. Carbono almacenado .....	24
2.9. Carbono fijado.....	25
2.9.1. Fijación del carbono por medio de los vegetales.....	25
2.9.2. Fijación de carbono en el suelo.....	26
2.10. Reportes de trabajos de investigación en la fijación de carbono en cacao bajo sistemas agroforestales .....	28

III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
3.1. Lugar de ejecución .....	34
3.1.1. Ubicación de los sistemas .....	34
3.1.2. Descripción de los sistemas .....	35
3.2. Equipos y Materiales .....	36
3.2.1. Equipos.....	36
3.2.2. Materiales .....	36
3.3. Metodología .....	37
3.3.1. Selección y delimitación del área en estudio.....	37
3.3.2. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico .....	38
3.3.3. Medición de carbono del suelo del cultivo de cacao como sistema agroforestal.....	41
3.4. Cálculos .....	41
3.4.1. Cálculos de la biomasa vegetal .....	41
3.4.2. Cálculo del peso del volumen del suelo (t/ha) .....	44
3.5. Cálculo del carbono total (biomasa vegetal más suelo) .....	45
3.6. Variable dependiente .....	47
3.7. Variables independientes .....	47
3.8. Análisis estadístico.....	47
3.9. Rentabilidad económica .....	48
3.9.1. Valor Actual Neto (VAN).....	48
3.9.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	49
3.9.3. Beneficio - costo (B/C).....	49

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	50
4.1. De la rentabilidad económica .....	50
4.2. De la biomasa .....	52
4.2.1. Biomasa aérea de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad.....	52
4.3. Del carbono almacenado .....	60
4.3.1. Carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad.....	60
4.3.2. Carbono almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad .....	68
4.3.3. Carbono total almacenado (biomasa vegetal + suelo) en los Sistemas Agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años.....	74
V. CONCLUSIONES .....	83
VI. RECOMENDACIONES.....	84
VII. RESUMEN.....	85
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	86
IX. ANEXO .....	94

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Promedio de carbono almacenado por los sistemas agroforestales de cacao, guaba y bolaina de tres edades en la provincia de Leoncio Prado.....	30
2. Distribución de las cantidades de carbono almacenado total en los diferentes sistemas evaluados en la edad de 5 años. ....	30
3. Indicadores de rentabilidad económica .....	50
4. Biomasa vegetal del estrato superior en los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad.....	52
5. Biomasa vegetal del estrato inferior en los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad .....	55
6. Biomasa vegetal total en los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años de edad.....	56
7. Carbono de la biomasa vegetal en los sistemas agroforestales con cacao de 10, 8 y 6 años.....	62
8. Carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades de los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años .....	69
9. Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años de edad.....	74
10. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 6 años (transectos A, B C y D) .....	95



11. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 6 años (transectos E, F, G y H).....	96
12. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema agroforestal de 6 años. Área de muestreo: 1m x 1m. ....	97
13. Biomasa en la hojarasca del sistema agroforestal de 6 años. Área de muestreo: 0.5m x 0.5m. ....	98
14. Carbono almacenado en el suelo del sistema agroforestal de 6 años.	99
15. Carbono almacenado total en el Sistema de Unidad de Tierra (Sistema agroforestal de 6 años).....	100
16. Costos de producción para el Sistema agroforestal de 6 años, 1 hectárea a un distanciamiento de 3 x 3 m. ....	101
17. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del Sistema agroforestal de 6 años. ....	103
18. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 8 años. (transectos A, B, C y D) .....	104
19. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 8 años. (transectos E, F, G y H) .....	105
20. Biomasa arbustiva/herbácea del sistema agroforestal de 8 años. Área de muestreo: 1m x 1m. ....	106
21. Biomasa en la hojarasca del sistema agroforestal de 8 años. Área de muestreo: 0.5m x 0.5m. ....	107
22. Carbono almacenado en el suelo del sistema agroforestal de 8 años.	1088
23. Carbono total almacenado en el Sistema de Unidad de Tierra (Sistema agroforestal de 8 años).....	109

24.	Costos de producción 1 hectárea para el sistema agroforestal de 8 años, a un distanciamiento de 3 m x 3 m. ....	110
25.	Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de 8 años.....	112
26.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto A.....	113
27.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto B.....	114
28.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto C.....	115
29.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto D.....	116
30.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto E.....	117
31.	Biomasa arbustiva/herbácea del sistema agroforestal de 10 años. Área de muestreo: 1m x 1m. ....	118
32.	Biomasa en la hojarasca del sistema agroforestal de 10 años. Área de muestreo: 0.5m x 0.5m. ....	118
33.	Carbono almacenado por el suelo del sistema agroforestal de 10 años.....	119
34.	Carbono almacenado total en el Sistema de Unidad de Tierra (Sistema agroforestal de 10 años).....	120
35.	Costos de producción para el Sistema agroforestal de 10 años, 1 hectárea a un distanciamiento de 3 m x 3 m. ....	121

36. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de 10 años .....	123
37. Análisis de varianza de la biomasa arbórea (estrato superior) .....	124
38. Análisis de varianza de la biomasa arbustiva y herbácea .....	124
39. Análisis de varianza de la biomasa de hojarasca .....	124
40. Análisis de varianza de la biomasa aérea .....	124
41. Análisis de varianza del carbono almacenado en la biomasa aérea ...	125
42. Análisis de varianza del carbono orgánico del suelo .....	125
43. Análisis de varianza del carbono total almacenado en los SAF .....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Detalle de parcelas con transectos internos, izquierda (SAF de 6 y 8 años), derecha (SAF de 10 años).....	37
2. Diseño de las áreas para la evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal.....	38
3. Diseño de las áreas para la evaluación de biomasa arbórea viva y biomasa arbustiva y herbácea.....	39
4. Cuadrante de 1m x 1m para material herbáceo, arbustivo y cuadrante interior de 0.5m x 0.5m para hojarasca.....	40
5. Biomasa de los diferentes componentes del sistema agroforestal de 6, 8 y 10 años de edad.....	59
6. Carbono de la biomasa de los diferentes componentes de los sistemas agroforestales de 6,8 y 10 años de edad.....	67
7. Porcentaje de Carbono (izquierda) y cantidad de carbono orgánico del suelo (derecha) a diferentes profundidades de los SAF con cacao de 10, 8 y 6 años.....	73
8. Distribución porcentual del almacenamiento de carbono en los diferentes componentes de los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años.....	81
9. Fase de campo, parcelas agroforestales delimitadas, 6 años (derecha), 8 años (centro), 10 años (izquierda).....	126
10. Fase de campo, medición del DAP (en cacao y árboles forestales).....	126

11. Fase de campo, recolección y pesado de las muestras del componente arbustivo, herbáceo y hojarasca. ....	127
12. Fase de campo, recolección de muestras de suelo de las calicatas. ....	127
13. Fase de laboratorio: a y b (pesado y secado de material herbáceo y hojarasca), c (análisis de materia orgánica del suelo). ....	128

## I. INTRODUCCIÓN

La selva peruana es muy diversa y el cultivo de cacao en Tingo María representa una actividad productiva común que los agricultores en la actualidad aprovechan para producir con labores agrícolas muy sencillas asociando a diferentes sistemas forestales. Los sistemas agroforestales constituyen una alternativa estable de uso de suelo ya que mejoran la eficiencia y procuran un mayor bienestar económico a los agricultores. La consolidación del desarrollo basado en la productividad agrícola y la sostenibilidad ecológica ha motivado el interés de organismos financieros y de instituciones donantes por auspiciar proyectos que tengan la finalidad de preservar la biodiversidad, es así como hoy en día los sistemas alternativos de producción agrícola (sistemas agroforestales) y de otros usos que lleven a la utilización integral de los recursos naturales se viene promocionando debido a los cambios climáticos que la humanidad debe de enfrentar como desafíos para mitigar los incrementos de temperatura media global la cual es generado por el aumento de gases de efecto invernadero, siendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el gas que más contribuye a este efecto y una forma de mitigarlos es almacenarlo en las plantas como biomasa mediante la fotosíntesis y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica, es así como los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes de carbono; sin embargo, no han sido considerados en el pago de servicios ambientales, debido a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento y fijación de carbono.

El Protocolo de Kyoto y la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) consideraron temas relevantes a los efectos negativos que causan en el clima a nivel mundial la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, debido a las evidencias que se vienen presentando actualmente por la cual son muy importantes las acciones que se orientan al control de emisiones y flujos de carbono así como la estimación del potencial que tienen los sistemas agroforestales (SAF) para fijar, secuestrar y almacenar el carbono, representando los árboles la base de los sistemas agroforestales y juegan un papel esencial en el ciclo global del carbono ya que cuando una planta crece almacena CO<sub>2</sub> transformándolo en biomasa.

Por tanto los sistemas agroforestales con cacao son una alternativa para la producción agrícola sostenible que, no sólo generan desarrollo económico para el agricultor sino también permiten la conservación del medio ambiente funcionando como sumidero de carbono. En consecuencia, el problema de investigación en este trabajo es ¿Qué cantidad de carbono almacenan los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción de 6, 8 y 10 años y cuál es su valor económico? Asimismo, la hipótesis del presente trabajo es, que los sistemas agroforestales con cacao en producción de 10 años son los que almacenan mayor cantidad de carbono y tienen un mayor valor económico. Para ello nos planteamos los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

– Cuantificar el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción de 6, 8 y 10 años, como medida de mitigación de las emisiones de dióxido de carbono producto de las actividades antropogénicas.

### **Objetivos específicos**

– Determinar la rentabilidad económica del sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción de 6, 8 y 10 años.

– Cuantificar el carbono de la biomasa aérea almacenado en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción de 6, 8 y 10 años.

– Cuantificar el carbono del suelo almacenado en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción de 6, 8 y 10 años.



## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Ecología del cultivo

Los factores climáticos influyen en la producción de una plantación; por lo tanto, las condiciones térmicas y de humedad deben ser satisfactorias para el cultivo por ser una planta perenne ya que su periodo vegetativo como la época de floración y cosecha está regulado por el clima, cuya relación del transcurso climático y el periodo vegetativo nos permite establecer los calendarios agroclimáticos. La práctica del cultivo bajo sombra influye significativamente en el microclima de la plantación, principalmente en la radiación solar, viento y la humedad relativa, sin dejar de lado los factores del suelo. En cuanto a la temperatura es un factor de mucha importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cultivo de cacao. La temperatura media anual óptima debe ser alrededor de los 25°C con una mínima de 23°C y una máxima de 32°C. El efecto de las temperaturas bajas se manifiesta en la velocidad de crecimiento vegetativo, desarrollo de fruto y en el grado de intensidad de la floración (menor intensidad). Asimismo, controla la actividad de las raíces y de los brotes de la planta. Las temperaturas extremas definen los límites de altitud y latitud para el cultivo de cacao. Por otro lado, la absorción del agua y de los nutrientes por las raíces de la planta del cacao está regulada por la temperatura. Un aspecto a considerar es que a temperaturas menores de 15°C, la actividad de las raíces disminuye; por otro lado, altas temperaturas pueden afectar las raíces superficiales de la planta del cacao limitando su capacidad de absorción, por lo que se recomienda proteger el

suelo con la hojarasca existente. Del mismo modo, la rápida descomposición de la materia orgánica en el suelo a través de la oxidación y en presencia de la humedad está determinada por la temperatura. Asimismo, el viento es el factor que determina la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y de la planta. En las plantaciones expuestas continuamente a vientos fuertes se produce la defoliación o caída prematura de hojas; por lo tanto, el cacao crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud. Sin embargo, en latitudes cercanas al ecuador las plantaciones desarrollan normalmente en mayores altitudes que van del orden de los 1,000 a 1,400 msnm., considerando que la luz es otro de los factores ambientales de importancia para el desarrollo del cacao especialmente para la fotosíntesis, la cual ocurre a baja intensidad aun cuando la planta este a plena exposición solar (MINAG 2004).

## **2.2. Exigencias de suelo**

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con buen drenaje y topografía plana de preferencia, con valores de pH que oscilan entre 4.0 y 7.0. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica (MINAG, 2004).

## **2.3. Demanda, oferta y servicios ambientales en el cultivo del cacao**

La oferta ambiental de los ecosistemas para el cultivo de cacao es favorable siempre que se encuentren en altitudes no mayores de 900 msnm, en ecosistemas donde las temperaturas no sean menores de 22 grados °C y

aquellos lugares donde la radiación solar no sea del 100% sino que exista sombra, en la cual se utiliza árboles forestales de diferentes especies como pacaé, guaba, albicia, phashaco, plátano y especies forestales que sirvan como sombra temporal mas no disminuyan la producción del cultivo. Estos sistemas agroforestales nos brindan varios servicios ambientales como la captura de carbono o el secuestro de carbono, así como un ciclo cerrado de nutrientes generando una gran cantidad de biomasa, de más 250 Kg./ha. Con ello la gran cantidad de microorganismos del suelo que forman humus y posteriormente las sustancias nutritivas para el cacao, se genera también un microclima favorable para la floración, fructificación y producción sostenible del cacao, debido a que el ataque de plagas y enfermedades serán en proporciones mínimas. Otros servicios ambientales del cultivo de cacao conjuntamente con los árboles de sombra es que desarrollan gran cantidad de biomasa, por la hojarasca, humus y materia orgánica, lo cual es favorable para la explotación del cacao orgánico a través de la fertilización orgánica y manejo orgánico (GONZÁLES, 2007).

#### **2.4. Sistema agroforestal (SAF)**

La agroforestería es un sistema complejo de uso de la tierra, antiguo y ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas. Para lograr los beneficios de la diversificación, se requiere que los cultivos asociados respondan diferencialmente a las condiciones que determinan la producción agrícola o económica (ORTIZ Y RIASCOS, 2006).

Según el ICRAF (2005), (*International Council for Research in Agroforestry*) “La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local. El objetivo de los SAF es optimizar los efectos benéficos de las interacciones del componente maderable con el componente animal o cultivo, según las condiciones económicas, ecológicas y sociales predominantes. Estos sistemas representan una alternativa para los productores porque reducen la dependencia de un solo cultivo, permiten desarrollar actividades productivas económica y ambientalmente más sostenibles y representan una práctica con gran potencial para la captura de carbono (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

Los sistemas agroforestales brindan al mismo buena humedad, generan humus al descomponerse la materia orgánica producto de las caídas de hojas y podas de los árboles que constituyen el sistema. Así, la fijación y almacenamiento de carbono en los SAF son una alternativa para dar valor agregado a la producción que podría tener un gran potencial e importancia para los productores (ÁVILA *et al.* 2001).

### **2.4.1. Características de los sistemas agroforestales**

En su estructura combina árboles, cultivos y animales en forma conjunta, optimiza los beneficios de las interacciones y mantiene la productividad a largo plazo sin degradar la tierra, por lo que los hace sustentables. Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del sistema, la producción será mayor en comparación a los sistemas tradicionales de uso de la tierra, incrementando la productividad del sistema; asimismo, los sistemas agroforestales se caracterizan por su adaptabilidad cultural/socioeconómica ya que se aplica a una amplia gama de predios y de condiciones socioeconómicas, aunque tiene mayor impacto en zonas donde los agricultores no pueden adaptar tecnologías muy costosas y modernas (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

### **2.4.2. Clasificación de los Sistemas Agroforestales**

Los SAF se clasifican de varias maneras según su estructura en el espacio, su diseño a través del tiempo, la importancia relativa y la función de los diferentes componentes, los objetivos de la producción y las características sociales y económicas vigentes (MONTAGNINI, 1992).

#### **a. Sistemas agroforestales secuenciales**

En este tipo de SAF los componentes presentan una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos, es decir que los cultivos anuales y las plantaciones de árboles se suceden en el tiempo. En

esta clasificación se incluyen los sistemas taungya y la agricultura migratoria (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

#### **b. Sistemas agroforestales simultáneos**

Los sistemas agroforestales simultáneos consisten en la asociación simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple, y/o ganadería. Estos sistemas incluyen asociaciones de árboles con cultivos anuales o perennes, huertos caseros mixtos y sistemas agrosilvopastoriles (MONTAGNINI, 1992).

#### **c. Sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompe vientos**

Dichos sistemas agroforestales son hileras de árboles que se utilizan para delimitar propiedades o servir de protección para otros componentes u otros sistemas y se los considera como sistemas complementarios de los sistemas nombrados anteriormente (MONTAGNINI, 1992).

#### **2.4.3. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono**

En principio, la capacidad de secuestrar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: del área total de esos ecosistemas y del número de árboles por unidad de área. Los SAF pueden contener sumideros considerablemente grandes de carbono y en

algunos casos se asemejan a los encontrados en bosques secundarios. Asimismo, la cantidad de carbono acumulada en el suelo aumenta en los sistemas agroforestales (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

## **2.5. Efectos de la concentración de dióxido de carbono**

### **2.5.1. Dióxido de carbono**

El CO<sub>2</sub> es fundamental en el equilibrio gaseoso: una parte del CO<sub>2</sub> se preserva en la atmósfera, otra en forma de carbonatos, va a dar a los océanos, donde los organismos marinos lo depositan en el fondo del mar y una tercera parte, tomada por los vegetales, es retenida en sus tejidos y parcialmente introducida al suelo donde se fosiliza. Una pequeña fracción se agrega también por emisiones volcánicas. El CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero (GEI), responsable de las dos terceras partes de volúmenes emitidos y calentamiento proporcional (UNEP y GENS, 1992).

Los bosques regulan el 70% del flujo de carbono entre la biosfera y la atmósfera. Se explica esto por los altos contenidos de moléculas carbónicas en la xilomasa; asimismo, la lignina y celulosa están conformadas por 49 % de carbono (LOPEZ, 1998).

### **2.5.2. Causas y consecuencias del cambio climático global**

Las consecuencias del cambio climático son todos aquellos cambios en el medio ambiente físico o de la biota resultantes del cambio

climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos y en la salud y bienestar de los humanos. El panel intergubernamental de cambio climático estima que un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero que duplique las concentraciones de CO<sub>2</sub> con respecto al nivel preindustrial daría como resultado un incremento de temperatura de 1,5 a 3,5° C (IPCC, 1995).

## **2.6. Captura de carbono**

El carbono está en sumideros superficiales y su captura en bosques primarios varía de 60 a 230 t C/ha y en bosques secundarios de 25 a 190 t C/ha. En bosques tropicales, los sumideros de carbono en el suelo varían de 60 y 115 t C/ha. En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de carbono en el suelo son considerablemente pequeños (FAO, 1998).

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



## **2.7. Secuestro de carbono**

El secuestro de carbono es un servicio ambiental basado en la capacidad de los ecosistemas forestales para absorber y almacenar el carbono atmosférico, así como en el manejo adecuado de estos ecosistemas, evitando su conversión en fuentes emisoras de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este servicio ambiental es el que rápidamente se está desarrollando a nivel global; el hecho de que una tonelada de carbono secuestrada en algún lugar del mundo emita el mismo impacto en la mitigación del efecto invernadero que cualquier otra tonelada secuestrada en otro punto del planeta, hace que este servicio genere un amplio impacto y un mercado global (FONAM, 2004).

En el Perú existe un enorme potencial para el desarrollo de inversiones del sector forestal con un importante componente de carbono negociable en el mercado internacional. Actividades de forestación y reforestación en zonas degradadas o deforestadas en la costa, sierra y selva; así como el uso de los residuos del aprovechamiento forestal para la producción de energía, son actividades que el FONAM considera de especial interés para la promoción de inversiones (FONAM, 2004).

## **2.8. Carbono almacenado**

Es el carbono que está acumulado en un determinado ecosistema vegetal. Toma en cuenta criterios de tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que son datos de biomasa basados en volúmenes por hectárea de inventarios forestales (SEGURA, 1997). Dicha

cantidad promedio de carbono por hectárea nunca será liberada a la atmósfera, en este caso, un pago por el servicio ambiental de almacenamiento se refiere a un solo pago por la conservación del bosque, evitando un cambio de uso de la tierra en forma permanente como lo son los parques nacionales o zonas de reserva absoluta (RAMÍREZ *et al.* 1994). El carbono almacenado se expresa en t C/ha.

## **2.9. Carbono fijado**

Se refiere, al carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijar en un período determinado. El carbono fijado se expresa en t C/ha/año (SEGURA, 1997).

### **2.9.1. Fijación del carbono por medio de los vegetales**

Las reacciones de fijación del carbono que ocurren en el estroma, el NADPH y el ATP, producidos en las reacciones de captura de energía, se usan para reducir un compuesto de tres carbonos, el gliceraldehído fosfato. A esta vía en la que el carbono se fija por medio del gliceraldehído fosfato se denomina vía de los tres carbonos o C<sub>3</sub>. En este caso, la fijación del carbono se lleva a cabo por medio del ciclo de Calvin, en el que la enzima ribulosa bifosfato (RuBP) carboxilasa combina una molécula de dióxido de carbono con el material de partida, un azúcar de cinco carbonos llamado ribulosa bifosfato. En cada ciclo completo, ingresa una molécula de dióxido de carbono. El número requerido para elaborar dos moléculas de gliceraldehído-fosfato, que equivalen a un azúcar de seis carbonos, son seis vueltas. Se combinan seis

moléculas de RuBP, un compuesto de cinco carbonos, con seis moléculas de dióxido de carbono, produciendo seis moléculas de un intermediario inestable que pronto se escinde en doce moléculas de fosfoglicerato, un compuesto de tres carbonos. Estos últimos se reducen a doce moléculas de gliceraldehído fosfato. Diez de estas moléculas de tres carbonos se combinan y se regeneran para formar seis moléculas de cinco carbonos de RuBP. Las dos moléculas "extra" de gliceraldehído fosfato representan la ganancia neta del ciclo de Calvin. Estas moléculas son el punto de partida de numerosas reacciones que pueden implicar, por ejemplo, la síntesis de glúcidos, aminoácidos y ácidos grasos (SALISBURY, 1999).

### **2.9.2. Fijación de carbono en el suelo**

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 t/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 t/año). La materia orgánica del suelo tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo. Se han desarrollado un gran número de métodos de separación para identificar los distintos constituyentes de la materia orgánica del suelo, grupos cinéticos, por ejemplo, grupos que pueden ser definidos por una cierta tasa de recambio del carbono (CERRI *et al.* 1985).

Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia, variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica; por ejemplo, la lignina es más estable que la celulosa, a décadas o a más de 1 000 años (fracción estable). También hay alguna conexión con la composición, pero principalmente con el tipo de protección o el tipo de uniones químicas. Para la fracción del carbono estable se debe hacer una distinción entre la protección física o química o captura. Protección física significa un encapsulado de los fragmentos de la materia orgánica por las partículas de arcilla o por los macro- o micro agregados del suelo. La protección química se refiere a uniones especiales de la materia orgánica con otros constituyentes del suelo-coloides o arcillas. Sin embargo, el término captura de carbono tal como se usa en el Protocolo de Kyoto no toma en consideración esas distinciones y es equivalente al término almacenamiento de cualquier forma de carbono (CAMBARDELLA, 1998).

Los diferentes grupos de materia orgánica en los suelos son influenciados por distintos factores. Las partículas de materia orgánica libre y la biomasa microbiana de los suelos son controladas por el aporte de residuos. La agregación del suelo, la textura y la mineralogía controlan la materia orgánica en macroagregados y por lo tanto, la labranza tiene un gran efecto sobre el tamaño de esos reservorios. Los otros reservorios son menos afectados por los factores agronómicos pero lo son sobre todo por factores pedológicos microagregación y composición de la arcilla (CAMBARDELLA, 1998).

## **2.10. Reportes de trabajo de investigación en la fijación de carbono en cacao bajo sistemas agroforestales**

Con la finalidad de comparar el contenido de carbono almacenado en los diferentes componentes del SAF cacao + laurel y bosque secundario; el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea entre el SAF cacao + laurel y bosque en las edades de 9, 10 y 11 años y determinar la valoración económica del SAF con cacao y bosque secundario se realizó el trabajo de investigación en cuatro zonas de la provincia de Leoncio Prado, Huánuco-Perú. La metodología utilizada para evaluar carbono almacenado fue la de ARÉVALO *et al.* (2002). Los resultados obtenidos, establecieron que los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), son en pequeñas cantidades, siendo para el sistema agroforestal cacao + laurel de 0.53, 1.73, 0.96 y 2.83, 5.14, 2.64 t C/ha y mayores en biomasa arbórea con 46.98, 62.59 y 79.98 t.C/ha; mientras que en el bosque secundario fue de 0.85, 0.17, 0.41 y 5.24, 5.29, 6.93 t C/ha y biomasa arbórea con 21.62, 69.35 y 94.75 t.C/ha en las edades de 9, 10 y 11 años respectivamente. La prueba de T; indica que el SAF no difiere estadísticamente del bosque secundario respecto a la biomasa vegetal y total; en el componente suelo se encontró diferencias entre los diferentes sistemas versus las edades de 9,10 y 11 años respectivamente y el aporte promedio de suelo para el carbono total fue de 53.1% y 44.2% para el bosque secundario y SAF. Respecto al valor económico, el sistema más rentable es el SAF cacao + laurel con S/. 1.077,69 y de menor rentabilidad el bosque secundario con S/. 330,91 respectivamente (BRINGAS, 2010).

Un estudio sobre la cuantificación de biomasa y carbono en principales sistemas de uso de suelo en Campo Verde, Ucayali, consistió en la utilización de transectos de 100 m<sup>2</sup>, en los cuales se evaluaron los árboles existentes mayores a 2.5 cm. de DAP; para el caso de arbustos y sotobosque se utilizaron cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> distribuidos en el campo al azar colectándose la hojarasca existente dentro del cuadrante. Estos datos fueron cuantificados por formulas alométricas preestablecidas en el protocolo de carbono del *International Council for Research in Agroforestry* (ICRAF/ASB) (BARBARÁN, 1998).

El Cuadro 1, muestra el trabajo de investigación sobre la “estimación de la biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado”, observándose que el C almacenado fluctuó de casi 59 a 98 t C/ha para el sistema cacao:guaba y de 35 a casi 85 t/ha en el sistema cacao:bolaina (HERRERA, 2010).

El Cuadro 2, muestra el trabajo de investigación sobre la estimación y valoración de las reservas de carbono del cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres sistemas de uso de la tierra (VIENA, 2010). En este cuadro se aprecia que una plantación con cacao almacenó mayor cantidad de C que un terreno empurmado, con pastos y un suelo degradado

**Cuadro 1.** Promedio de carbono almacenado por los sistemas agroforestales de cacao, guaba y bolaina de tres edades en la provincia de Leoncio Prado.

<b>Edad del cultivo</b>	<b>Carbono en la biomasa aérea</b>	<b>Carbono en el suelo</b>	<b>Total SAF (t C/ha)</b>
Cacao + guaba (2-3 años)	53.22	5.77	58.99
Cacao + guaba (3-4 años)	67.72	6.38	74.10
Cacao + guaba (4-5 años)	90.49	7.27	97.76
Cacao + bolaina (2-3 años)	28.81	6.23	35.04
Cacao + bolaina (3-4 años)	53.26	7.31	60.58
Cacao + bolaina (4-5 años)	76.97	7.93	84.91

Fuente: HERRERA (2010)

**Cuadro 2.** Distribución de las cantidades de carbono almacenado total en los diferentes sistemas evaluados en la edad de 5 años.

	<b>Carbono (t/ha)</b>			
	<b>Cacao</b>	<b>Pasto</b>	<b>Purma</b>	<b>Suelo degradado</b>
Biomasa aérea	105.788	9.585	35.265	11.77
Suelo	19.952	9.250	30.245	12.68
Total C	125.740	18.84	65.510	24.45

Fuente: VIENA (2010)

Con la finalidad de evaluar la biomasa aérea y conocer el potencial de captura de carbono en sistemas agroforestales de cacao asociado con especies forestales maderables y frutales, fue conducido un estudio en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín (San Martín y Mariscal Cáceres). Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años. En cada sistema se establecieron aleatoriamente cinco cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> cada uno, evaluándose la biomasa vegetal total existente. Para evaluar la ecuación alométrica del cacao se muestrearon 7 plantas cuyas edades variaron de 1 hasta 22 años. Los resultados en almacenamiento de carbono en cada sistema agroforestal variaron 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; Asimismo, el almacenamiento de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t C/ha hasta 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 árboles muertos caídos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representaron el 66.7% de los sistemas que presentaron 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 (CONCHAI, ALEGRE y POCOMUCHA, 2007).



En la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica, ORTIZ y RIASCOS, (2006) realizaron una investigación en 25 años, en donde los sistemas laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C/ha; el laurel fijó entre 80-85% del carbono total en la biomasa. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otro estudio en Talamanca, que encontró entre 42 y 61 t C/ha en cacaotales arbolados en loma y valle (SEGURA, 2005). Asimismo, ALBRECHT y KANDJI (2003) reportan almacenamientos de carbono similares de 39-102 t C/ha para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica y en cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono entre 10.6 y 12.6 t C/ha a los 4 y 10 años de edad, respectivamente; asimismo, ÁVILA *et al.* (2001) mencionan que los sistemas cacao-laurel fijaron entre 1.7 y 2.5 t C/ha/año en 25 años y SEGURA (2005) encontró tasas de acumulación de carbono similares de 2.1 y 2.8 t C/ha/año en cacaotales con 100-150 árboles/ha. La máxima tasa de acumulación de carbono se presentó en el cuarto año, entre 4.2 y 6.4 t C /ha/año para espaciamientos de 12m x 12m en valle y 6m x 6m en loma, respectivamente. Este servicio ambiental de secuestro de carbono podría aportar ingresos económicos adicionales a los hogares si se logran vender los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En el Ecuador se realizaron estudios en SAF con café y cacao, con la finalidad de cuantificar el carbono fijado y almacenado en esos sistemas silvoagrícolas, así como estimar el valor económico del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvoagrícolas. Los sistemas

agroforestales evaluados fueron: *Coffea arabica* + *Inga edulis*, *Coffea arabica* + *Schizolobium parahyba*, *Coffea arabica* + *Cordia alliodora*, *Theobroma cacao* + *Inga edulis*, *Theobroma cacao*; + *Schizolobium parahyba* y *Theobroma cacao* + *Cordia alliodora*, todos de 6,5 años de edad y ubicados en dos zonas agro ecológicas del litoral ecuatoriano; Pichilingue (provincia de Los Ríos) y Caluma (provincia de Bolívar). Los contenidos de carbono se evaluaron a nivel del suelo ( 0-30 cm) y necromasa, del componente arbustivo: biomasa aérea de las plantas de café y cacao, y del estrato arbóreo: biomasa de los árboles de guaba, pachaco y laurel. Los resultados señalan que los suelos de Caluma presentaron una mayor capacidad de almacenamiento de C (92.8 t/ha), en comparación a los suelos de Pichilingue (55.4 t/ha). Por el contrario, en Pichilingue se determinó una mayor capacidad de captura de C a nivel de la biomasa aérea (151.6 t C/ha), frente a 84.4 t C/ha de Caluma. Los suelos de los SAF con café y cacao, son depósitos importantes de carbono: 72.5 y 75.7 t C/ha, respectivamente; asimismo, los contenidos de C almacenados en el suelo, son el producto del constante flujo de materia orgánica aportado por la biomasa vegetal. A nivel de la biomasa aérea de los cafetos, se determinó un contenido de 4.12 t C/ha mientras que en los arbustos de cacao, fue de 1.80 t C/ha, lo que representa el 2.24% y el 0.92% del contenido total de carbono en los SAF. La asociación de especies forestales de rápido crecimiento, como el pachaco (*Schizolobium parahyba*) con café y cacao en SAF, permite incrementar los contenidos de C a nivel de la biomasa que está determinada por la capacidad de crecimiento de los árboles y su capacidad de almacenamiento de carbono (CORRAL *et al.* 2006).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación de los sistemas

El presente trabajo se desarrolló en parcelas con plantaciones de tres edades, ubicadas en el margen izquierdo de la carretera Federico Basadre aproximadamente a 10 minutos de la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, en los fundos "Nueva Esperanza" de la familia Chávez Ángeles y del Sr. José Luis Reyes.

Geográficamente según HOLDRIDGE (1982), Tingo María se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo premontano subtropical (bmh - PST) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú, se encuentra en la zona alta o Rupa Rupa. La latitud sur es de 9° 19' 6.8" y longitud oeste de 75° 59' 43.5. La altitud es de 660 m.s.n.m. La temperatura promedio es de 24° C y una precipitación media anual de 3200 mm.

Las coordenadas UTM de las parcelas fueron las siguientes:

Plantación agroforestal de 6 años	391107 E	8973759 N
Plantación agroforestal de 8 años	390917 E	8973602 N
Plantación agroforestal de 10 años	390366 E	8978229 N

### 3.1.2. Descripción de los sistemas

#### a. Sistema agroforestal con cacao de 6 años de edad (SAF-6 AÑOS)

El SAF - 6 AÑOS estuvo conformado por las siguientes especies: cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51, bolaina (*Guazuma crinita*), cedro (*Cedrela odorata*) y guaba (*Inga sp.*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*). El cacao tuvo un distanciamiento de 3 m x 3 m y las especies con las que está asociado el cacao y actúan como sombra, tuvieron un distanciamiento de 12 m x 12 m, los mismos que se encuentran distribuidas regularmente entre las plantas de cacao.

#### b. Sistema agroforestal con cacao de 8 años de edad (SAF-8 AÑOS)

El SAF - 8 AÑOS estuvo conformado por las siguientes especies: cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51, bolaina, cedro (*Cedrela odorata*), guaba (*Inga sp.*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*). El cacao tuvo un distanciamiento de 3 m x 3 m, y las especies asociadas que actúan como sombra, de 6m x 6m, las mismas que se encuentran distribuidas irregularmente entre las plantas de cacao, ya que la mayoría son árboles de bolaina.

**c. Sistema agroforestal con cacao de 10 años de edad (SAF - 10 AÑOS)**

El SAF-10 AÑOS estuvo conformado por las siguientes especies: cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 con distanciamiento de 3 x 3 m, árboles de bolaina, cedro (*Cedrela odorata*), guaba (*Inga sp.*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y eucalipto tropical (*Eucalyptus sp.*) a un distanciamiento de 10m x 12m, los mismos que se encuentran distribuidos regularmente entre las plantas de cacao.

**3.2. Equipos y Materiales**

**3.2.1. Equipos**

GPS Garmin MAP 60 CSx, cámara fotográfica digital Sony W530, estufa y balanza analítica Citizen C T 3000 H., equipo de cómputo, calculadora científica e impresora.

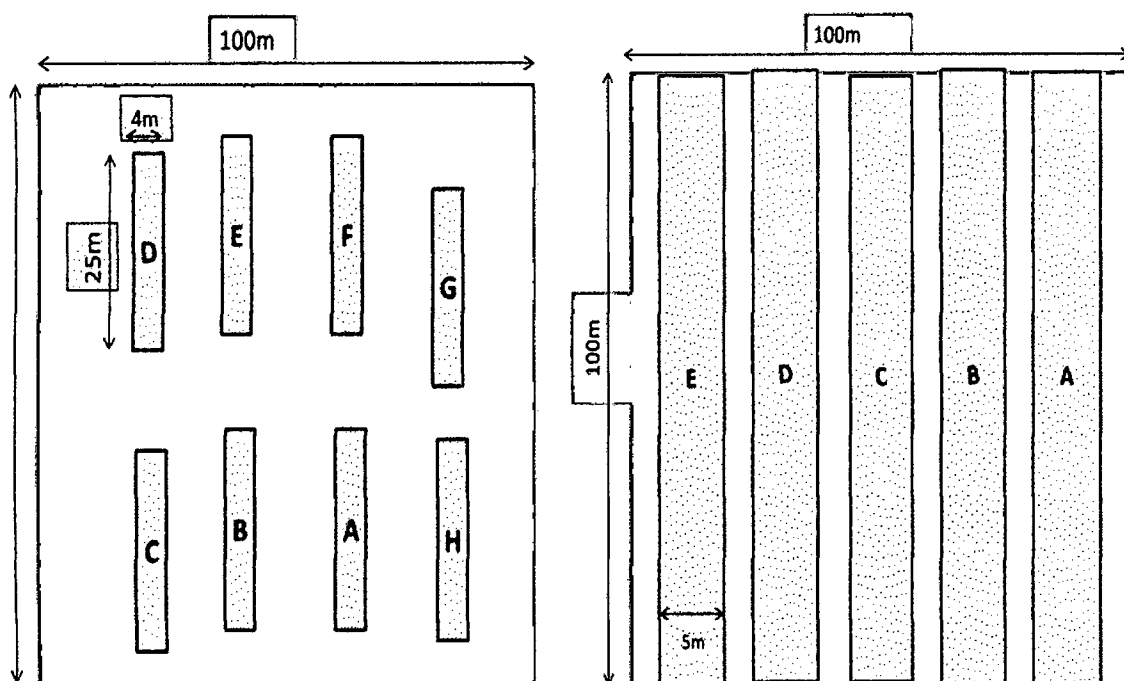
**3.2.2. Materiales**

Marco de madera de 1m x 1m y de 0.5m x 0.5m.

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Selección y delimitación del área en estudio

Se ubicó el cultivo de cacao clon CCN51, bajo un sistema agroforestal para la determinación de almacenamiento de carbono, de las edades de 6, 8 y 10 años. Para cada edad, las parcelas fueron de 1 hectárea, se procedió a delimitarlas formando 8 transectos (A, B, C, D, E, F, G y H) para los sistemas de 6 y 8 años, con dimensiones de cada transecto de 4 m x 25 m. Para el sistema de 10 años se formaron 5 transectos (A, B, C, D y E) de 5 m x 100 m (Figura 1), en los que se tomaron las medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP) y se realizaron las evaluaciones de biomasa aérea y muestreo de suelos.



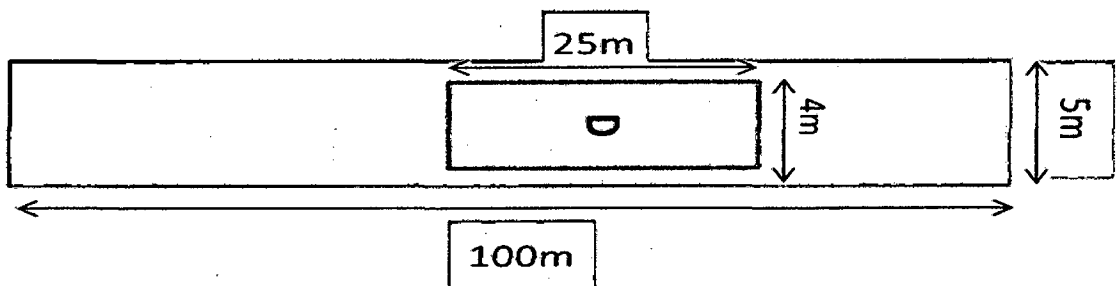
**Figura 1.** Detalle de parcelas con transectos internos, izquierda (SAF de 6 y 8 años), derecha (SAF de 10 años).

### 3.3.2. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico

La metodología que se empleó para la evaluación de biomasa vegetal fue la recomendada por el Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ARÉVALO *et al.* 2002).

#### a. Biomasa arbórea viva

Para evaluar la biomasa arbórea viva de árboles con diámetros mayores de 2,5 cm, se trazaron parcelas de 4 m x 25 m, donde se realizó el inventario de todos los árboles con diámetros de 2,5 cm hasta 30 cm, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP) en el caso de árboles forestales. El diámetro basal, para el caso del "cacao" *Theobroma cacao* L. se tomó a 30 cm desde el suelo (ALEGRE *et al.* 2002), mientras que para el componente forestal se evaluó el DAP a 1,30 cm del suelo. Para el caso donde se encontraron árboles que superaron los 30 cm de DAP, se extrapoló una parcela de 5 m x 100 m, superpuesta a la primera 4 m x 25 m (Figura 2).

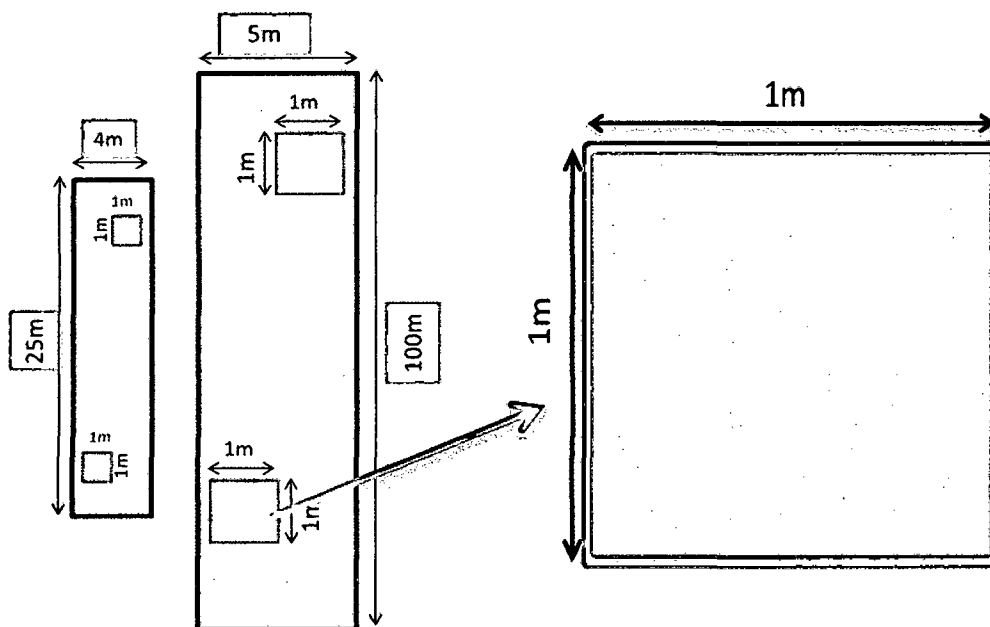


**Figura 2.** Diseño de las áreas para la evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal.

### b. Biomasa arbustiva y herbácea

La biomasa arbustiva (BAb) y herbácea (Hbh), está compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. La recolección de muestras de material arbustivo y herbáceo se efectuó por muestreo directo con dos cuadrantes de 1m x 1m (Figura 3) distribuidos al azar dentro de los transectos de 4m x 25m y 5m x 100m.

Se cortó toda la vegetación al nivel del suelo, se pesó el total de la muestra y luego se sacó una submuestra en bolsas de papel periódico y se colocó en una estufa de aire caliente a 75°C durante 24 horas hasta que se obtuvo peso seco constante.

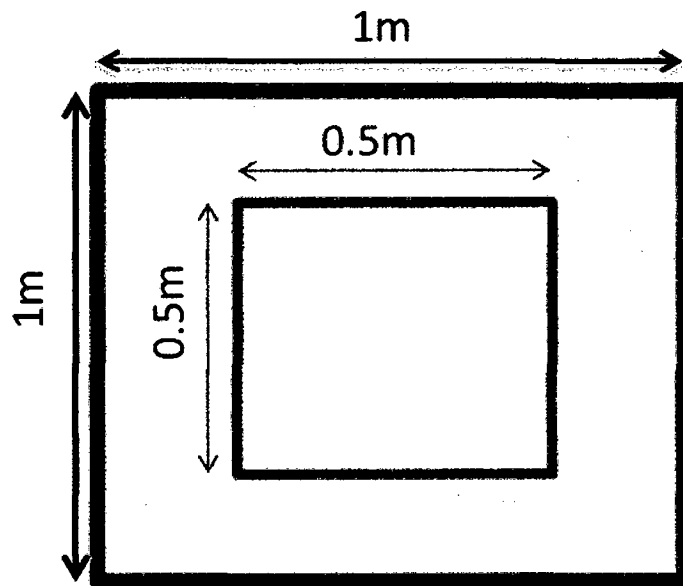


**Figura 3.** Diseño de las áreas para la evaluación de biomasa arbórea viva y biomasa arbustiva y herbácea.



**c. Biomasa seca (hojarasca)**

Se cuantificó la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas), utilizando cuadrantes de 0.5m x 0.5m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1m x 1m (Figura 4). Se colocó toda la hojarasca en bolsas, registrando el peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup>. De esta se sacó una sub muestra y se registró su peso y se secó en la estufa a temperatura constante de aire caliente a 75°C, hasta obtener peso seco constante.



**Figura 4.** Cuadrante de 1m x 1m para material herbáceo, arbustivo y cuadrante interior de 0.5m x 0.5m para hojarasca.

### **3.3.3. Medición de carbono del suelo del cultivo de cacao como sistema agroforestal**

#### **a. Muestreo de suelos, medición de la densidad aparente y peso del suelo**

Para la evaluación del carbono total del suelo, se realizó una mini calicata de 1m x 1m en cada uno de los cuadrantes delimitados para el muestreo de la biomasa herbácea y arbustiva, en los que se tomaron muestras de suelo en forma estratificada (0–10, 10–20 y 20–30 cm de profundidad). En cada estrato se colocaron cilindros Uhland de volumen conocido y se llevó a la estufa a 105°C por 24 horas para estimar la densidad aparente del suelo (ALEGRE *et al.* 2002). Asimismo se obtuvieron muestras de 500 g en promedio que se codificaron debidamente y se llevaron al laboratorio para la determinación del carbono por el método de Walkley - Black.

### **3.4. Cálculos**

#### **3.4.1. Cálculos de la biomasa vegetal**

Las fórmulas empleadas para la determinación del carbono aéreo fueron las establecidas por el ICRAF (ALEGRE *et al.* 2002).

La fórmula utilizada se muestra a continuación:

$$BA = 0.1184 \times DAP^{2.53}$$

Dónde:

- BA* : Biomasa del árbol individual (kg).  
0.1184 : Constante.  
2.53 : Constante.  
*DAP* : Diámetro a la altura del pecho (1.30 m  
especies forestales y 0.30 cm para las  
plantas de cacao).

**a. Biomasa arbórea viva (t/ha)**

Para calcular la biomasa por hectárea, se sumaron los árboles medidos y registrados en cada parcela luego estos resultados se multiplicó por el factor de conversión, 0.1 ó 0.2, como se muestra a continuación:

$$BAVT (t/ha) = BTAV * 0.1, \text{ ó}$$

$$BAVT (t/ha) = BTAV * 0.02$$

Dónde:

- BAVT* : Biomasa de árboles vivos en t/ha.  
*BTVA* : Biomasa total de la parcela.  
0.1 : Factor de conversión de la parcela 4 x 25 m.  
0.02 : Factor de conversión de la parcela 5 x 100 m.

**b. Cálculo de la biomasa arbustiva y herbácea**

$$BAb - hb(t / ha) = \left( \frac{PSM}{PFM} \times PFT \right) \times 0.01$$

Dónde:

*BAb - hb* : Biomasa Arbustiva – Herbácea (t/ha).

*PSM* : Peso Seco de la Muestra (g).

*PFM* : Peso Fresco de la Muestra (g).

*PFT* : Peso Fresco Total (g).

**c. Biomasa de la hojarasca (t/ha)**

$$Bh(t / ha) = \left( \frac{PSM}{PFM} \times PFT \right) \times 0.04$$

Dónde:

*Bh (t/ha)* : Biomasa arbustiva – Herbácea (t/ha).

*PSM* : Peso seco de la muestra (g).

*PFM* : Peso fresco de la muestra (g).

*PFT* : Peso fresco total (g).

**d. Cálculo de la Biomasa Vegetal Total (t/ha)**

$$BVT (t/ha) = BAVT + BAb- hb + Bh$$

**e. Cálculo del Carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)**

Para obtener la cantidad total de carbono almacenado se llevó a t/ha el peso seco de la biomasa y se multiplicó por el factor 0.45, proporción de carbono asumido por convención, considerándose que el 45% de la materia seca es C (BROWN y LUGO, 1992).

$$CBV (t/ha) = BVT * 0.45$$

Dónde:

*CBV* : Carbono en la biomasa vegetal.

*BVT* : Biomasa vegetal total.

0.45 : Constante.

**3.4.2. Cálculo del peso del volumen del suelo (t/ha)**

Se calculó el peso del volumen del suelo por hectárea, evaluando primero la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes evaluados.

**a. Densidad aparente del suelo (g/cc)**

$$DA(g / cc) = \frac{PSN}{VCH}$$

Dónde:

*DA* : Densidad aparente (g/cc).

*PSN* : Peso seco del suelo dentro del cilindro.

*VCH* : Volumen cilindro (constante).

**b. Peso del volumen de suelo por estrato de muestreo**

$$PVs (t/ha) = DA \times Ps \times 10000$$

Dónde:

*PVs* : Peso del volumen de suelo (t/ha).

*DA* : Densidad aparente.

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

10000 : Constante.

**3.5. Cálculo del carbono total (biomasa vegetal más suelo)**

**a. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)**

$$CBV (t/ha) = BVT \times 0.45$$

Dónde:

*CBV* : Carbono en la biomasa vegetal.

*BVT* : Biomasa vegetal total.

0.45 : Constante (proporción de carbono, asumido por convención).

**b. Cálculo del carbono en el suelo (t/ha)**

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

Dónde:

CS : Carbono en el suelo (t/ha).

PVs : Peso del volumen de suelo.

% C : Porcentaje de carbono analizado en laboratorio.

100 : Factor de conversión.

**c. Cálculo del carbono total del Sistema de Unidad de Tierra (SUT)**

$$CT(t/ha) = CBV + CS$$

Dónde:

CT : Carbono total del sistema agroforestal.

CBV : Carbono en la biomasa vegetal total.

CS : Carbono en el suelo.

### 3.6. Variable dependiente

Carbono almacenado en plantaciones agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L) en producción de 6, 8 y 10 años.

### 3.7. Variables independientes

Variabes económicas.

### 3.8. Análisis estadístico

El diseño estadístico utilizado fue el diseño completamente al azar (DCA) donde los sistemas agroforestales constituyeron los tratamientos. Para encontrar diferencias significativas entre sistemas agroforestales con cacao en producción de 6, 8 y 10 años con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba de Duncan al 5% de nivel de significancia; asimismo se utilizaron cuadros y figuras para describir los resultados.

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon$$

Dónde:

$Y_{ij}$  : Variable dependiente (respuesta obtenida en el j-esima transecto sujeta a la aplicación del i-esimo SAF con cacao).

$\mu$  : Media.



$T_i$  : Efecto del i-esimo tratamiento.

$\varepsilon$  : Error.

### 3.9. Rentabilidad económica

Para la evaluación económica del estudio se utilizaron los siguientes indicadores propuestos por SANTANA (2005):

#### 3.9.1. Valor Actual Neto (VAN)

Para el cálculo del VAN, se utilizó la siguiente ecuación:

$$VAN = -I + \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j}$$

Dónde:

VAN = Valor Actual Neto (S/.).

$I$  = Inversión realizada en el periodo cero.

$R_j$  = Ingresos generados por la inversión en el periodo  $j$ .

$C_j$  = Costos operacionales en el periodo  $j$ .

$j$  = Periodo.

$n$  = Vida útil del proyecto.

$i$  = Tasa de oportunidad (Tasa de interés).

### 3.9.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para el cálculo de la TIR, se utilizó la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+r)^j} - I$$

Si la tasa de interés "r" (en la fórmula) es una tasa cuyo valor hace que el VAN = 0, entonces "r" viene a ser la Tasa Interna de Retorno (TIR).

### 3.9.3. Beneficio - Costo (B/C)

Para la relación B/C, se utilizó la siguiente ecuación:

$$R(B/C) = \frac{VPR_j - VPC_j}{VPI_j} > 1$$

Dónde:

$VPR_j$  = Sumatoria del valor presente de los ingresos para cada año ( $j= 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ) del período actualizado.

$VPC_j$  = Sumatoria del valor presente de los costos totales incurridos en cada año del período de análisis.

$VPI_j$  = Sumatoria del valor presente del capital invertido en cada año del período de análisis considerado.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. De la rentabilidad económica

El Cuadro 3, muestra los indicadores de rentabilidad de los SAF de 6, 8 y 10 años. El costo de oportunidad utilizado para los cálculos fue de 14% por año (SANTANA, 2005) determinándose el Valor Actual Neto (VAN) para los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años, alcanzando un valor superior el sistema de 10 años con S/. 2627.66 en relación a los sistemas agroforestales de 8 y 6 años que alcanzaron S/. 1273.90 y S/. 1331.38 respectivamente, indicando viabilidad de los tres sistemas.

**Cuadro 3.** Indicadores de rentabilidad económica

INDICADORES	SAF-6 AÑOS	SAF-8 AÑOS	SAF-10 AÑOS
VAN	S/.1,331.38	S/. 1,273.90	S/. 2,627.66
TIR	21.64%	19.55%	23.85%
B/C	1.21	1.18	1.40

VAN: Valor actual neto. TIR: Tasa interna de retorno. B/C: Relación beneficio costo

Al mismo tiempo, se observa que la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculado para el SAF - 8 años fue de 19.55%, menor a la TIR del sistema de 10 y 6 años que fue de 23.85% y 21.64% respectivamente. También este indicador de rentabilidad (TIR) nos demuestra que los tres sistemas son viables, por cuanto en dichos casos la TIR es mayor que el costo de oportunidad que se utilizó (14%).

Otro indicador de rentabilidad calculado fue la relación beneficio costo (B/C), que para el sistema de 8 años fue de 1.18, menor que la obtenida por los sistemas de 10 y 6 años que fueron de 1.40 y 1.21 respectivamente. Sin embargo, también en los tres casos, es viable el proyecto por ser la relación B/C mayor que 1, lo que quiere decir que el ingreso es mayor al costo de inversión. Asimismo, la relación beneficio costo de 1.21, 1.18 y 1.40 que corresponde a los sistemas de 6, 8 y 10 años, se puede interpretar que por cada sol que se invierte se obtiene una ganancia de S/. 0.21, 0.18 y 0.40 respectivamente.

Según el análisis, las rentabilidades económicas del presente trabajo resultaron semejantes a los encontrados por BRINGAS (2010) quien realizó un análisis de costos para sistemas agroforestales con cacao + laurel de 9, 10 y 11 años, con un costo de oportunidad de 14%, encontrando un VAN de S/. 1077.69, TIR de 17.81% y una B/C de 1.16, asumiendo que dicho sistema es rentable pero dichos indicadores resultan ser menores a los obtenidos en el presente trabajo. En otro trabajo de investigación similar, VIENA (2010) encontró un VAN de S/. 17804.38 superior a los encontrados por BRINGAS (2010) y a los obtenidos en el presente trabajo, lo que indica que la rentabilidad de los sistemas evaluados está ligado al tipo de asociación que realiza con el componente forestal, el cual brinda beneficios para el sistema como acumulación de materia orgánica y ello hace que la humedad y las propiedades del suelo mejoren y sean adecuados para los cultivos. Además de ello brindan servicios ambientales, protección y producción y ello genera beneficios económicos a mediano y largo plazo, por lo que es necesario enriquecer las

parcelas con árboles maderables valiosos, para aumentar la captura de carbono y generar ingresos complementarios por la venta de este servicio ambiental a la sociedad (LÓPEZ *et al.* 2002).

## 4.2. De la biomasa

### 4.2.1. Biomasa aérea de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad

El Cuadro 4, muestra las medias de la biomasa vegetal del estrato superior que comprende a las plantas de cacao y otras especies forestales, obtenidas de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad.

**Cuadro 4.** Biomasa vegetal del estrato superior en los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad.

<b>Sistemas</b>	<b>Cacao (t/ha)</b>	<b>Otras especies (t/ha)</b>	<b>Biomasa arbórea (t/ha)</b>
SAF-10 AÑOS	38.34	150.78	189.12 a
SAF-8 AÑOS	31.67	89.51	121.18 b
SAF-6 AÑOS	38.18	77.75	115.93 b
CV (%)		36.54	
P-Valor		0.0392	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

El estrato superior de la biomasa aérea de los sistemas agroforestales con cacao de 10, 8 y 6 años, está comprendida por las plantas de cacao y otras especies forestales. En el Cuadro 4, se observa que al comparar el promedio de biomasa arbórea, en las edades de 10, 8 y 6 años, el mayor aporte de biomasa retenido se encuentra en la biomasa arbórea de otras especies con, 150.78, 89.51 y 77.75 t/ha y el menor aporte es de la biomasa arbórea de las plantas de cacao que fue de 38.34, 31.67 y 38.18t/ha respectivamente.

El total de biomasa retenida en el estrato superior de los SAF de 10, 8 y 6 años muestra un incremento conforme van incrementando su edad a través del tiempo, siendo las otras especies forestales los actores del incremento y aportando mayor biomasa mientras que las plantas de cacao se muestran con valores semejantes; al sumar la biomasa de las plantas de cacao y la biomasa de las otras especies forestales de los sistemas de 10, 8 y 6 años se tuvo un total de 189.12, 121.18, 115.93 t/ha respectivamente; esto se debe a que las especies forestales al desarrollarse con el tiempo, son más vigorosos y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa; es decir, los sistemas de 10 años presentan más biomasa que el sistema de 8 y 6 años afirmando que los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan valores más altos de acumulación de carbono, tal como lo mencionan ALEGRE *et al.* (2002), LAPEYRE *et al.* (2004), NORBERTO (2006) y HERRERA (2010). El almacenamiento de carbono en los diferentes sistemas realizado por las plantas se efectúa mediante el secuestro del carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa concordando con TAIZ y ZEIGER (1998). Es así como se puede observar que

estadísticamente ( $p$ -valor = 0.0392) existe evidencias para aceptar que hay diferencias estadísticas entre los sistemas de 10 y 8 años, debido a que el sistema de 10 años es de mayor edad y por lo tanto los componentes arbóreos son más vigorosos y contienen mayor biomasa lo mismo ocurre con los sistema agroforestal de 10 y 6 años entre los que existen diferencias estadísticas. Caso contrario ocurre con los sistemas de 8 y 6 años entre los que no existe evidencia para aceptar diferencias estadísticas, mientras que si se puede observar una ligera diferencia numérica de 5.25 t/ha.

La biomasa del estrato inferior de los sistemas agroforestales con cacao para el presente trabajo está influenciada por los cultivos y especies forestales existentes, los mismos, que generan hojas y ramas que se descomponen y han generado altos valores de biomasa para el componente de hojarasca, mientras que para el componente herbáceo son menores ya que el crecimiento de este componente está directamente relacionada con el ingreso de la radiación solar que permite mayor capacidad fotosintética y si esto es mínimo es menor la formación de biomasa herbácea; esto es corroborado por CÓRDOBA Y HERNÁNDEZ (2009) quienes realizaron trabajos sobre el efecto de la sombra sobre el crecimiento herbáceo quienes señalan que la sombra reduce la radiación fotosintética viéndose afectado directamente la producción de biomasa de las herbáceas.

Por otro lado en el Cuadro 5, se observa que en los sistemas de 10, 8 y 6 años existe mayor biomasa para el componente hojarasca o necromasa frente a la biomasa arbustiva herbácea pero se muestra una igualdad

estadística para los dos componentes en los tres sistemas agroforestales siendo para las hojarasca (p-valor = 0.448) de 35.81, 28.99, 31.33 t/ha respectivamente; de igual modo para el componente herbáceo (p-valor= 0.2512) que fue de 4.74, 4.86 y 6.24 t/ha, respectivamente; sin embargo numéricamente la hojarasca aporta mayor biomasa que las herbáceas y a la vez muestran un incremento numérico conforme avanza su edad a través del tiempo.

**Cuadro 5.** Biomasa vegetal del estrato inferior en los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad

<b>Sistemas</b>	<b>Herbáceo (t/ha)</b>	<b>Hojarasca (t/ha)</b>
SAF-10 AÑOS	6.24 a	35.81 a
SAF-8 AÑOS	4.86 a	28.99 a
SAF-6 AÑOS	4.74 a	31.33 a
CV (%)	31.890	29.360
P-Valor	0.2512	0.448

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Duncan.

Es evidente que el estrato inferior de estos sistemas agroforestales con cacao resulta más productivo, con mayor producción de biomasa; así, el sistema de 10 años contiene mayor biomasa siguiéndole el de 6 años y el que contiene menor biomasa de hojarasca es el sistema de 8 años, debido a que sólo hay árboles de bolaina y no existe mucha sombra ni caída de hojas y ramas como si las hay en los sistemas de 10 y 6 años. La producción de



biomasa del estrato inferior depende directamente de la cantidad de radicación solar que logra ingresar al sistema y al estrato inferior y ello es corroborado por MINAG (2004) quien afirma que para el cultivo de cacao una intensidad lumínica menor del 50% del total de luz limita los rendimientos, mientras que una intensidad superior al 50% del total de luz los aumenta.

El Cuadro 6, detalla el total de biomasa vegetal retenida por los sistemas agroforestales con cacao de 10, 8 y 6 años, los que son obtenidos de la suma de la biomasa arbórea viva de las plantas de cacao y otras especies (estrato superior), biomasa arbustiva herbácea y hojarasca (estrato inferior).

**Cuadro 6.** Biomasa vegetal total en los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años de edad

<b>Componentes del Sistema</b>				
<b>Sistemas (edad)</b>	<b>Biomasa arbórea Viva (t/ha)</b>	<b>Biomasa arbustiva herbácea (t/ha)</b>	<b>Biomasa de hojarasca (t/ha)</b>	<b>Biomasa vegetal total (t/ha)</b>
SAF-10 AÑOS	189.12	6.24	35.81	231.17 a
SAF-8 AÑOS	121.18	4.86	28.99	155.02 b
SAF-6 AÑOS	115.93	4.74	31.33	152.00 b
CV (%)				27.77%
P-Valor				0.0182

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Duncan

Como lo muestra el Cuadro 6, la biomasa vegetal total es de 231.17, 155.02 y 152 t/ha para los SAF de 10, 8 y 6 años, respectivamente; en donde se puede observar que el mayor aporte a dicha suma la realiza el estrato superior. La mayor cantidad de biomasa vegetal lo tiene el SAF de 10 años siguiéndole el SAF de 8 años y finalmente el SAF de 6 años muestra la menor cantidad de biomasa vegetal; sin embargo, estadísticamente se puede observar las diferencias entre los sistemas de 10 y 8 años y los sistemas de 10 y 6 años mientras que entre los sistemas de 8 y 6 años no existe diferencias estadísticas

Según Brown (1997) citado por CALLO (2000), la biomasa es el volumen total de materia orgánica sobre la tierra hallada a nivel de un árbol, arbusto, maleza o residuo vegetal; lo que permitió obtener los datos mostrados en el Cuadro 6. Para el presente trabajo se consideró componentes, epigeos de las plantas de cacao, otras especies maderables, hierbas y hojarascas.

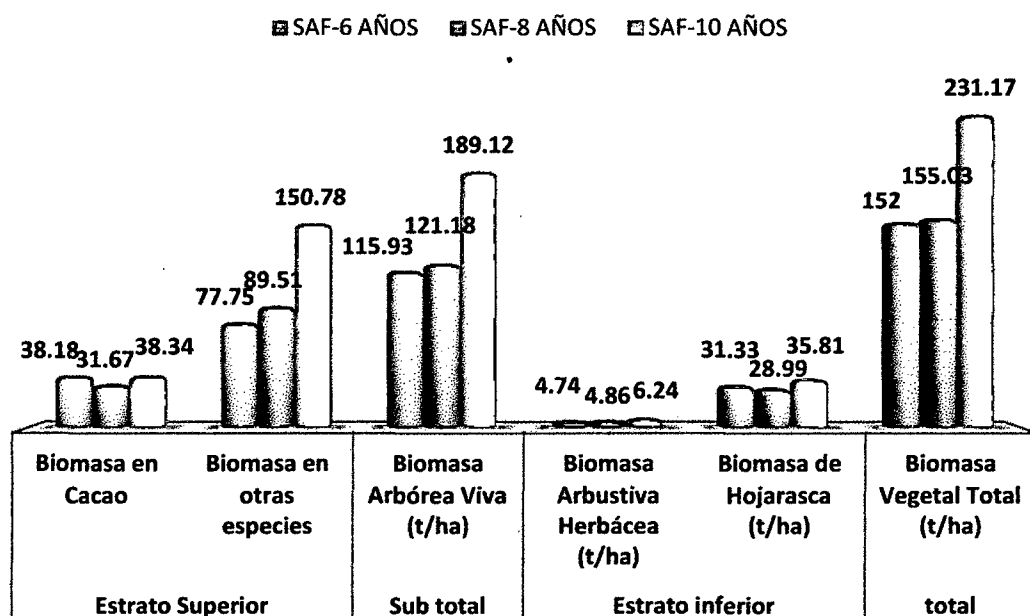
Es evidente que el estrato inferior de estos sistemas resulta más productivo, con mayor producción de biomasa. la producción de biomasa en este estrato se encuentra relacionada directamente por la cantidad de radiación solar que logre ingresar a éste y al mismo sistema, los sistemas agroforestales muestran diferencias en cuanto a las especies arbóreas, mientras que los sistemas de 6 años tienen árboles de bolaina y capirona, cedro y guaba en mismas proporciones, el sistema de 8 años tiene árboles de bolaina, capirona, cedro y guaba y en el sistema de 10 años existen especies arbóreas maderables como, bolaina, capirona, cedro, eucalipto tropical y guaba los que

influyen directamente en la reducción de la penetración de la radiación solar en el estrato inferior, asimismo, son estos los principales actores para que exista gran cantidad de biomasa para el componente hojarasca ya que estos árboles aportan hojas y ramas que se van descomponiendo. A ello se suman los restos de poda del cultivo principal que luego pasan a formar la materia orgánica en el suelo.

La biomasa o masa biológica determinada en el presente trabajo, es la masa total de los seres vivos presentes en una determinada área en un momento determinado y se expresa en t/ha, concordando con IPARRAGUIRRE (2000), quien menciona que la biomasa de los diferentes sistemas se cuantifica conociéndolo e identificándolo a nivel de sus componentes como hierbas, arbustos, suelo y planta cultivadas.

El comportamiento de la biomasa en los componentes de los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años están debidamente ilustradas en la Figura 5 observándose a nivel de biomasa arbórea 189.12, 121.18 y 115.21 t/ha respectivamente, biomasa arbustiva herbácea 6.24, 4.86 y 4.74 t/ha respectivamente, biomasa de hojarasca 35.81, 28.99 y 31.33 t/ha respectivamente, estos componentes se suman para obtener la biomasa vegetal total, aumentando el contenido de biomasa vegetal a medida que se incrementa la edad, observándose en los sistemas de 10, 8 y 6 años, reportes de 231.17, 155.02 y 152 t/ha respectivamente, distinguiendo una baja diferencia de 3.02 entre el sistema de 6 años y el sistema de 8 años esto debido a la homogeneidad de los sistemas, pues es preciso mencionar que los

tres sistemas están conformadas por especies arbóreas similares pero su distribución y proporción en los tres sistemas es totalmente diferente, lo que quiere decir, que de la diversidad (mezcla de especies) de un sistema, incrementará sucesivamente la producción de biomasa; en este caso el sistema de 8 años presenta mayormente especies de bolaina como sombra la que no lo hace muy diverso y hace que la producción de biomasa sea similar al sistema de 6 años y se diferencie del sistema de 10 años.



**Figura 5.** Biomasa de los diferentes componentes del sistema agroforestal de 6, 8 y 10 años de edad.

Al respecto ACOSTA *et al.* (2001) afirman que los factores que están influyendo en la cantidad de carbono en la biomasa vegetal de la parte aérea son la edad, la densidad, y la mezcla de especies ya sea a nivel herbáceo, hojarasca, o arbóreo, como sucede en los bosques secundarios, situación que

es corroborada por SMITH *et al.* (1997), quienes mencionan que la producción de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono por las plantas es determinada por las zonas de vida, los sitios, las especies y la etapa de desarrollo de la planta, asimismo, el manejo, fertilización o abonamiento y el control de enfermedades y plagas que se le den al cultivo principal.

En los tres sistemas se observa que la cantidad de biomasa a nivel de hojarasca es de 35.81, 28.99 y 31.33 t/ha respectivamente, la cual supera a la biomasa herbácea, esto debido a que el sistema de cultivo a través del tiempo va incrementando la Biomasa y necromasa mediante actividades de podas y caída de hojas en forma natural, tanto como especie agrícola cultivada (cacao) como para la especie empleada como sombra permanente; por otro lado, la biomasa herbácea es menor a la biomasa de hojarasca en los tres sistemas, esto se debe a mayor edad de las especies de sombras, menor es el ingreso de la radiación solar por lo tanto no permite el crecimiento de las malezas.

### **4.3. Del carbono almacenado**

#### **4.3.1. Carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad**

El carbono almacenado en la biomasa aérea de los SAF con cacao de 10, 8 y 6 años, se estimó calculando el carbono en el estrato superior, plantas de cacao y otras especies forestales y el estrato inferior herbáceas y hojarasca (Cuadro 7).

El Cuadro 7, muestra el carbono total almacenado en la biomasa vegetal, asimismo, muestra el carbono almacenado en los componentes superior (arbóreo) e inferior (arbustiva, herbácea y hojarasca) de los sistemas 10, 8 y 6 años de edad, como puede verse en cuanto al carbono total aéreo almacenado estadísticamente ( $p$ -valor= 0.0182) existe evidencia suficiente para aceptar diferencias entre los sistemas de 10 y 8 años, asimismo, entre los sistemas de 10 y 6 años mientras que no existe evidencia suficiente para aceptar diferencias entre los sistemas de 8 y 6 años de edad, recalcando que los sistemas de mayor edad almacenan mayor cantidad de carbono, asimismo se puede apreciar que no existen diferencias marcadas entre la cantidad de carbono almacenado de los sistemas agroforestales de 8 y 6 años los que se deben en gran medida a las combinaciones de sombra y coberturas vegetales elegidas por los agricultores, dueños de las parcelas, así como el distanciamiento de las especies asociadas como sombra permanente como las mismas plantas de cacao. Al respecto, NORBERTO (2006), afirma que los ecosistemas que almacenan más carbono en la biomasa vegetal son los de mayor edad, puesto que suelen preservar individuos mayores y consecuentemente más robustos y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa. ACOSTA *et al.* (2001) afirman que los factores que están influyendo en la cantidad de carbono de la parte aérea son la edad, la densidad, y la mezcla de especies ya sea a nivel herbáceo, hojarasca, o arbóreo. Por otro lado se confirma con lo manifestado por CALERO (2008) quien manifiesta que el componente arbóreo maderable presente en los sistemas agroforestales es un recurso valioso que brinda diferentes beneficios

como sombra a cultivos y ganado, madera y leña, además de prestar servicios ambientales como la captura de carbono, protección del suelo, conservación de biodiversidad.

**Cuadro 7.** Carbono de la biomasa vegetal en los sistemas agroforestales con cacao de 10, 8 y 6 años.

Sistemas (edad)	Estrato superior		Sub total	Estrato inferior		Total	
	CC	COE	CA	CAH	CH	CBV	
	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	
SAF-10 AÑOS	17.25	67.85	85.10	2.81	16.12	104.03	a
SAF-8 AÑOS	14.25	40.28	54.53	2.19	13.04	69.76	b
SAF-6 AÑOS	17.18	34.99	52.17	2.13	14.10	68.40	b
CV (%)						27.77%	
P- Valor						0.0182	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Duncan; C=Carbono; CC= Carbono en plantas de cacao; COE= carbono en otras especies forestales; CA=Carbono Aéreo; CAH= Carbono Arbustivo y Herbáceo; CH= Carbono de Hojarasca; CBV= Carbono en la Biomasa Vegetal

Asimismo, en el Cuadro 7 se observa que al comparar el almacenamiento promedio de carbono en la biomasa arbórea viva (carbono en cacao + carbono en otras especies forestales) entre los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años el mayor aporte de carbono almacenado se encuentra en el SAF de 10 años con 85.10 t/ha (17.25 t/ha cacao + 67.85 t/ha otras especies), siguiéndole el SAF de 8 años 54.53 t/ha (14.25 t/ha cacao + 40.28 t/ha otras especies) y finalmente el de 6 años 52.17 t/ha (17.18 t/ha cacao + 34.99 t/ha otras especies) la cual muestra una acumulación sucesiva

conforme se incrementa la edad de estos sistemas agroforestales concordando con HERRERA (2010) quien evaluó dos sistemas agroforestales cacao + guaba y cacao + bolaina en las edades de 2, 3 y 4 años; y establece que las diferencias existentes de carbono almacenado entre los tres rangos de edad del cultivo de cacao bajo los dos sistemas agroforestales a nivel aéreo; establece un crecimiento ascendente en función al tiempo de desarrollo, crecimiento del cultivo y diferentes sistemas, coincidiendo con el presente trabajo que conforme avanza la edad del sistema el almacenamiento de carbono tiende a incrementarse así mismo se concuerda con BRINGAS (2010) quien evaluó sistemas agroforestales con cacao asociado a laurel comparando estas con un bosque secundario de las edades de 9, 10 y 11 años, donde se puede observar las diferencias que hay entre las tres edades de los sistemas a nivel de biomasa aérea estableciendo un crecimiento sucesivo en relación al tiempo de desarrollo del sistema coincidiendo así con el presente trabajo cabe mencionar que los datos reportados en estos trabajos no son similares ya que fueron de distintas edades y fueron evaluados en otras zonas de vida y en otro momento.

Asimismo, se puede observar que las plantas de cacao en si aportan menos carbono a los SAF con cacao de 10, 8 y 6 años, además de mantener ligeras diferencias entre las tres edades 17.25, 17.18 y 14.25 t/ha respectivamente, mientras que las otras especies forestales se incrementan conforme aumentan las edades, de 67.85, 40.28 y 34.99, t/ha respectivamente, esto debido a que las especies forestales son de mayor volumen. En consecuencia, son las especies con las que se encuentran asociadas las que



dan la diferenciación para que el sistema incremente el almacenamiento de carbono arbóreo concordando con Alvarado *et al.* (1999) citados por DZIB (2003) quienes manifiestan que en sistemas agroforestales, el componente más importante de la biomasa sobre del suelo es el de los árboles y que el 68% del carbono fijado proviene de los árboles de sombra debido al volumen de celulosa que contienen. También se ha observado que la mayor fijación de carbono tiene una relación directa con las regiones, debido a las condiciones climáticas. Por otro lado se puede apreciar que el almacenamiento de carbono para las plantas de cacao del sistema de 8 años es menor al sistema de 6 y 10 años, debido a que el sistema de 8 años en su sistema tiene más árboles de bolaina como sombra permanente y este compite por nutrientes y espacio con el cultivo de cacao (distanciamiento 6m x 6m) por la cual el cultivo principal se observa de menor porte que en los sistemas de 6 y 10 años y en consecuencia el contenido de carbono se expresa menor o similar que los sistemas de 6 y 10 años.

De igual modo se observa que a nivel del componente arbustivo y herbáceo hay un ligero aumento en el almacenamiento de carbono en los SAF con cacao de 10, 8 y 6 años teniendo 2.81, 2.13 y 2.19 t C/ha respectivamente, mientras que el carbono almacenado en el componente hojarascas para los tres sistemas es mayor a los valores del componente arbustivo herbáceo teniendo 16.12, 14.10, 13.04, t C/ha respectivamente; esto se debe a que estos sistemas no presentan especies herbáceas en grandes cantidades por la existencia de sombra y auto sombra a pesar que el presente trabajo se desarrolló cuando no se llevaba a cabo el desmalezado rutinario que se realiza,

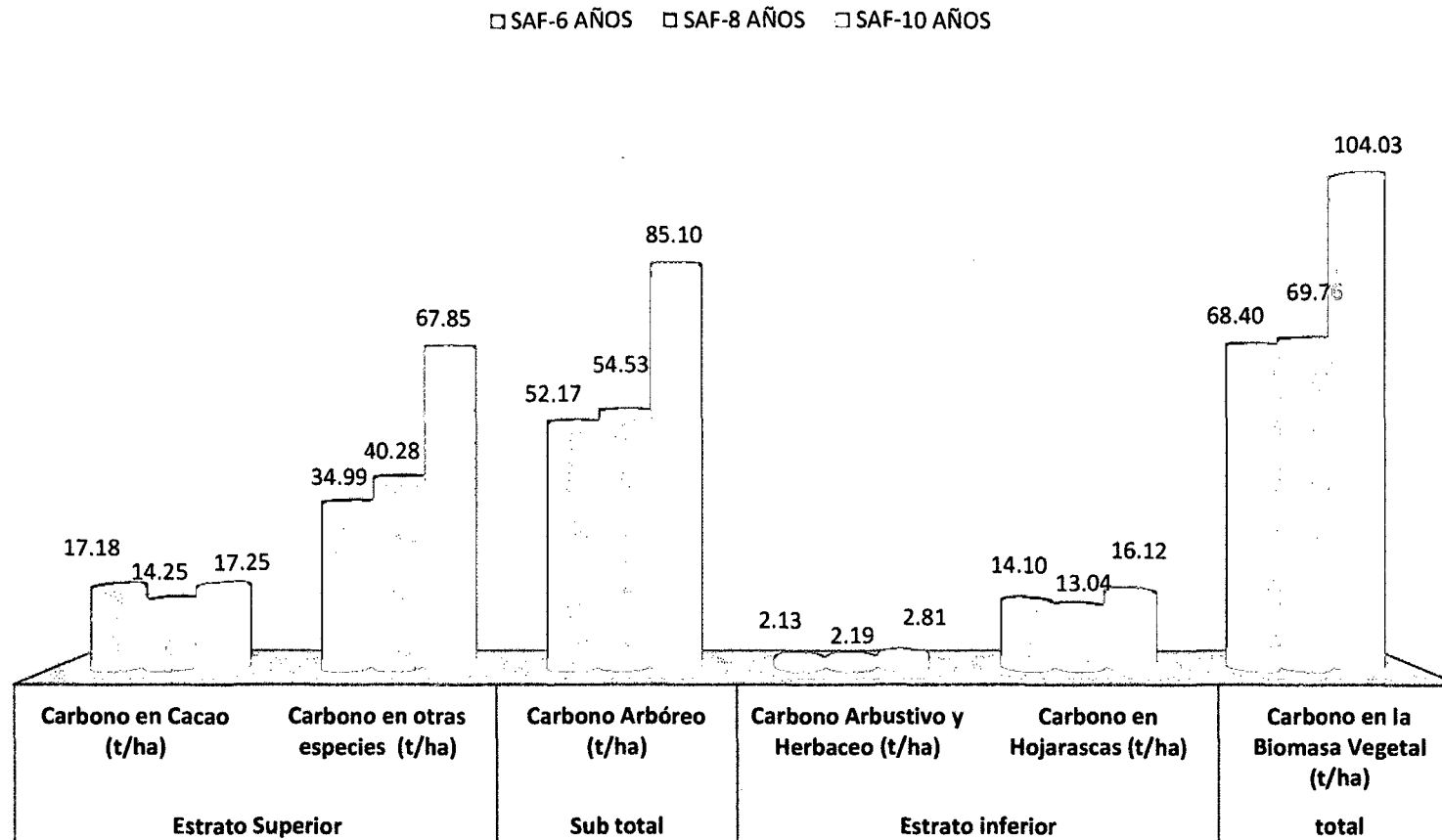
el cual ha permitido encontrar valores mayores a los reportados por BRINGAS (2010) quien reporta valores de 0.53, 1.73, 0.96 t C/ha para el componente herbáceo en sistemas agroforestales con cacao más laurel de 9,10 y 11 años respectivamente. Asimismo, DUPOUEY *et al.* (1999) indican que los restos vegetales superficiales representan el 6 %

Las especies maderables establecidas como sombra temporal disminuye el ingreso de la radiación solar, la cual no permite el desarrollo de los arbustos y herbáceas, existiendo cantidad de hojarasca y mulch. En tanto, ALEGRE *et al.* (2002) mencionan que las coberturas en un sistema como un bosque secundario aumentan la cantidad de almacenamiento de carbono, lo que quiere decir que la incorporación de cobertura en el sistema aumentaría el almacenamiento de carbono, así en las tres edades el carbono almacenado en el componente hojarasca es superior al componente herbáceo, pues al no existir desarrollo de malezas permite un mayor desarrollo del hojarasca y mulch. Incrementándose conforme avanza la edad del sistema, ya que en estos sistemas existe un aporte constante y de mayor cantidad de restos vegetales muertos, caídas de hojas en forma natural.

La Figura 6 ilustra el contenido del carbono almacenado en los diferentes componentes aéreos de los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años, donde se puede ver claramente que a nivel de las plantas de cacao tienen una ligera diferencia entre los tres sistemas a diferencia del sistema de 8 años que reporto menor almacenamiento de carbono en sus plantas de cacao, esto debido a la competencia por nutrientes que se da en el sistema con los

árboles de bolaina quienes tienen un crecimiento rápido por ende son de absorción rápida mientras que al diferenciar el almacenamiento de carbono que reportan las otras especies resultan ser en mayor cantidad de carbono al sistema haciendo que estas marquen las diferencias a nivel del carbono almacenado a nivel arbóreo. En cuanto al componente arbustivo, herbáceo y hojarasca se puede distinguir que hay una ligera diferencia entre ambos componentes y entre los tres sistemas, cabe mencionar que el componente hojarasca aporta mayor almacenamiento de carbono (16,12, 14.10 y 13,04 t C/ha) que el componente arbustivo y herbáceo (2,81, 2.13 y 2,19 t C/ha) en los tres sistemas de 10, 8 y 6 años respectivamente.

El almacenamiento de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra realizado por las plantas se efectúa mediante el secuestro del carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo concordando así con TAIZ y ZEIGER (1998), incrementando así su contenido al pasar el tiempo como se puede ver a nivel general de los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años (carbono en la biomasa aérea total) ilustrado en la Figura 7 y observando que el almacenamiento de carbono se incrementa conforme el sistema avance en edad, teniendo mayor almacenamiento de carbono en el SAF de 10 años (104.03 t C/ha), siguiéndole el SAF con cacao de 8 años (69.76 t C/ha) y finalmente el SAF de 6 años (68.40 t C/ha), concordando con los trabajos realizados por BRINGAS (2010) y HERRERA (2010) quienes evaluaron en SAF con cacao más árboles de laurel de 9, 10 y 11 años y en SAF con cacao con árboles de bolaina de 3, 4 y 5 años respectivamente.



**Figura 6.** Carbono de la biomasa de los diferentes componentes de los sistemas agroforestales de 6,8 y 10 años de edad

De este modo se establece un crecimiento ascendente en función al tiempo de desarrollo, crecimiento del cultivo y diferentes sistemas como en el presente trabajo. Por otro lado, el carbono almacenado para estos sistemas se comparan y resultan ser consecutivos a las edades evaluadas por los mencionados autores. Asimismo, VIENA (2010) realizó evaluaciones en sistemas agroforestales con cacao de 5 años encontrando 125.74 t C/ha para dicho sistema la cual sería menor al sistema de 6 años encontrado en el presente trabajo lo cual demostraría incrementarse ya que para el presente trabajo el sistema de 6 años presenta un almacenamiento de 130.86 t C/ha.

#### **4.3.2. Carbono almacenado en el suelo de los sistemas agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años de edad**

El carbono secuestrado por el suelo en los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años de edad se estimó a partir de la densidad del suelo y el porcentaje de carbono del suelo, los mismos que son proporcionales.

El Cuadro 8, muestra la densidad aparente, el porcentaje y la cantidad de carbono orgánico hasta 30 cm de profundidad del suelo y la cantidad total de carbono orgánico existente en el mismo en los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años de edad evaluados en el presente trabajo. Los resultados muestran que no existen evidencias para aceptar que existen diferencias estadísticas ( $p$ -valor= 0.2708) entre los tres sistemas en cuanto a la reserva total de carbono orgánico del suelo, pero se puede apreciar ligeras diferencias entre los sistemas teniendo una mayor reserva en el sistema de 8 años 73.73 t

C/ha, siguiéndole el sistema de 10 años 62.95 t C/ha y finalmente el sistema de 6 años 62.46 t C/ha con menor reserva de carbono.

**Cuadro 8.** Carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades de los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años

Sistemas (edad)	Profundidad (m)	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	CO (%)	COS (t/ha)	Carbono total del suelo (t/ha)	
	0.1	1.12	2.54	28.54		
SAF-10 AÑOS	0.2	1.21	1.48	17.78	62.95	a
	0.3	1.26	1.32	16.63		
	0.1	1.14	2.69	30.27		
SAF-8 AÑOS	0.2	1.31	1.72	22.75	73.73	a
	0.3	1.30	1.58	20.71		
	0.1	0.99	2.46	23.65		
SAF-6 AÑOS	0.2	1.14	1.66	18.93	62.46	a
	0.3	1.21	1.65	19.87		
%CV					22.00%	
P-Valor					0.2708	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Duncan; CO: Carbono orgánico; COS: Carbono orgánico del suelo

Según Jackson (1964) citado por MARTÍNEZ *et al.* (2008), el Carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental. Los sistemas

agroforestales de 6 y 8 años se encuentran en terrenos no inundables teniendo condiciones más estables pues no sufren inundaciones, mientras que el sistema de 10 años se encuentra en terrenos inundables en épocas de crecientes del río Huallaga, encontrándose expuesto al lavado y erosión de la capa arable del suelo así mismo se puede observar en algunos sectores, deposiciones producto de las crecientes del río, en el Cuadro 8 se observa mayor reserva de carbono en el sistema de 8 años pero este es un sistema en donde la densidad de las especies forestales es alta (6m x 6m) y la combinación de las especies no es muy diversificada razón por la cual no tiene grandes diferencias entre el sistema de 6 y 10 años siendo estadísticamente iguales, existiendo en el sistema de 8 años 73.73 t C/ha mayor reserva de carbono asimismo teniendo ligeras diferencias con el sistema de 6 años (62.46 t C/ha) la cual indica que estos sistemas incrementan la cantidad de carbono conforme avanza la edad, mientras que el sistema de 10 años tiene 62.95 t C/ha, menor reserva que el sistema de 8 años esto debido a que sistema agroforestal de 10 años es constantemente inundado por el río Huallaga, siendo suelos inundables la cual provoca el lavado y transporte de hojarasca la cual también hace que la cobertura disminuya y desproteja al suelo por la cual JANDI (2001) afirma que en los suelos sin cobertura disminuye el contenido de carbono, producto de bajos aportes de materia orgánica ante ausencia de hojarasca y altas temperaturas de la superficie del suelo.

En condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por erosión y lixiviación.

Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo (55 t C/año a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (0,4 t C/año) (FAO, 2001). Asimismo, MARTÍNEZ *et al.* (2008) manifiestan que el aire del suelo tiene una mayor concentración de CO<sub>2</sub> respecto al aire atmosférico. Los gases entran o salen del suelo por flujo de masa y por difusión. El flujo de masa se produce debido a variaciones de temperatura y de presión entre las distintas capas del suelo; asimismo, Regos (1989) citado por BARBARÁN (1998) reporta que del 40 al 50% del C se incorpora al suelo proveniente de hojas, ramas y raíces, pero la hojarasca, ramas y restos de podas juegan un papel preponderante, puesto que, se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono (IPCC, 2004).

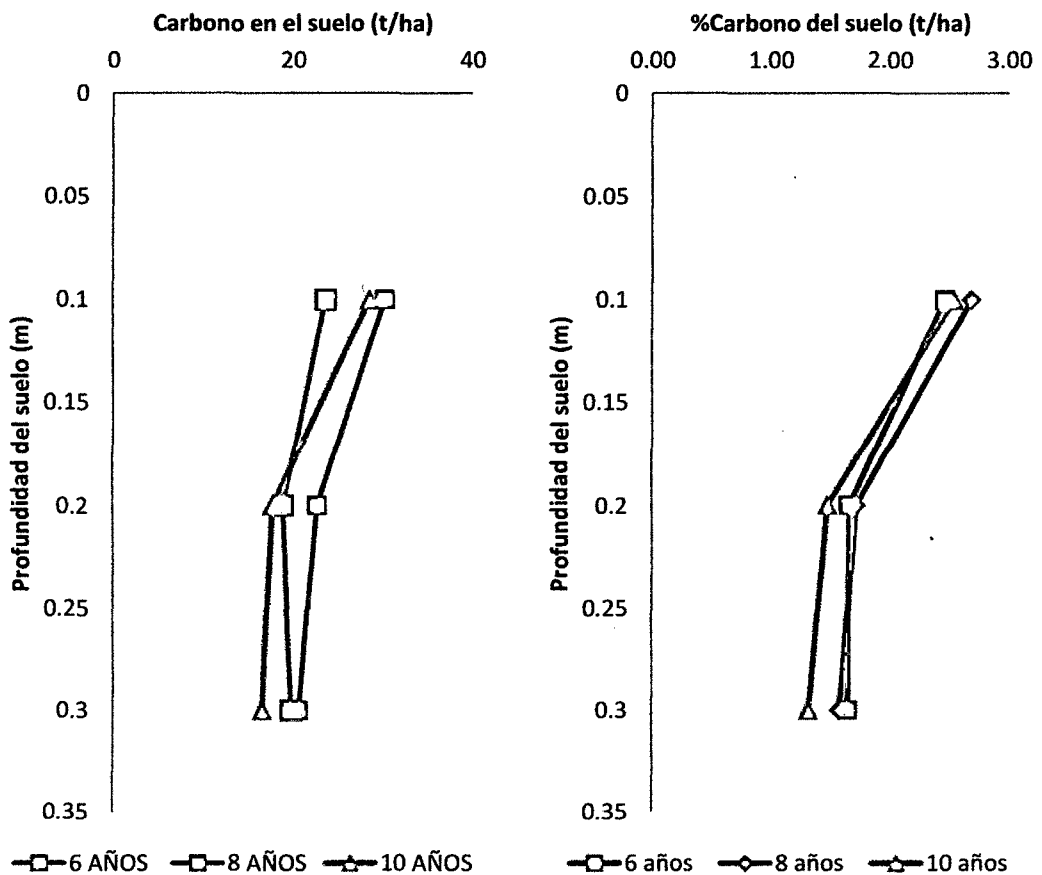
Asimismo, en el Cuadro 8 se puede observar que el sistema de 10 años presenta mayor cantidad de C en el estrato superficial de 10 cm con 28.54 t C/ha frente a los estratos de 20 cm con 17.78 t C/ha y 30 cm con 16.63 t C/ha. Asimismo el sistema de 8 años presenta mayor reserva en la capa superficial de 10 cm con 30.27 t C/ha frente a los estratos de 20 cm con 22.75 t C/ha y 30 cm con 20.71 t C/ha, sucediendo lo mismo con el sistema de 6 años que presenta mayor reserva de carbono en el estrato superficial con 23.65 t C/ha frente al estrato de 20 cm con 18.93 t C/ha y el estrato de 30 cm. Estos resultados concuerdan con Fassbender (1993) citado por ZULUAGA (2004) quien manifiesta que en el suelo el horizonte B, salvo excepciones como en los



suelos derivados de cenizas volcánicas, la disminución de la materia orgánica es notoria y se debe a que la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos se da en los primeros decímetros del suelo quedando cantidades menores en el horizonte B; por lo tanto, la cantidad de C orgánico disminuye a mayor profundidad manteniéndose también en sistemas agroforestales con cacao FAO (2002); asimismo, la variación de la cantidad de C a diferentes profundidades es explicada por MARTÍNEZ *et al.* (2008), quienes manifiestan que el intercambio de gases con la atmósfera origina una variación en el contenido de materia orgánica en el suelo, por lo que ésta sujeta a diversos factores como el clima (temperatura y precipitación en especial), acidez del suelo (pH), tipos de vegetación que cubren el suelo y su permanencia en el tiempo, población de macro y microorganismos, régimen de humedad del suelo, drenaje, micro relieve y el tipo de uso que se dé al suelo Fassbender (1993) citado por ZULUAGA (2004). Asimismo, Robert (2002) citado por ZULUAGA (2004) manifiestan que el C orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la deposición de material vegetal muerto y la pérdida por mineralización. En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sólo una pequeña fracción (1%) del que ingresa se acumula en la fracción húmica estable.

La Figura 7 ilustra la distribución del porcentaje de C y la cantidad de C almacenado por el suelo, por cada profundidad, detalladas en el Cuadro 8. Se presume que la distribución del C del suelo ha sido influenciada por la deposición, lixiviación, descomposición y reincorporación de biomasa

disminuyendo su concentración a mayor profundidad (FAO, 2002). Dicho comportamiento se mantiene en los tres SAF con cacao evaluados en este trabajo; así, el porcentaje de materia orgánica en la primera capa del suelo es alta con respecto a las capas inferiores, lo que indica una disminución regular del contenido de carbono orgánico a mayor profundidad (ZULUAGA, 2004).



**Figura 7.** Porcentaje de Carbono (izquierda) y cantidad de carbono orgánico del suelo (derecha) a diferentes profundidades de los SAF con cacao de 10, 8 y 6 años.

#### 4.3.3. Carbono total almacenado (biomasa vegetal + suelo) en los Sistemas Agroforestales con cacao de 6, 8 y 10 años

Los componentes de los tres SAF fueron estudiados parcialmente en los cuadros anteriores; en el Cuadro 9 se muestra así la suma de estos.

**Cuadro 9.** Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años de edad.

Sistema	Carbono en la biomasa vegetal (t/ha)	Carbono del suelo (t/ha)	Carbono total en sistema (t/ha)	Sign.
10 AÑOS	104.03	62.83	166.85	a
8 AÑOS	69.76	73.73	143.49	a b
6 AÑOS	68.40	62.46	130.86	b
CV (%)			17.21	
P-Valor			0.0618	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Duncan

El Cuadro 9 muestra el carbono total almacenado en la biomasa vegetal total observándose diferencias estadísticas entre los sistemas de 10 y 8 años y 10 y 6 años mientras que no existe diferencias estadísticas entre los sistemas de 8 y 6 años, sin embargo se observa ligeras diferencias que se incrementan conforme incrementa la edad del sistema, concordando ALEGRE *et al.* (2002), LAPEYRE *et al.* (2004), NORBERTO (2006), HERRERA (2010) y BRINGAS (2010), quienes mencionan que conforme van incrementando su edad a través del tiempo, las plantas son más vigorosas y por lo tanto se produce mayor

acumulación de biomasa; es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono; para ello, la producción de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono por la plantas deben ser influenciadas por factores como zonas de vida, los sitios, las especies, densidad de siembra y la etapa de desarrollo en que se encuentre la planta (SMITH *et al.* 1997), concordando con Alpizar (1988) citado por ZULUAGA (2004) quien indica que la productividad y la biomasa en pie de los sistemas agroforestales varía mucho de una región a otra, lo que depende en buena parte de las condiciones climáticas y edáficas del sitio, así como del manejo que se haga del sistema; en cuanto al carbono almacenado por el suelo se observa que no existen diferencias estadísticas entre los tres sistemas agroforestales pues la acumulación de materia orgánica depende mucho de la abundancia y la descomposición de la hojarasca (MORAES, 2001), coincidiendo con Fassbender (1993), y Cole y Rapp (1981) citados por ZULUAGA (2004) quienes mencionan que el patrón mensual de aporte de residuos al suelo en sistemas agroforestales, depende de las características fisiológicas de las especies involucradas en el sistema y las condiciones climáticas reinantes pero puede ser modificada por el manejo de podas, pues la acumulación de materia orgánica a través del proceso de fotosíntesis y de la absorción de elementos nutritivos se refleja en la biomasa de los sistemas de producción agroforestal (Fassbender ,1993 citado por ZULUAGA 2004). Estos componentes (aéreo + suelo) se suman para obtener el carbono total almacenado en los SAF de 10, 8 y 6 años teniendo 166.85, 143.49 y 130.86 t C/ha respectivamente. Como puede verse existe suficiente

evidencia para aceptar que existe diferencias estadísticas (P-Valor= 0.0618) en cuanto al carbono total almacenado. observándose que entre el sistema de 10 años y 8 años existe diferencias estadísticas mostrándose superior al sistema de 10 años pero también se puede decir que estos datos son similares estadísticamente, mientras que los sistemas de 10 años y 6 años se muestran totalmente diferentes estadísticamente, mostrándose superior el sistema de 10 años. Por otro lado al comparar los sistemas de 8 años y 6 años resultan ser similares estadísticamente, mostrándose numéricamente superior el sistema de 8 años.

El carbono almacenado por los sistemas se ven influenciados por las características que presentan cada sistema dentro del mismo (densidad de siembra del cultivo y sombra, especies asociadas, etc.) observándose que las diferencias entre los sistemas de 10 años y el sistema de 8 años son de 23.36 t C/ha y el sistema de 8 años difiere de 12.63 t C/ha con el sistema de 6 años, la cual muestran que a mayor edad, en el sistema se forman árboles más vigorosos, por otro lado se puede apreciar que el sistema de 10 años tiene un distanciamiento de 10m x 12m, el Sistema de 8 años es muy denso ya que tiene un distanciamiento de 6m x 6m y el sistema de 6 años tiene un distanciamiento de 12m x 12m con las especies forestales a las que están asociados, por los mismos que fueron influenciados para obtener la cantidad de carbono almacenado en cada sistema, recalando que a mayor edad mayor es el almacenamiento de carbono, tal como se demuestra en el presente trabajo.

En los sistemas agroforestales se busca mantener en equilibrio dicho sistema para que las condiciones de humedad, temperatura, viento sean mejores pues se crean microclimas adecuadas para el cultivo en consecuencia haya mayor aporte de materia orgánica que mejora las propiedades del suelo y de este absorben nutrientes los cultivos además de ello, estos sistemas brindan servicios ambientales de secuestro de carbono que para los agricultores podría ser un ingreso económico adicional si se lograra vender los certificados de reducción de emisiones de efecto invernadero; SÁNCHEZ *et al.* (1999) y LAPEYRE *et al.* (2004) resaltan la importancia del establecimiento de estos sistemas para la recuperación del potencial de captura de carbono en áreas anteriormente perturbadas, por lo tanto los sistemas agroforestales, ofrecen muchas ventajas, especialmente para los pequeños agricultores FAO (2002). Puesto que representan una alternativa sostenible a la deforestación y a la agricultura de roza, tumba y quema SÁNCHEZ *et al.* (1999) y SCHROEDER (1994). Por otro lado los resultados del presente trabajo son de gran importancia pues reafirma el potencial que tienen los sistemas agroforestales con cacao, para almacenar carbono, tanto en la biomasa aérea como en el suelo y servir como mecanismos para mitigar el calentamiento global.

Al comparar el carbono almacenado en la biomasa vegetal en sistemas agroforestales con cacao de 10, 8 y 6 años, se encontraron datos superiores a los encontrados en otro estudio realizado por BRINGAS (2010) quien reporta 46.98, 62.59 y 79.98 t C/ha, en sistemas agroforestales de 9, 10 y 11 años respectivamente; sin embargo coinciden en el incremento de carbono con la sucesión de las edades. Lo mismo sucede con el trabajo de CONCHAI,

ALEGRE y POCOMUCHA (2007) quienes encontraron en cuanto al almacenamiento de carbono en cada sistema agroforestal evaluado, una variación desde 26.2 t C/ha para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C/ha del sistema agroforestal de 12 años en plantaciones menos densas, con protocolos de muestreo para especies forestales en Juanjui siendo estos inferiores a los reportados por el presente trabajo y por los reportados por BRINGAS (2010) en cuanto al carbono en la biomasa vegetal. Por otro lado, en otro trabajo realizado en Talamanca se encontró entre 42 y 61 t C/ha en cacaotales arbolados en loma y valle (Segura, 2005 citado por ORTIZ y RIASCOS, 2006) siendo datos superiores a los encontrados en la biomasa vegetal del presente trabajo, indudablemente se puede observar el incremento de la cantidad de carbono en la biomasa mas no podrían ser igual ya que estos fueron determinados en diferentes situaciones. Por otro lado se encontró 62.46, 73.73, 62.86 t/ha de carbono en el suelo de los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años respectivamente, los cuales resultan ser semejantes a los reportados por BRINGAS (2010) en su trabajo realizado en sistemas agroforestales con cacao de 9, 10 y 11 años teniendo 64.17, 67.96 y 68.95 t/ha respectivamente, mostrando ligeras diferencias, a pesar de ser de diferentes edades los sistemas agroforestales y de tener diferentes componentes en los ecosistemas. Sin embargo no coincidimos con HERRERA (2010) quien encontró que el carbono del suelo establece un crecimiento ascendente en función al tiempo de desarrollo, crecimiento del cultivo y diferentes sistemas, lo cual no sucede con el presente trabajo ya que estos fueron determinados en diferentes sistemas y con diferentes factores que intervienen en la permanencia y acumulación del

carbono en el suelo, en otro trabajo el carbono del suelo resulta inferior a los trabajos ya mencionados y al presente trabajo siendo este de 19.95 en sistemas agroforestales con cacao de 5 años comparado con el SAF- 6 años (62.46 t C/ha) evaluado en el presente trabajo.

En cuanto al carbono total almacenado, se tiene datos superiores a los reportados por ALBRECHT y KANDJI (2003) quienes reportan un almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica entre 39 y 102 t C/ha, mientras que BRINGAS (2010) muestra datos que se incrementan con la edad, coincidiendo con en el presente trabajo, en sistemas agroforestales de 9, 10 y 11 años teniendo 114.51, 137.42, 152.34 t C/ha respectivamente y los reportados en el presente trabajo son de 136.86, 143.49, 166.85 t C/ha en las edades de 6, 8 y 10 años respectivamente, asimismo, HERRERA (2010) evaluó dos sistemas agroforestales cacao + guaba y cacao + bolaina en las edades de 2, 3 y 4 años; ambos trabajos indican las diferencias existentes de carbono almacenado entre los tres rangos de edad del cultivo de cacao bajo los dos sistemas agroforestales tanto a nivel aéreo y suelo; estableciéndose un crecimiento ascendente en función al tiempo de desarrollo, crecimiento del cultivo y diferentes sistemas, coincidiendo con el presente trabajo que conforme avanza la edad del sistema el almacenamiento de carbono total, tiende a incrementarse. Por otro lado, el carbono acumulado en estos sistemas es similar a aquellos encontrados en bosques secundarios, en este contexto son una opción para almacenar carbono. Los sistemas de producción agropecuaria que trasladen CO<sub>2</sub> de la atmósfera a un ciclo biológico y lo

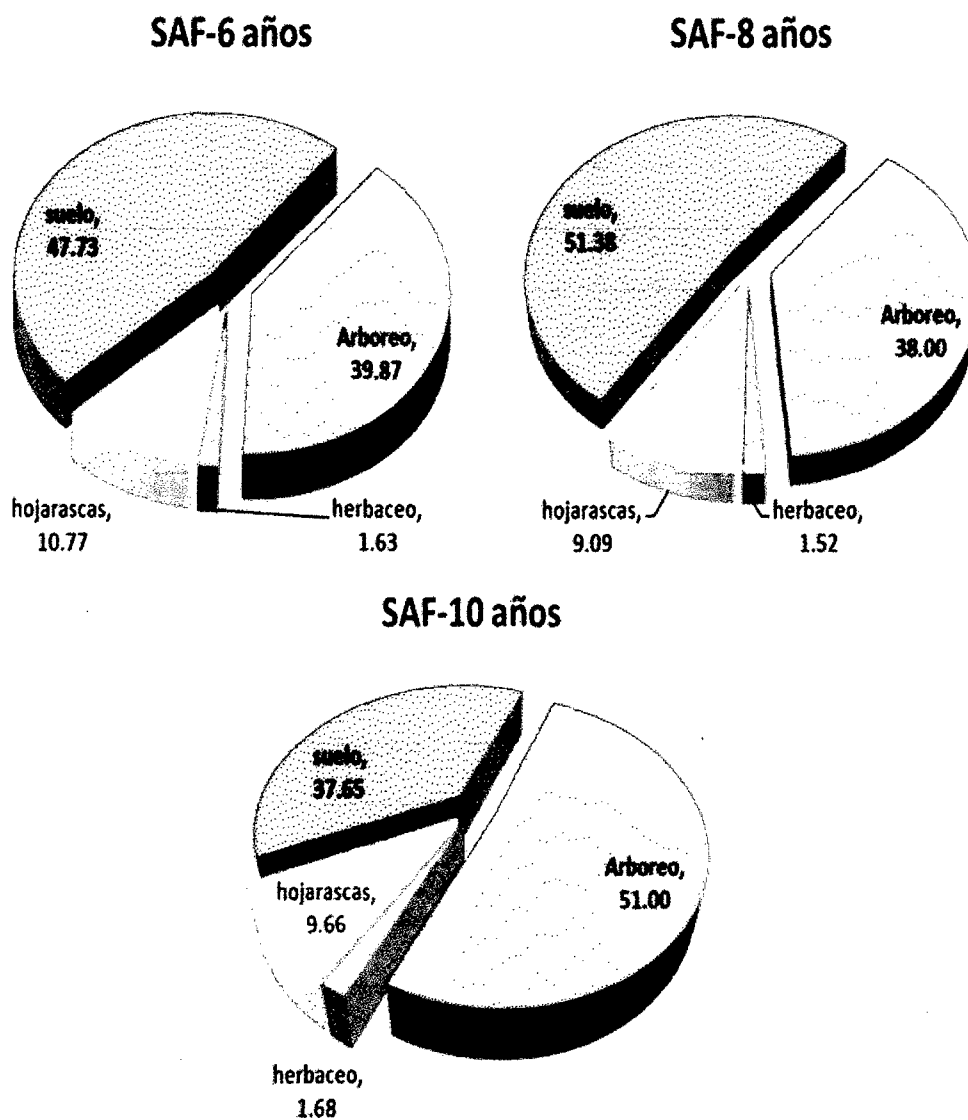


retengan por más tiempo dentro del agroecosistema serán más convenientes MONTENEGRO y ABARCA (1999) citado por CALERO (2008). El carbono se almacena en la biomasa viviente (arriba y bajo del suelo), materia orgánica muerta (desechos y madera muerta) y en la materia orgánica del suelo IPCC (2004).

Por otro lado, la producción agrícola generada por el cultivo de cacao, componente del sistema agroforestal, representa una actividad productiva ya que contribuye a la economía del agricultor, las que le ayudan a tener mejor calidad de vida, a ello es corroborado por LÓPEZ *et al.* (2002), quienes manifiestan que es necesario enriquecer las parcelas con árboles maderables valiosos, para aumentar la captura de carbono y generar ingresos complementarios por la venta de este servicio ambiental a la sociedad; si se crearan las condiciones y certificados de reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

La distribución porcentual, que representa el contenido de carbono en los sistemas agroforestales con cacao de 10, 8 y 6 años, se ilustra debidamente en la Figura 8, observándose que en los sistemas de 6 y 8 años el suelo es quien aporta mayor cantidad de carbono, siendo el 47.73% y 51.38% respectivamente, mientras que para el sistema de 10 años representa el carbono en la biomasa arbórea la mayor proporción siendo este el 51% y el suelo aporta un 37.65% menor que los porcentajes aportados en los sistemas de 6 y 8 años. En cuanto a las hojarascas en los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años representan porcentajes menores al suelo y arriba del suelo (aéreo)

representado un 9.66%, 9.09% y 10.77% respectivamente, siendo la parte arbustiva herbácea quien aporta la menor cantidad de carbono a los ecosistemas con 1.68%, 1.52% y 1.63% respectivamente.



**Figura 8.** Distribución porcentual del almacenamiento de carbono en los diferentes componentes de los sistemas agroforestales de 6, 8 y 10 años.

DUPOUEY *et al.* (1999) indican que los restos vegetales superficiales representan el 6 % siendo diferente y superior en el presente trabajo porque está representado con datos mayores al 6%. Por otro lado se concuerda con Swift (2001) citado por MARTÍNEZ *et al.* (2008) quienes manifiestan que los suelos contienen más carbono que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera y es así como se encontró en los sistemas de 6 y 8 años, mientras que con el sistema de 10 años se contradice ya que en este representa un 37.65% menor a los otros componentes a esto se le atribuye las condiciones de sitio del establecimiento del sistema, mencionados en la descripción de los sistemas agroforestales.

## V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, es posible llegar a las siguientes conclusiones:

1. El mayor almacenamiento de carbono total se obtuvo en el sistema agroforestal de 10 años con 166.85 t C/ha, seguido por el sistema agroforestal de 8 años con 143.49 t C/ha y el sistema agroforestal de 6 años fue el que acumuló la menor cantidad de carbono total con 130.86 t C/ha.

2. El valor económico según el VAN, TIR y la relación B/C fue mayor para el sistema agroforestal de 10 años con S/.2627.66, 23.85%, 1.40 seguido por el sistema agroforestal de 6 años con S/.1331.38, 21.64%, 1.21 y finalmente el sistema agroforestal de 8 años con S/.1273.90, 19.55, 1.18 respectivamente.

3. El mayor almacenamiento de carbono en la biomasa aérea se obtuvo en el sistemas agroforestal de 10 años con 104.03 t C/ha, seguido por el sistema agroforestal de 8 años con 69.76 t C/ha y el menor almacenamiento de carbono en la biomasa aérea lo presento el sistema agroforestal de 6 años con 68.40 t C/ha.

4. El sistema agroforestal con cacao de 8 años presentó la mayor reserva de carbono en el suelo con 73.73 t C/ha, seguido por el sistema agroforestal de 10 años con 62.95 t C/ha mientras que el sistema agroforestal de 6 años presenta la menor reserva con 62.46 t C/ha.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar trabajos para información cuantificada de sistemas agroforestales que tienen el potencial de fijar y almacenar carbono
2. Realizar estudios con metodologías estandarizadas para cada especie y comparar resultados con la metodología empleada en el presente trabajo.
3. Realizar instalaciones de sistemas agroforestales con cacao y especies forestales, debido a la fijación y almacenamiento de carbono, con la finalidad de mitigar la contaminación ambiental, la conservación del recurso suelo y reducir las emisiones de gas del efecto invernadero.
4. Realizar trabajos para determinar la valoración económica con respecto al valor por la fijación y almacenamiento de carbono como propuestas para los agricultores que siembran el cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales como incentivo para la siembra y conservación de estos sistemas agroforestales que generan mejores ingresos

## VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó de abril a diciembre del 2012 en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco-Perú, con los objetivos de cuantificar el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción de 6, 8 y 10 años de edad y determinar la rentabilidad económica del SAF. La metodología utilizada para evaluar el carbono almacenado fue la del ICRAF (ARÉVALO *et al.* 2002), para el caso de carbono almacenado en el suelo se determinó por el método de Walkley Black. La rentabilidad de los sistemas según el VAN, TIR y B/C con 14% de costo de oportunidad (SANTANA, 2005) fue viable siendo mayor para el sistema agroforestal de 10 años con S/.2627.66, 23.85%, 1.40 y menor para los sistemas agroforestales de 8 y 6 años con S/.1273.90, 19.55%, 1.18 y S/.1331.38, 21.64, 1.21 respectivamente. El carbono total almacenado fue mayor para el sistema agroforestal de 10 años con 166.85 t C/ha y menor para los sistemas agroforestales de 8 y 6 años con 143.49, 130.86 t C/ha respectivamente. El carbono en la biomasa aérea fue superior para el sistema agroforestal de 10 años con 104.03 t C/ha y menor para los sistemas agroforestales de 8 y 6 años con 69.76, 68.40 t C/ha respectivamente. Por otro lado el carbono del suelo de los sistemas agroforestales de 10, 8 y 6 años fue de, 62.95, 62.46 y 73.73 t C/ha, los que representaron un 37.65% 51.38% y 47.73%, respectivamente del carbono total almacenado.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, M., QUEDNOW, K., ETCHEVERS, J., MONREAL, C. 2001. Método Para la Medición del Carbono Almacenado en la Parte Aérea de Sistemas con Vegetación Natural e Inducida en Terrenos de Ladera en México. INFAP. Colegio de Postgraduados, México. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (18-20 de Octubre, 2001, Valdivia, Chile).
2. ALBRECHT, A. y KANDJI, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99 (1-3). Pp 15-27.
3. ALEGRE, J.; ARÉVALO, L. y RICSE, R. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. [En línea]: Virtual centre, (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>; 15 Nov. 2009).
4. AREVALO, L; ALEGRE, J; RICSE; CALLO-CONCHA, D; PALM, CH. 2002. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. IV Congreso Brasileño de Sistemas Agroflorestais. Brasil. Pp 1-8.
5. ÁVILA, G; JIMÉNEZ, F., BEER J; GÓMEZ, M; IBRAHIM, M. 2001. Almacenamiento, fijación de Carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales de Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas*. Pp 32-35.

6. BARBARÁN, G. 1998. Determinación de biomasa y carbono en los principales usos de la tierra en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. 54 p.
7. BRINGAS, P., 2010. Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un bosque secundario de tres edades. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María.
8. BROWN, S. y LUGO, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon Interciencia 17. FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 05/05/ 2009).
9. CALERO, B. 2008. Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata* L.) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica; Tesis Msc. Turrialba, CR, CATIE.
10. CALLO, D. 2000. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. Tesis Msc. Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
11. CAMBARDELLA, C. 1998. Experimental verification of simulated soil organic matter pools. In LAL L; KIMBLE J.M; FOLLETT R.A. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton. Pp 519-526.



12. CERRI, C., FELLER, C., BALESSENT, J., VICTORIA, R., PLENECASSAGNE, A. 1985. Application du traçage isotopique naturel  $^{13}\text{C}$  à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. C.R. Aca. Sc. Paris, Ser 2, 300. Pp 423-428.
13. CONCHAI, Y., ALEGRE, C., 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. Ecología aplicada, departamento académico de biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. 1:1-8 Disponible [En línea] (<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v6n1-2/a09v6n1-2.pdf>) 16 mayo. 2009.
14. CÓRDOBA S., HERNÁNDEZ, L. 2009. Efecto de la sombra sobre el crecimiento herbáceo. México. 28 p.
15. CORRAL R., DUICELA L. MASA H. 2006 Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano [En línea] (<http://www.cofenac.org/documentos/Resumenes-Carbono-enSAF.pdf>) 23 Mayo 2009.
16. DUPOUEY, J., SIGUAND, G., BATEAU, V., THIMONIER, A., DROLE, J.F., NEPVEU, G. 1999. Stocks et Flux de Carbone Dans les Forêts Françaises. C.R. Acad. Agric. Francia. 310p.
17. DZIB, C. 2003, Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, CR, CATIE. 32p.

18. FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome. 58 p.
19. FAO. 1998. Agroforestería para la producción animal en América Latina. [En línea] [www.fao.org/documentos](http://www.fao.org/documentos). 22 de Abril del 2009.
20. FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michael Robert. Institut national de recherche agronomique. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Paris, Francia. 62 p.
21. FASSBENDER, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2ª. Ed. INFORAT, Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza, proyecto agroforestal CATIE/GTZ, Serie de materiales de enseñanza N° 29. 491 p.
22. FONAM. 2004. Secuestro de carbono. Fondo Nacional del Ambiente – Perú. [En línea] (<http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro>). 16 Marzo del 2008
23. GONZÁLES H. 2007. Ecofisiología del cultivo de cacao. Diplomado en cultivos tropicales. Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María. 162 p.
24. HERRERA, A. 2010. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 95 p.

25. HOLDRIDGE L.1982. Ecología: Basado en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 216p.
26. IPARRAGUIRE, L. 2000. Ecología Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima. Perú. Pp 39 – 42.
27. IPCC 1995. Segunda evaluación. Cambio climático 1995. Informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Organización Mundial de Meteorología. 71 p.
28. IPCC. 2004. Climate change. spatial report on emissions scenarios. intergovernmental panel on climate change (IPCC). Disponible en [En línea] (<http://grida.no/climate/ipcc>. encontrado el: 22/04/2009).
29. JACKSON, M. 1964. Análisis Químico de Suelos. Editorial OMEGA S.A. Barcelona.125 p.
30. JANDI, R. 2001. Medición de tenencias en el Tiempo del Almacenamiento de Carbono del Suelo. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria. 48p.
31. LAPEYRE, T. ALEGRE, J. y AREVALO, L. 2004. Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. Ecología Aplicada. Volumen 3. Número 1 - 2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú. 44p.
32. LOPÉZ, A. 1998. Aporte de los sistemas Silvopastoriles al secuestro del carbono en el suelo. Tesis M. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 50p.

33. LOPEZ, A.; SCHLONVOIGT, A.; IBRAHIM, M.; KLEINN, C. y KANNINEN, M. 2002. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Revista Agroforestería en las Américas. Costa Rica. 85p.
34. MARTÍNEZ, H.; FUENTES, E.; ACEVEDO H. 2008 Carbono Orgánico y Propiedades Del Suelo, Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile. Pp 69-76.
35. MINAG. 2004. Cultivo tecnológico del cacao. Ministerio de Agricultura. Programa para el desarrollo de la amazonia. Proamazonia. Perú. 83 p.
36. MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. Edición. Organización para Estudios Tropicales. Costa Rica. Pp 622.
37. MORAES, F. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el Municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR, CATIE. Pp 71-76.
38. NORBERTO, C. 2006. Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usos del Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestales para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Proyecto Forestal de Desarrollo (SAGP y A/BIRF). B. Aires, Argentina. 20p.
39. ORTIZ, G. y RIASCOS, C. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.) y laurel (*Cordia alliodora*) (Ruíz & pavón) en la reserva indígena de talamanca, costa rica. Universidad de Nariño facultad de ciencias agrícolas San Juan

- de pasto. 111 paginas disponibles [En línea].  
(<http://www.worldcocoafoundation.org/info-center/document-research-center/documents/ortizguerrero2006.pdf>). 10 may. 2009.
40. RAMÍREZ, O.; FINEGAN, B.; RODRIGUEZ, L.; y ORTIZ, R. 1994. Análisis económico de impactos ambientales In: Estudios de caso: Evaluación económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono: El caso de un bosque húmedo tropical bajo diferentes estrategias de mercado sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pp. 212-224.
41. SALISBURY, B. 1999. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamérica. México. 759p.
42. SANCHEZ, P., BURESH, R., LEAKEY, B. 1999. Trees, soils and food Security. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. [En línea], (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>); 29 feb 2009
43. SANTANA, A. C. 2005. Elementos de Economía, Agronegocios y desenvolvimiento local. Serie Académica 01. GTZ, TUD, UFRA, Belém. Brasil. Pp 63-67.
44. SCHROEDER, P. 1994. Carbon Storage Benefits of Agroforestry Systems. [En línea] (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>) 25 mar 2009.
45. SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de la Salamanca, Costa Rica. Teis Llc. Cs. For herdia, Costa Rica. UNA. 127 p.

46. SEGURA, M. 2005. Proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica. Pp. 120-128.
47. SMITH, J.; SABOGAL, C.; JONG, W.; KAIRMOWITZ, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. (CIFOR). Center For International Forestry Research. Indonesia. Pp.13-36.
48. TAIZ, L. y ZEIGER, E. 1998. Plant physiology Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers. Brasil. 32 p.
49. UNEP, GENS. 1992. Los gases que producen el efecto Invernadero. Sánchez Vélez y Gerón de. traductores. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 41p.
50. VIENA, V. 2010. Estimación y valoración de las reservas de carbono del cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres sistemas de uso de la tierra. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 56p.
51. ZULUAGA, P. 2004. Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales de café con *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F.Cook en Costa Rica. Tesis Msc. Turrialba, CR, CATIE. 32p.

## **IX. ANEXO**

**Cuadro 10.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 6 años (transectos A, B, C y D)

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C			TRANSECTO D		
N. COMÚN	Diam (cm).	BA (kg/árbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	Nombre Común	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)
Cacao	10.35	43.71	Cacao	11.90	62.36	Cacao	12.10	64.93	Cacao	5.12	7.39
Cacao	12.41	69.34	Cacao	6.75	14.83	Cacao	11.46	56.62	Cacao	6.97	16.10
Cacao	10.12	41.37	Cacao	10.25	42.70	Cacao	9.64	36.61	Cacao	4.36	4.91
Cacao	7.96	22.51	Cacao	6.78	15.01	Cacao	10.82	49.00	Cacao	10.82	49.00
Cacao	8.82	29.18	Cacao	8.63	27.60	Cacao	10.35	43.71	Cacao	4.77	6.18
Cacao	7.73	20.95	Cacao	3.65	3.13	Cacao	9.49	35.10	Cacao	8.12	23.67
Cacao	10.82	49.00	Cacao	7.77	21.17	Cacao	3.25	2.34	Cacao	5.60	9.26
Cacao	6.94	15.92	Cacao	8.82	29.18	Cacao	5.44	8.61	Cacao	10.89	49.73
Cacao	3.73	3.32	Cacao	9.01	30.80	Cacao	6.75	14.83	Cacao	7.29	18.03
Cacao	7.80	21.39	Cacao	8.40	25.84	Cacao	5.51	8.87	Cacao	7.93	22.28
Cacao	5.98	10.94	Cacao	7.00	16.29	Cacao	7.96	22.51	Cacao	6.37	12.80
Cacao	6.91	15.73	Cacao	5.73	9.80	Cacao	5.98	10.94	Capirona	21.01	262.43
Cacao	7.83	21.61	Cacao	6.59	13.96	Cacao	7.00	16.29	Bolaina	20.05	233.29
Cacao	7.54	19.66	Cacao	7.77	21.17	Cacao	5.92	10.65	Guaba	20.66	251.50
Cedro	18.46	189.25	Cacao	7.48	19.25	Cacao	10.82	49.00			
Cedro	21.33	272.60	Cacao	6.88	15.55	Guaba	20.05	233.29			
			Cacao	11.43	56.23	Bolaina	23.36	343.38			
			Cedro	17.00	153.55	Guaba	24.51	387.60			
			Cedro	12.19	66.23						
Total	846.48			368.64			663.31			966.57	
BA (t/ha)	84.65			36.86			66.331			96.657	

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.



**Cuadro 11.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 6 años. (transectos E, F, G y H)

TRANSECTO E			TRANSECTO F			TRANSECTO G			TRANSECTO H		
N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N.COMÚN	Diam.(cm)	BA(kg/árbol)	N.COMÚN	Diam.(cm)	BA(kg/árbol)	N.COMÚN	Diam.(cm)	BA(kg/árbol)
Cacao	7.00	16.29	Cacao	5.54	9.00	Cacao	7.67	20.51	Cacao	10.12	41.37
Cacao	7.16	17.24	Cacao	3.74	3.34	Cacao	7.86	21.83	Cacao	6.08	11.39
Cacao	7.35	18.43	Cacao	12.45	69.79	Cacao	7.89	22.06	Cacao	2.23	0.90
Cacao	7.38	18.63	Cacao	10.22	42.37	Cacao	9.26	33.05	Cacao	7.93	22.28
Cacao	6.91	15.73	Cacao	3.92	3.76	Cacao	11.46	56.62	Cacao	6.91	15.73
Cacao	7.70	20.73	Cacao	7.64	20.30	Cacao	9.07	31.36	Cacao	3.48	2.78
Cacao	9.64	36.61	Cacao	9.20	32.48	Cacao	9.04	31.08	Cacao	9.26	33.05
Cacao	9.10	31.63	Cacao	12.61	72.07	Cacao	7.80	21.39	Cacao	7.45	19.04
Cacao	10.15	41.70	Cacao	8.24	24.62	Cacao	9.29	33.34	Cacao	8.98	30.53
Cacao	8.44	26.08	Cacao	3.92	3.76	Cacao	9.42	34.51	Cacao	4.39	5.01
Cacao	7.23	17.63	Cacao	5.54	9.00	Cacao	7.07	16.67	Guaba	22.28	304.55
Cacao	11.33	55.05	Cacao	7.86	21.83	Cacao	11.71	59.86	Bolaina	8.47	26.33
Bolaina	17.19	157.95	Cacao	7.32	18.23	Cacao	11.90	62.36	Cedro	19.35	213.22
Cedro	21.23	269.52	Cacao	10.98	50.84	Cacao	8.94	30.25			
Capirona	4.24	4.59	Cacao	10.82	49.00	Cacao	7.48	19.25			
			Cacao	9.26	33.05	Cacao	9.26	33.05			
			Cacao	8.82	29.18	Cacao	4.03	4.01			
			Cacao	9.90	39.11	Cacao	9.49	35.10			
			Guaba	28.43	563.92	Bolaina	17.06	155.01			
			Guaba	28.65	575.17	Guaba	25.53	429.66			
						Cedro	21.96	293.66			
						Guaba	20.28	239.90			
						Guaba	29.00	593.12			
Total		747.83			463.42			527.20			726.19
BA (t/ha)		74.78			46.34			52.72			72.62

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo; BA= Biomasa aérea.

**Cuadro 12.** Biomasa arbustiva/herbácea del sistema agroforestal de 6 años.

Área de muestreo: 1m x 1m.

Transecto	Codigo	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa promedio
A	6A1-M	900	106	28	2.377	3.389
	6A2-M	950	95	44	4.400	
B	6B1-M	1150	111	76	7.874	6.797
	6B2-M	1150	189	94	5.720	
C	6C1-M	1325	122	76	8.254	7.201
	6C2-M	2550	112	27	6.147	
D	6D1-M	1800	106	12	2.038	2.602
	6D2-M	825	86	33	3.166	
E	6E1-M	1650	103	52	8.330	6.170
	6E2-M	1300	107	33	4.009	
F	6F1-M	550	98	24	1.347	4.316
	6F2-M	2400	112	34	7.286	
G	6G1-M	1000	131	40	3.053	2.417
	6G2-M	900	96	19	1.781	
H	6H1-M	1400	125	51	5.712	4.976
	6H2-M	1050	104	42	4.240	
PROMEDIO						4.730
CARBONO (t/ha)						2.130

PFT: Peso fresco total, PRM: peso fresco de la muestra; PSM: peso seco de la muestra.

**Cuadro 13.** Biomasa en la hojarasca del sistema agroforestal de 6 años. Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Trans	Codigo	PFM (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa promedio (t/ha)
A	6A1-H	1100	76	35	20.263	14.632
	6A2-H	750	90	27	9.000	
B	6B1-H	2300	105	42	36.800	27.903
	6B2-H	850	195	109	19.005	
C	6C1-H	2000	139	42	24.173	29.525
	6C2-H	1950	123	55	34.878	
D	6D1-H	1820	101	61	43.968	35.603
	6D2-H	1150	76	45	27.237	
E	6E1-H	2500	86	40	46.512	39.412
	6E2-H	1555	77	40	32.312	
F	6F1-H	2100	70	38	45.600	40.033
	6F2-H	1900	86	39	34.465	
G	6G1-H	800	79	35	14.177	14.617
	6G2-H	950	106	42	15.057	
H	6H1-H	1300	103	71	35.845	48.922
	6H2-H	2300	92	62	62.000	
PROMEDIO						31.330
C (t/ha)						14.100

PFT: Peso fresco total, PFM: peso fresco de la muestra; PSM: peso seco de la muestra.

**Cuadro 14.** Carbono almacenado en el suelo del sistema agroforestal de 6 años

TRANS	COD	PROF. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	CS/trans (t/ha)
A	6A-1	0-10cm	0.1	90.48	70.83	0.78	782.84	4.09	32.04	
	6A-2	10-20cm	0.1	90.48	99.34	1.10	1097.95	1.67	18.38	77.79
	6A-3	20-30cm	0.1	90.48	115.73	1.28	1279.09	2.14	27.36	
B	6B-1	0-10cm	0.1	95.43	94.34	0.99	988.62	2.42	23.91	
	6B-2	10-20cm	0.1	90.48	105.09	1.16	1161.50	0.93	10.80	63.25
	6B-3	20-30cm	0.1	93.63	119.67	1.28	1278.13	2.23	28.53	
C	6C-1	0-10cm	0.1	90.48	92.39	1.02	1021.13	2.60	26.59	
	6C-2	10-20cm	0.1	90.48	104.08	1.15	1150.33	2.05	23.54	71.96
	6C-3	20-30cm	0.1	90.48	101.10	1.12	1117.40	1.95	21.83	
D	6D-1	0-10cm	0.1	104.95	84.56	0.81	805.68	1.67	13.49	
	6D-2	10-20cm	0.1	90.48	110.23	1.22	1218.31	2.14	26.06	47.94
	6D-3	20-30cm	0.1	95.43	122.87	1.29	1287.59	0.65	8.38	
E	6E-1	0-10cm	0.1	90.48	81.37	0.90	899.33	3.53	31.79	
	6E-2	10-20cm	0.1	90.48	81.41	0.90	899.78	1.77	15.90	63.63
	6E-3	20-30cm	0.1	95.43	90.83	0.95	951.84	1.67	15.94	
F	6F-1	0-10cm	0.1	90.48	93.98	1.04	1038.70	1.95	20.29	
	6F-2	10-20cm	0.1	99.71	109.93	1.10	1102.45	1.67	18.46	56.87
	6F-3	20-30cm	0.1	99.71	114.31	1.15	1146.37	1.58	18.13	
G	6G-1	0-10cm	0.1	90.48	95.48	1.06	1055.28	1.49	15.71	
	6G-2	10-20cm	0.1	96.39	103.64	1.08	1075.21	1.30	14.00	50.18
	6G-3	20-30cm	0.1	90.48	117.17	1.30	1295.01	1.58	20.48	
H	6H-1	0-10cm	0.1	90.48	117.64	1.30	1300.20	1.95	25.40	
	6H-2	10-20cm	0.1	90.48	124.46	1.38	1375.58	1.77	24.31	68.05
	6H-3	20-30cm	0.1	90.48	118.94	1.31	1314.57	1.40	18.34	
Promedio										62.46

**Cuadro 15.** Carbono almacenado total en el Sistema de Unidad de Tierra (SUT) (Sistema agroforestal de 6 años)

TRANS.	BA	BA	BA	BVT	CBV	CS	C total en el SUT (t/ha)
	ARB.	ARB/HER.	HOJ.	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	
A	84.65	3.39	14.63	102.67	46.20	77.79	123.99
B	64.47	6.80	27.90	99.17	44.63	63.25	107.88
C	139.43	7.20	29.53	176.16	79.27	71.96	151.23
D	96.66	2.60	35.60	134.86	60.69	47.94	108.63
E	74.79	6.17	39.41	120.37	54.17	63.63	117.80
F	167.08	4.32	40.03	211.43	95.14	56.87	152.01
G	227.76	2.42	14.62	244.79	110.16	50.18	160.34
H	72.62	4.98	48.92	126.52	56.93	68.05	124.98
PROM.	115.93	4.73	31.33	152.00	547.19	499.67	1046.86
C (t/ha)	52.17	2.13	14.10	68.40	68.40	62.46	130.86

NOTA: BA= Biomasa aérea; BVT= Biomasa Vegetal Total; CBV= Carbono en la biomasa vegetal; CS= Carbono en el suelo; SUT= Sistema unidad de tierra.

**Cuadro 16.** Costos de producción para el Sistema agroforestal de 6 años, 1 hectárea a un distanciamiento de 3 x 3 m.

LABORES	PRECIO		AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5-6	
	Unid.	Unit.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.
<b>A. GASTOS DEL CULTIVO</b>				<b>1,260.00</b>		<b>660.00</b>		<b>1,120.00</b>		<b>1,200.00</b>		<b>1,200.00</b>
Preparación de terreno	Jor.	20.0	5.0	100.0								
Alineamiento y poceo de cacao	Jor.	20.0	10.0	200.0								
Alineamiento y poceo de madera	Jor.	20.0	2.0	40.0								
Alineamiento y poceo de plátano	Jor.	20.0	4.0	80.0								
Trasplante de cacao	Jor.	20.0	4.0	80.0								
Trasplante de madera	Jor.	20.0	2.0	40.0								
Trasplante de plátano	Jor.	20.0	3.0	60.0								
Deshiervo (2)	Jor.	20.0	22.0	440.0	20.0	400.0	20.0	400.0	20.0	400.0	20.0	400.0
Recalce	Jor.	20.0	4.0	80.0								
Control fitosanitario	Jor.	20.0	4.0	80.0	4.0	80.0	4.0	80.0	4.0	80.0	4.0	80.0
Fertilización-abonamiento orgánico	Jor.	20.0	3.0	60.0	3.0	60.0	3.0	60.0	3.0	60.0	3.0	60.0
Cosecha y acarreo	Jor.	20.0					18.0	360.0	22.0	440.0	22.0	440.0
Poda de formación	Jor.	20.0			6.0	120.0	4.0	80.0	4.0	80.0	4.0	80.0
Despulpado, fermentado, seca, carga	Jor.	20.0					7.0	140.0	7.0	140.0	7.0	140.0

<b>B: GASTOS ESPECIALES</b>		5140.0	1382.4	1813.1	1813.1	1813.1
Compra de plantones injertados	Unidad	2.0	1450.0	2900.0		
Compra de plantones forestales	unidad	2.0	90.0	180.0		
Compra de hijuelos	Unidad	0.5	300.0	150.0		
Guano de isla	Kg.	1.2	444.0	532.8	333.0	399.6
Roca fosfórica	Kg.	0.8	444.0	355.2	222.0	177.6
Sulfomak	Kg.	1.9	88.0	167.2	111.0	210.9
Dolomita	Kg.	0.3	333.0	99.9	333.0	99.9
Cupravit	Kg.	45.0	1.0	45.0		
Abono foliar	Lt	15.0	2.0	30.0		
Transporte de insumos	Kg.	0.1	888.0	88.8	444.0	44.4
Transporte de plantones	Unid.	0.1	1411.0	141.1		
Agrotin	Lt	20.0			1.0	20.0
Compost	Kg.	0.1	4500.0	450.0	4500.0	450.0
			6400.0	2042.4	2933.1	
<b>C. GASTOS GENERALES</b>			<b>960.0</b>	<b>960.0</b>	<b>960.0</b>	<b>960.0</b>
Imprevistos	5 %		320.0	320.0	320.0	320.0
Asistencia Técnica	5 %		320.0	320.0	320.0	320.0
Administración	5 %		320.0	320.0	320.0	320.0
<b>T O T A L</b>			<b>7360.0</b>	<b>3002.4</b>	<b>3893.1</b>	<b>3973.1</b>

**Cuadro 17.** Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del Sistema agroforestal de 6 años.

AÑOS	Produc. de cacao (kg)	Precio (kg)	Produc.de plátano racimo	Precio racimo	Ingreso brut platano (S/ha)	Ingreso bruto cacao (S/ha)	Costos (S/ha)	Ingreso neto (S/./ha)
1							7,360.00	-7,360.00
2			500.00	6.00	3,000.00		3,002.40	-2.40
3	320	6.50	1,000.00	6.00	6,000.00	2,080.00	3,893.10	4,186.90
4	650.00	6.70	600.00	8.00	4,800.00	4,355.00	3,973.10	5,181.90
5	850.00	5.60	400.00	6.00	2,400.00	4,760.00	3,973.10	3,186.90
6	1,000.00	4.50				4,500.00	3,973.10	526.90
IPN								2,616.04
VAN		14%						S/. 1,331.38
TIR								21.64%
B/C								1.21

NOTA: EL VAN TIR, B/C se determinaron de acuerdo a la formula citada en la metodología, Páginas. 48 y 49.



**Cuadro 18.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 8 años. (transectos A, B, C y D)

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C			TRANSECTO D		
N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/arbol)	N. común	Diam. (cm)	BA (kg/arbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/arbol)	N. común	Diam. (cm)	BA (kg/arbol)
Cacao	7.64	20.30	Cacao	9.17	32.20	Cacao	7.10	16.86	Cacao	10.60	46.49
Cacao	8.88	29.71	Cacao	3.47	2.76	Cacao	8.40	25.84	Cacao	9.55	35.70
Cacao	7.58	19.87	Cacao	7.48	19.25	Cacao	7.26	17.83	Cacao	7.86	21.83
Cacao	5.83	10.22	Cacao	8.88	29.71	Cacao	6.88	15.55	Cacao	10.12	41.37
Cacao	6.49	13.46	Cacao	6.30	12.48	Cacao	6.14	11.70	Cacao	5.95	10.80
Cacao	6.97	16.10	Cacao	9.39	34.21	Cacao	7.48	19.25	Cacao	3.63	3.09
Cacao	7.32	18.23	Cacao	7.99	22.74	Cacao	9.55	35.70	Cacao	7.64	20.30
Cacao	8.88	29.71	Cacao	7.80	21.39	Cacao	9.87	38.79	Cacao	6.18	11.85
Cacao	7.83	21.61	Cacao	9.93	39.42	Cacao	5.09	7.28	Cacao	7.19	17.44
Cacao	6.88	15.55	Cacao	8.31	25.10	Cacao	3.37	2.57	Cacao	4.07	4.14
Cacao	8.28	24.86	Cacao	5.73	9.80	Cacao	4.84	6.39	Cacao	6.21	12.00
Cacao	7.77	21.17	Cacao	10.70	47.56	Cacao	2.94	1.82	Cacao	9.33	33.63
Bolaina	17.95	176.32	Bolaina	10.76	48.27	Cacao	2.64	1.38	Bolaina	17.83	173.17
Bolaina	17.55	166.60	Bolaina	17.13	156.47	Cacao	4.65	5.77	Bolaina	24.48	386.33
Bolaina	15.37	119.11	Bolaina	13.94	93.00	Cacao	9.07	31.36	Bolaina	24.67	394.00
Bolaina	16.46	141.48	Bolaina	16.17	135.33	Cacao	5.44	8.61	Bolaina	18.78	197.61
Bolaina	14.10	95.71	Bolaina	15.34	118.49	Bolaina	7.16	17.24	Bolaina	17.48	164.69
						Tornillo	22.57	314.55	Guaba	15.31	117.87
						Bolaina	4.71	5.97	Guaba	4.77	2.15
						Bolaina	13.85	91.40	Guaba	9.23	2.68
						Bolaina	14.01	94.08	Guaba	12.25	4.72
						Guaba	23.87	362.63	Guaba	12.32	4.20
	Total	940.01			848.19			1132.56			1706.04
	BA (t/ha)	94.00			84.82			113.26			170.60

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo; BA= Biomasa aérea.

**Cuadro 19.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 8 años. (transectos E, F, G y H)

N. COMÚN	TRANSECTO E			TRANSECTO F			TRANSECTO G			TRANSECTO H				
	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)
Cacao	3.82	3.51	Cacao	8.82	29.18	Cacao	7.70	20.73	Cacao	6.08	11.39			
Cacao	7.00	16.29	Cacao	10.41	44.40	Cacao	6.88	15.55	Cacao	7.70	20.73			
Cacao	7.77	21.17	Cacao	7.00	16.29	Cacao	6.18	11.85	Cacao	4.68	5.87			
Cacao	5.38	8.36	Cacao	8.12	23.67	Cacao	8.31	25.10	Cacao	9.33	33.63			
Cacao	8.72	28.38	Cacao	3.30	2.43	Cacao	9.87	38.79	Cacao	10.82	49.00			
Cacao	8.63	27.60	Cacao	8.50	26.58	Cacao	7.58	19.87	Cacao	8.44	26.08			
Cacao	8.37	25.59	Cacao	8.35	25.39	Cacao	8.94	30.25	Cacao	7.38	18.63			
Cacao	11.30	54.66	Cacao	9.99	40.07	Cacao	10.60	46.49	Cacao	5.79	10.08			
Cacao	9.23	32.77	Cacao	9.71	37.23	Cacao	10.66	47.20	Cacao	7.73	20.95			
Cacao	9.61	36.31	Cacao	8.18	24.14	Cacao	12.00	63.64	Cacao	7.35	18.43			
Cacao	7.54	19.66	Cacao	10.98	50.84	Cacao	10.41	44.40	Cacao	7.10	16.86			
Cacao	3.96	3.84	Cacao	6.65	14.31	Cacao	7.77	21.17	Tornillo	28.97	591.47			
Cacao	9.36	33.92	Cacao	9.04	31.08	Cacao	7.96	22.51	Bolaina	13.78	90.34			
Cacao	10.54	45.79	Cacao	8.40	25.84	Cacao	8.31	25.10	Bolaina	17.13	156.47			
Bolaina	15.66	124.80	Bolaina	8.12	23.67	Cacao	7.53	19.56	Bolaina	12.19	66.23			
Bolaina	20.12	235.17	Bolaina	13.24	81.63	Cacao	8.28	24.86	Bolaina	13.50	85.66			
Guaba	7.16	17.24	Cedro	5.15	7.47	Cacao	7.61	20.09	Cedro	28.65	575.17			
Ishanga	5.03	7.06	Cedro	3.86	3.60	Bolaina	14.71	106.44	Guaba	4.63	5.71			
Bolaina	16.87	150.65	Bolaina	21.45	276.74	Bolaina	4.05	4.08	Bolaina	13.62	87.72			
Cetico	5.58	9.16	Cedro	3.83	3.54	Bolaina	9.20	32.48						
			Bolaina	12.61	72.07	Capirona	19.80	225.87						
			Capirona	19.03	204.46	Capirona	11.59	58.23						
						Guaba	8.18	24.14						
						Guaba	4.39	5.01						
						Capirona	16.74	147.79						
						Capirona	12.22	66.67						
<b>Total</b>		<b>901.93</b>			<b>1064.60</b>			<b>924.24</b>			<b>1890.44</b>			
<b>BA (/ha)</b>		<b>90.19</b>			<b>106.46</b>			<b>92.42</b>			<b>189.04</b>			

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.

**Cuadro 20.** Biomasa arbustiva/herbácea del sistema agroforestal de 8 años.

Área de muestreo: 1m x 1m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A1-M	1450	157	90	8.312	6.744
	A2-M	1250	99	41	5.177	
B	B1-M	1000	85	37	4.353	4.032
	B2-M	1000	97	36	3.711	
C	C1-M	750	94	52	4.149	3.698
	C2-M	560	100	58	3.248	
D	D1-M	750	114	68	4.474	5.687
	D2-M	980	98	69	6.900	
E	E1-M	1000	114	62	5.439	5.258
	E2-M	1100	104	48	5.077	
F	F1-M	800	105	49	3.733	3.919
	F2-M	1050	110	43	4.105	
G	G1-M	850	104	45	3.678	3.613
	G2-M	800	106	47	3.547	
H	H1-M	1300	102	41	5.225	5.909
	H2-M	1200	91	50	6.593	
PROMEDIO						4.860
CARBONO (t/ha)						2.190

PFT: Peso fresco total, PRM: peso fresco de la muestra; PSM: peso seco de la muestra.

**Cuadro 21.** Biomasa en la hojarasca del sistema agroforestal de 8 años. Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A1-H	1300	100	57	29.640	35.534
	A2-H	1450	98	70	41.429	
B	B1-H	1150	81	47	26.691	24.840
	B2-H	1250	87	40	22.989	
C	C1-H	1658	100	65	43.108	38.347
	C2-H	1350	82	51	33.585	
D	D1-H	1200	89	72	38.831	31.105
	D2-H	1080	85	46	23.379	
E	E1-H	1250	106	60	28.302	26.194
	E2-H	1000	93	56	24.086	
F	F1-H	950	94	63	25.468	24.074
	F2-H	1000	97	55	22.680	
G	G1-H	1200	90	48	25.600	27.238
	G2-H	1050	96	66	28.875	
H	H1-H	1100	90	55	26.889	24.574
	H2-H	1100	85	43	22.259	
PROMEDIO						28.990
C (t/ha)						13.040

PFT: Peso fresco total, PRM: peso fresco de la muestra; PSM: peso seco de la muestra.

**Cuadro 22.** Carbono almacenado en el suelo del sistema agroforestal de 8 años

Tran- secto	Co- digo	Prof. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	CS (prof)
	8A-1	0-10cm	0.1	63.33	58.48	0.92	923.35	3.16	29.2	
A	8A-2	10-20cm	0.1	97.56	67.45	0.69	691.38	1.30	9.0	63.68
	8A-3	20-30cm	0.1	50.67	86.74	1.71	1711.9	1.49	25.5	
	8B-1	0-10cm	0.1	82.26	67.58	0.82	821.5	1.49	12.2	
B	8B-2	10-20cm	0.1	49.09	83.1	1.69	1692.8	1.58	26.8	57.31
	8B-3	20-30cm	0.1	68.39	67.35	0.98	984.81	1.86	18.3	
	8C-1	0-10cm	0.1	45.24	88.75	1.96	1961.7	1.86	36.5	
C	8C-2	10-20cm	0.1	45.24	95.65	2.11	2114.2	1.67	35.4	107.1
	8C-3	20-30cm	0.1	46.87	84.42	1.8	1801.2	1.95	35.2	
	8D-1	0-10cm	0.1	96.39	92.19	0.96	956.42	1.49	14.2	
D	8D-2	10-20cm	0.1	92.25	101.4	1.1	1099	1.58	17.4	48.96
	8D-3	20-30cm	0.1	90.48	99.27	1.1	1097.2	1.58	17.4	
	8E-1	0-10cm	0.1	108	114.5	1.06	1060.2	3.91	41.4	
E	8E-2	10-20cm	0.1	108	129.6	1.2	1199.5	1.86	22.3	87.42
	8E-3	20-30cm	0.1	108	131	1.21	1212.6	1.95	23.7	
	8F-1	0-10cm	0.1	93.84	95.56	1.02	1018.4	3.35	34.1	
F	8F-2	10-20cm	0.1	90.48	104.6	1.16	1156	1.67	19.4	71.28
	8F-3	20-30cm	0.1	99.71	119.5	1.2	1198	1.49	17.8	
	8G-1	0-10cm	0.1	11	12.85	1.17	1168.2	1.95	22.8	
G	8G-2	10-20cm	0.1	11.2	14.39	1.28	1284.8	1.86	23.9	62.89
	8G-3	20-30cm	0.1	10.5	13.04	1.24	1241.9	1.30	16.2	
	8H-1	0-10cm	0.1	10	12.08	1.21	1208	4.28	51.7	
H	8H-2	10-20cm	0.1	12	14.99	1.25	1249.2	2.23	27.9	91.2
	8H-3	20-30cm	0.1	18	20.46	1.14	1136.7	1.02	11.6	
<b>Total</b>									<b>73.73</b>	

NOTA: Ps= Profundidad del suelo; VCH= Volumen del cilindro Huland; PSN= Peso del suelo sin cilindro; DA= Densidad aparente; PVs= Peso del Volumen del suelo; C=Carbono; CS= Carbono del suelo.

**Cuadro 23.** Carbono almacenado total en el SUT (Sistema agroforestal de 8 años)

TRANS	BA-ARB.	BA- ARB/HER	BA- HOJ.	BVT (t/ha)	CBV (t/ha)	CS (t/ha)	C total en el SUT (t/ha)
A	94.000	6.74	35.53	136.28	61.33	63.68	125.01
B	84.819	4.03	24.84	113.69	51.16	57.31	108.47
C	113.256	3.70	38.35	155.30	69.89	107.10	176.97
D	170.605	5.69	31.11	207.40	93.33	48.96	142.29
E	94.424	5.26	26.19	125.88	56.64	87.42	144.06
F	106.461	3.92	24.07	134.45	60.50	71.28	131.78
G	116.784	3.61	27.24	147.63	66.44	62.89	129.33
H	189.044	5.91	24.57	219.53	98.79	91.20	189.99
PROM.	121.170	4.86	28.99	155.02	558.07	589.82	1147.89
C (t/ha)	54.53	2.19	13.04	69.76	69.76	73.73	143.49

NOTA: BA= Biomasa aérea; BVT= Biomasa Vegetal Total; CBV= Carbono en la biomasa vegetal; CS= Carbono en el suelo; SUT= Sistema unidad de tierra

**Cuadro 24.** Costos de producción de 1 hectárea, para el Sistema agroforestal de 8 años, a un distanciamiento de 3 m x 3 m.

LABORES	PRECIO		AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5-8	
	Unid.	Unit.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.
<b>A. GASTOS DEL CULTIVO</b>				<b>1,300.00</b>		<b>660.00</b>		<b>1,120.00</b>		<b>1,200.00</b>		<b>1,200.00</b>
Preparación de terreno	Jor.	20.0	5	100.00								
Alineamiento y poceo de cacao	Jor.	20.0	10	200.00								
Alineamiento y poceo de madera	Jor.	20.0	4	80.00								
Alineamiento y poceo de plátano	Jor.	20.0	4	80.00								
Trasplante de cacao	Jor.	20.0	4	80.00								
Trasplante de madera	Jor.	20.0	2	40.00								
Trasplante de plátano	Jor.	20.0	3	60.00								
Deshiervo (2)	Jor.	20.0	22	440.00	20	400.00	20	400.00	20	400.00	20	400.00
Recalce	Jor.	20.0	4	80.00								
Control fitosanitario	Jor.	20.0	4	80.00	4	80.00	4	80.00	4	80.00	4	80.00
Fertilización-abonamiento orgánico	Jor.	20.0	3	60.00	3	60.00	3	60.00	3	60.00	3	60.00
Cosecha y acarreo	Jor.	20.0					18	360.00	22	440.00	22	440.00
Poda de formación	Jor.	20.0			6	120.00	4	80.00	4	80.00	4	80.00
Despulpado, fermentado, seca, carga	Jor.	20.0					7	140.00	7	140.00	7	140.00

<b>B. GASTOS ESPECIALES</b>				<b>5,660.00</b>	<b>1,382.40</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>			
Compra de plantones injertados	Unidad	2.0	1450	2,900.00								
Compra de plantones for.	unidad	2.0	350	700.00								
Compra de hijuelos	Unidad	0.5	300	150.00								
Guano de isla	Kg.	1.2	444	532.80	333	399.60	333	399.60	333	399.60	333	399.60
Roca fosfórica	Kg.	0.8	444	355.20	222	177.60	222	177.60	222	177.60	222	177.60
Sulfomak	Kg.	1.9	88	167.20	111	210.90	333	632.70	333	632.70	333	632.70
Dolomita	Kg.	0.3	333	99.90	333	99.90	333	99.90	333	99.90	333	99.90
Cupravit	Kg.	45.0	1	45.00								
Abono foliar	Lt	15.0	2	30.00								
Transporte de insumos	Kg.	0.1	888	88.80	444	44.40	333	33.30	333	33.30	333	33.30
Transporte de plantones	Unid.	0.1	1411	141.10								
Agrotin	Lt	18.0					1	18.00	1	18.00	1	18.00
Compost	Kg.	0.1	4500	450.00	4500	450.00	4500	450.00	4500	450.00	4500	450.00
<b>C. GASTOS GENERALES</b>				<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>	<b>1,044.00</b>
Imprevistos	5 %			348.00		348.00		348.00		348.00		348.00
Asistencia Técnica	5 %			348.00		348.00		348.00		348.00		348.00
Administración	5 %			348.00		348.00		348.00		348.00		348.00
<b>T O T A L</b>				<b>8,004.00</b>	<b>3,086.40</b>	<b>3,975.10</b>		<b>4055.10</b>		<b>4055.10</b>		<b>4055.10</b>



**Cuadro 25.** Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del Sistema agroforestal de 8 años.

AÑOS	Produc. de cacao (kg)	Precio (kg)	Produc. de plátano racimo	Precio racimo	Ing. bruto plátano (s/.ha)	Ing. bruto cacao (s/ha)	Costos (s/ha)	Ing. neto (s/ha)
1							8,004.00	-8,004.00
2			500.00	6.00	3,000.00		3,086.40	-86.40
3	290	5.00	1,000.00	6.00	6,000.00	1,450.00	3,975.10	3,474.90
4	450.00	6.40	600.00	8.00	4,800.00	2,880.00	4,055.10	3,624.90
5	850.00	6.50	400.00	6.00	2,400.00	5,525.00	4,055.10	3,869.90
6	950.00	6.70				6,365.00	4,055.10	2,309.90
7	980.00	5.60				5,488.00	4,055.10	1,432.90
8	1,050.00	4.50				4,725.00	4,055.10	669.90
IPN/S (S/.)							2,185.14	
VAN		14%						S/. 1,273.90
TIR								19.55%
B/C								1.18

NOTA: EL VAN TIR, B/C se determinaron de acuerdo a la formula citada en la metodología, Páginas. 48 y 49.

**Cuadro 26.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto A.

TRANSECTO A						
N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. común	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	BA (t/ha)
Cacao	3.68	3.19	Cacao	11.59	58.23	
Cacao	9.07	31.36	Cacao	12.41	69.34	
Cacao	13.69	88.76	Cacao	14.58	104.12	
Cacao	12.03	64.06	Cacao	10.89	49.73	
Cacao	11.90	62.36	Cacao	15.09	113.57	
Cacao	12.99	77.72	Cacao	11.68	59.45	
Cacao	16.01	131.99	Cacao	11.94	62.79	
Cacao	16.39	140.10	Cacao	4.42	5.08	
Cacao	15.53	122.25	Cacao	14.80	108.20	
Cacao	4.40	5.01	Cacao	10.28	43.04	
Cacao	11.90	62.36	Cacao	3.69	3.21	
Cacao	9.01	30.80	Cacao	3.26	2.36	
Cacao	16.23	136.68	Cacao	7.77	21.17	
Cacao	3.54	2.89	Cacao	12.70	73.46	
Cacao	4.73	6.03	Cacao	10.82	49.00	
Cacao	12.32	67.99	Cacao	2.79	1.59	
Cacao	4.36	4.91	Cacao	7.61	20.09	
Cacao	13.75	89.81	Cacao	3.90	3.71	
Cacao	12.73	73.92	Cacao	8.56	27.09	
Cacao	4.42	5.10	Cacao	4.73	6.05	
Cacao	5.19	7.64	Eucalipto	41.86	1501.21	
Cacao	11.49	57.02	Eucalipto	30.18	655.97	
Cacao	11.52	57.42	Eucalipto	24.73	396.57	
Cacao	4.14	4.30	Pashaco	30.78	689.75	
Cacao	6.86	15.47	Eucalipto	36.48	1059.98	
Cacao	8.94	30.25	Guaba	29.83	636.89	
Cacao	18.46	189.25	Eucalipto	43.13	1619.45	
Cacao	12.25	67.11	Capirona	7.89	22.02	
Cacao	12.99	77.72	Eucalipto	37.82	1161.04	
Cacao	13.53	86.18				
Subtotal		1799.68			8624.13	
Total					10423.81	208.48

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.

**Cuadro 27.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto B.

<b>TRANSECTO B</b>						
<b>N. COMÚN</b>	<b>Diam. (cm)</b>	<b>BA (kg/árbol)</b>	<b>N. común</b>	<b>Diam. (cm)</b>	<b>BA (kg/árbol)</b>	<b>BA (t/ha)</b>
Cacao	4.01	3.96	Cacao	11.08	51.97	
Cacao	8.75	28.65	Cacao	13.62	87.72	
Cacao	3.34	2.51	Cacao	5.98	10.94	
Cacao	10.19	42.03	Cacao	8.79	28.91	
Cacao	6.53	13.62	Cacao	13.21	81.14	
Cacao	11.20	53.49	Cacao	12.57	71.61	
Cacao	3.44	2.70	Cacao	11.40	55.83	
Cacao	10.92	50.10	Cacao	5.66	9.50	
Cacao	12.41	69.34	Cacao	8.94	30.25	
Cacao	14.07	95.17	Cacao	5.41	8.50	
Cacao	4.10	4.19	Cacao	3.84	3.56	
Cacao	8.37	25.59	Cacao	10.85	49.37	
Cacao	4.02	3.99	Cacao	17.57	166.98	
Cacao	3.69	3.22	Cacao	13.56	86.69	
Cacao	16.11	133.99	Cacao	7.61	20.09	
Cacao	13.37	83.63	Cacao	16.23	136.68	
Cacao	10.35	43.71	Cacao	3.84	3.57	
Cacao	15.69	125.45	Cacao	4.30	4.73	
Cacao	4.20	4.46	Cacao	7.70	20.73	
Cacao	14.04	94.62	Eucalipto	51.57	2544.68	
Cacao	4.41	5.05	Cedro	24.83	400.46	
Cacao	4.10	4.20	Eucalipto	50.99	2473.75	
Cacao	11.24	53.88	Guaba	20.28	239.90	
Cacao	15.60	123.53	Eucalipto	46.00	1905.57	
Cacao	5.33	8.18	Bolaina	18.88	200.17	
Cacao	12.16	65.79	Pashaco	33.30	841.35	
Cacao	4.77	6.17	Eucalipto	33.58	859.78	
Cacao	12.61	72.07	Eucalipto	27.95	540.26	
			Cedro	11.75	60.27	
<b>Subtotal</b>		<b>1223.29</b>			<b>10994.97</b>	
<b>Total</b>					<b>12218.26</b>	<b>244.37</b>

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.

**Cuadro 28.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto C.

<b>TRANSECTO C</b>						
<b>N. COMÚN</b>	<b>Diam. (cm)</b>	<b>BA (kg/árbol)</b>	<b>N. COMÚN</b>	<b>Diam. (cm)</b>	<b>BA (kg/árbol)</b>	<b>BA (t/ha)</b>
Cacao	8.72	28.38	Cacao	10.12	41.37	
Cacao	6.56	13.79	Cacao	12.32	67.99	
Cacao	3.47	2.76	Cacao	4.39	5.00	
Cacao	19.61	220.39	Cacao	15.06	112.97	
Cacao	4.14	4.30	Cacao	4.48	5.26	
Cacao	7.23	17.63	Cacao	5.17	7.56	
Cacao	3.80	3.46	Cacao	4.51	5.35	
Cacao	7.00	16.29	Cacao	4.51	5.36	
Cacao	3.57	2.97	Cacao	4.85	6.43	
Cacao	8.15	23.90	Cacao	13.34	83.13	
Cacao	3.80	3.47	Cacao	5.09	7.26	
Cacao	6.24	12.19	Cacao	3.78	3.43	
Cacao	3.88	3.67	Cacao	4.44	5.14	
Cacao	10.19	42.03	Cacao	4.57	5.54	
Cacao	9.26	33.05	Cacao	4.21	4.51	
Cacao	6.91	15.73	Cacao	4.30	4.75	
Cacao	3.49	2.79	Cacao	5.01	6.98	
Cacao	8.37	25.59	Cacao	4.72	5.99	
Cacao	3.34	2.51	Cacao	4.49	5.30	
Cacao	3.46	2.74	Cacao	5.48	8.77	
Cacao	3.35	2.53	Cacao	4.76	6.12	
Cacao	3.82	3.52	Cacao	4.40	5.01	
Cacao	4.00	3.94	Capirona	15.98	131.32	
Cacao	10.12	41.37	Guaba	13.02	78.20	
Cacao	3.57	2.96	Guaba	14.51	102.98	
Cacao	7.45	19.04	Eucalipto	47.91	2112.16	
Cacao	9.04	31.08	Guaba	13.43	84.64	
Cacao	4.14	4.30	Guaba	23.71	356.55	
Cacao	3.55	2.93	Bolaina	22.76	321.33	
Cacao	6.65	14.31	Eucalipto	40.20	1355.53	
<b>Subtotal</b>		<b>603.64</b>			<b>4951.96</b>	
<b>Total</b>					<b>5555.60</b>	<b>111.11</b>

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.

**Cuadro 29.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto D.

TRANSECTO D						
N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. común	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	BA (t/ha)
Cacao	9.78	37.90	Cacao	9.14	31.92	
Cacao	7.02	16.40	Cacao	7.43	18.90	
Cacao	7.21	17.56	Cacao	11.84	61.52	
Cacao	7.44	18.97	Cacao	4.37	4.93	
Cacao	6.27	12.32	Cacao	6.86	15.46	
Cacao	9.56	35.85	Cacao	6.59	13.95	
Cacao	5.54	9.01	Cacao	12.67	72.99	
Cacao	9.90	39.10	Cacao	5.51	8.89	
Cacao	9.57	35.94	Cacao	3.14	2.14	
Cacao	3.76	3.38	Cacao	9.14	31.92	
Cacao	9.14	31.95	Cacao	6.10	11.49	
Cacao	5.91	10.59	Cacao	14.10	95.71	
Cacao	11.32	54.87	Cacao	21.26	270.55	
Cacao	9.92	39.31	Cacao	3.43	2.69	
Cacao	9.26	33.03	Cacao	6.24	12.17	
Cacao	10.03	40.39	Cacao	5.95	10.78	
Cacao	7.78	21.27	Cacao	5.15	7.47	
Cacao	12.86	75.81	Cacao	7.99	22.77	
Cacao	5.21	7.70	Cacao	6.81	15.17	
Cacao	14.13	96.26	Cacao	9.20	32.48	
Cacao	15.98	131.32	Cacao	6.23	12.12	
Cacao	11.97	63.21	Cacao	8.53	26.84	
Cacao	12.89	76.28	Eucalipto	41.73	1489.69	
Cacao	5.79	10.05	Eucalipto	55.00	2996.03	
Cacao	5.49	8.81	Eucalipto	29.92	642.06	
Cacao	6.39	12.94	Guaba	32.82	811.16	
Cacao	11.84	61.52	Guaba	17.20	158.31	
Cacao	6.23	12.12	Guaba	25.94	447.50	
Cacao	4.34	4.85				
Subtotal		1018.70			7327.58	
Total					8346.28	166.93

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.

**Cuadro 30.** Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) del sistema agroforestal de 10 años. Transecto E.

TRANSECTO E						
N. COMÚN	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	N. común	Diam. (cm)	BA (kg/árbol)	BA (t/ha)
Cacao	3.40	2.63	Cacao	5.14	7.44	
Cacao	8.75	28.65	Cacao	15.18	115.40	
Cacao	9.42	34.52	Cacao	4.96	6.82	
Cacao	6.36	12.78	Cacao	5.96	10.82	
Cacao	13.11	79.66	Cacao	15.41	119.73	
Cacao	17.51	165.45	Cacao	6.56	13.79	
Cacao	9.30	33.40	Cacao	10.50	45.44	
Cacao	5.91	10.59	Cacao	7.80	21.39	
Cacao	15.25	116.63	Cacao	12.06	64.49	
Cacao	7.96	22.55	Cacao	4.74	6.08	
Cacao	5.21	7.70	Cacao	4.77	6.17	
Cacao	6.09	11.44	Cacao	6.29	12.42	
Cacao	4.45	5.17	Cacao	8.02	22.99	
Cacao	5.05	7.11	Cacao	6.64	14.22	
Cacao	10.82	49.00	Cacao	9.87	38.80	
Cacao	4.50	5.32	Cacao	7.17	17.31	
Cacao	12.29	67.55	Cacao	6.06	11.29	
Cacao	7.99	22.77	Cacao	5.12	7.36	
Cacao	8.10	23.51	Cacao	14.13	96.26	
Cacao	14.58	104.12	Cacao	5.30	8.05	
Cacao	19.74	224.03	Cacao	8.04	23.14	
Cacao	9.55	35.70	Eucalipto	32.59	797.29	
Cacao	6.98	16.16	Eucalipto	34.70	933.79	
Cacao	3.79	3.44	Pashaco	22.25	303.45	
Cacao	4.89	6.58	Pashaco	29.41	614.77	
Cacao	10.50	45.44	Eucalipto	60.00	3733.34	
Cacao	5.94	10.73	Eucalipto	36.70	1076.44	
Cacao	6.72	14.66	Guaba	31.35	722.69	
Cacao	13.72	89.29	Capirona	29.44	616.45	
Cacao	6.11	11.53				
Subtotal		1268.11			9467.64	
Total					10735.75	214.72

Nota: Diámetro para el caso de cacao es a 30cm del suelo y especies forestales a 1.30cm del suelo.

**Cuadro 31.** Biomasa arbustiva/herbácea del sistema agroforestal de 10 años.  
Área de muestreo: 1m x 1m.

Tran- secto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10A1-M	2950	120	48	11.800	8.616
	10A2-M	2100	116	30	5.431	
B	10B1-M	1800	140	50	6.429	4.788
	10B2-M	1250	139	35	3.147	
C	10C1-M	1150	128	38	3.414	4.202
	10C2-M	1300	99	38	4.990	
D	10D1-M	2100	126	31	5.167	7.672
	10D2-M	2700	130	49	10.177	
E	10E1-M	1550	110	32	4.509	5.934
	10E2-M	1700	134	58	7.358	
PROMEDIO						6.240
CARBONO (t/ha)						2.810

PFT: Peso fresco total, PRM: peso fresco de la muestra; PSM: peso seco de la muestra.

**Cuadro 32.** Biomasa en la hojarasca del sistema agroforestal de 10 años.  
Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Tran- secto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa promedio
A	10A1-H	1700	112	79	47.96	49.56
	10A2-H	1550	103	85	51.17	
B	10B1-H	900	112	79	25.39	32.59
	10B2-H	1350	95	70	39.79	
C	10C1-H	1350	95	72	40.93	36.40
	10C2-H	1150	101	70	31.88	
D	10D1-H	1050	105	70	28.00	34.12
	10D2-H	1300	84	65	40.24	
E	10E1-H	900	136	108	28.59	26.39
	10E2-H	1000	86	52	24.19	
PROMEDIO						35.81
CARBONO (t/ha)						16.12

PFT: Peso fresco total, PRM: peso fresco de la muestra; PSM: peso seco de la muestra.

**Cuadro 33.** Carbono almacenado por el suelo del sistema agroforestal de 10 años

TRANS	COD	PROF (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	CS /trans. (t/ha)
A	10A1-1	0-10cm	0.1	9.55	10.58	1.11	1107.85	2.60		
	10A1-2	10-20cm	0.1	9.50	10.62	1.12	1117.89	1.77	65.68	
	10A1-3	20-30cm	0.1	20.00	24.47	1.22	1223.50	1.40		62.17
	10A2-1	0-10cm	0.1	10.10	11.49	1.14	1135.38	1.58		
	10A2-2	10-20cm	0.1	10.50	12.29	1.17	1170.48	1.67	58.65	
	10A2-3	20-30cm	0.1	10.60	13.36	1.26	1260.38	1.67		
B	10B1-1	0-10cm	0.1	11.80	13.12	1.11	1111.86	3.91		
	10B1-2	10-20cm	0.1	8.30	9.39	1.13	1131.33	1.49	78.81	
	10B1-3	20-30cm	0.1	10.80	12.66	1.17	1172.22	1.58		77.69
	10B2-1	0-10cm	0.1	11.00	12.46	1.13	1132.73	2.79		
	10B2-2	10-20cm	0.1	14.80	18.03	1.22	1218.24	1.95	76.56	
	10B2-3	20-30cm	0.1	10.00	13.38	1.34	1338.00	1.58		
C	10C1-1	0-10cm	0.1	8.0	8.94	1.12	1117.50	2.98		
	10C1-2	10-20cm	0.1	9.0	10.7	1.19	1188.89	2.05	73.56	
	10C1-3	20-30cm	0.1	8.8	10.07	1.14	1144.32	1.40		67.81
	10C2-1	0-10cm	0.1	9.8	11.04	1.13	1126.53	3.16		
	10C2-2	10-20cm	0.1	8.5	9.97	1.17	1172.94	0.93	62.07	
	10C2-3	20-30cm	0.1	14.50	17.29	1.19	1192.41	1.30		
D	10D1-1	0-10cm	0.1	9.1	10.21	1.12	1121.98	1.95		
	10D1-2	10-20cm	0.1	11.10	13.95	1.26	1256.76	1.21	56.96	
	10D1-3	20-30cm	0.1	19.00	28.96	1.52	1524.21	1.30		56.20
	10D2-1	0-10cm	0.1	16.50	18.28	1.11	1107.88	1.86		
	10D2-2	10-20cm	0.1	8.9	10.54	1.18	1184.27	1.40	55.44	
	10D2-3	20-30cm	0.1	9.0	11.07	1.23	1230.00	1.49		
E	10E1-1	0-10cm	0.1	10.50	12.1	1.15	1152.38	2.88		
	10E1-2	10-20cm	0.1	10.00	14.13	1.41	1413.00	1.30	60.68	
	10E1-3	20-30cm	0.1	14.80	20.58	1.39	1390.54	0.65		50.89
	10E2-1	0-10cm	0.1	9.0	10.17	1.13	1130.00	1.67		
	10E2-2	10-20cm	0.1	17.60	21.49	1.22	1221.02	1.02	41.10	
	10E2-3	20-30cm	0.1	9.5	10.99	1.16	1156.84	0.84		
Total (t C/ha)										62.95



**Cuadro 34.** Carbono almacenado total en el SUT (Sistema agroforestal de 10 años)

TRANS	C.						TOTAL EN SUT (t/ha)
	BA-ARB	BA-ARB/HERB	BA-HOJ.	BVT (t/ha)	CBV (t/ha)	CS (t/ha)	
A	208.48	8.616	49.56	266.66	120.00	62.17	182.17
B	244.37	4.788	32.59	281.74	126.78	77.69	204.47
C	111.11	4.202	36.40	151.72	68.27	67.81	136.08
D	166.93	7.672	34.12	208.72	93.92	56.20	150.12
E	214.72	5.934	26.39	247.04	111.17	50.89	162.06
PROM.	189.12	6.24	35.81	231.17	520.14	314.76	834.90
C (t/ha)	85.10	2.81	16.12	104.03	104.03	62.95	166.98

NOTA: BA= Biomasa aérea; BVT= Biomasa Vegetal Total; CBV= Carbono en la biomasa vegetal; CS= Carbono en el suelo; SUT= Sistema unidad de tierra

**Cuadro 35.** Costos de producción para el Sistema agroforestal de 10 años, 1 hectárea a un distanciamiento de 3 m x 3 m.

	PRECIO		AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5-11	
	Unid.	Unit	Cant.	Tot.	Cant	Tot.	Cant	Tot.	Cant	Tot.	Cant	Tot.
<b>A. GASTOS DEL CULTIVO</b>				<b>1,280.00</b>		<b>660.00</b>		<b>1,120.0</b>		<b>1,200.0</b>		<b>1,200.0</b>
Preparación de terreno	Jor.	20.0	5	100.00								
Alineamiento y poceo de cacao	Jor.	20.0	10	200.00								
Alineamiento y poceo de madera	Jor.	20.0	3	60.00								
Alineamiento y poceo de platano	Jor.	20.0	4	80.00								
Trasplante de cacao	Jor.	20.0	4	80.00								
Trasplante de madera	Jor.	20.0	2	40.00								
Trasplante de platano	Jor.	20.0	3	60.00								
Deshiervo (2)	Jor.	20.0	22	440.00	20	400.00	20	400.00	20	400.00	20	400.00
Recalce	Jor.	20.0	4	80.00								
Control fitosanitario	Jor.	20.0	4	80.00	4	80.00	4	80.00	4	80.00	4	80.00
Fertilización-abonamiento organico	Jor.	20.0	3	60.00	3	60.00	3	60.00	3	60.00	3	60.00
Cosecha y acarreo	Jor.	20.0					18	360.00	22	440.00	22	440.00
Poda de formación	Jor.	20.0			6	120.00	4	80.00	4	80.00	4	80.00

Despulpado, fermentado,seca,carga	Jor.	20.0				7	140.00	7	140.00	7	140.00	
<b>B. GASTOS ESPECIALES</b>			<b>5,160.0</b>			<b>1,382.40</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>	<b>1,811.10</b>	
Compra de plántones injertados	Unidad	2.0	1450	2,900.00								
Compra de plant. for.	Kg.	2.0	100	200.00								
Compra de hijuelos	Unidad	0.5	300	150.00								
Guano de isla	Kg.	1.2	444	532.80	333	399.60	333	399.60	333	399.60	333	399.60
Roca fosfórica	Kg.	0.8	444	355.20	222	177.60	222	177.60	222	177.60	222	177.60
Sulfomak	Kg.	1.9	88	167.20	111	210.90	333	632.70	333	632.70	333	632.70
Dolomita	Kg.	0.3	333	99.90	333	99.90	333	99.90	333	99.9	333	99.90
Cupravit	Kg.	45.0	1	45.00								
Abono foliar	Lt	15.0	2	30.00								
Transporte de insumos	Kg.	0.1	888	88.80	444	44.40	333	33.30	333	33.30	333	33.30
Transporte de plántones	Unid.	0.1	1411	141.100								
Agrotin	Lt	18.0					1	18.00	1	18.0	1	18.00
Compost	Kg.	0.1	4500	450.00	4500	450.00	4500	450.00	4500	450.0	4500	450.00
<b>C. GASTOS GENERALES</b>			<b>966.00</b>			<b>966.00</b>	<b>966.00</b>	<b>966.00</b>	<b>966.00</b>	<b>966.00</b>	<b>966.00</b>	
Imprevistos	5 %		322.00			322.00		322.00		322.00		322.00
Asistencia Técnica	5 %		322.00			322.00		322.00		322.00		322.00
Administración	5 %		322.00			322.00		322.00		322.00		322.00
<b>TOTAL</b>			<b>7,406.0</b>			<b>3,008.4</b>	<b>3,897.1</b>	<b>3,897.1</b>	<b>3,897.1</b>	<b>3,897.1</b>	<b>3,897.1</b>	

**Cuadro 36.** Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del Sistema agroforestal de 10 años

Años	Produc. de cacao (kg)	Precio (kg)	Produc. de plátano racimo	Precio racimo	Ing. bruto plátano (s/ha)	Ing. bruto cacao (s/ha)	Costos (s/ha)	Ing. neto (s/ha)
1							7,406.00	-7,406.00
2			500.00	6.00	3,000.00		3,008.40	-8.40
3	300.00	4.50	1,000.00	6.00	6,000.00	1,350.00	3,897.10	3,452.90
4	500.00	4.50	600.00	8.00	4,800.00	2,250.00	3,977.10	3,072.90
5	850.00	5.00	400.00	6.00	2,400.00	4,250.00	3,977.10	2,672.90
6	930.00	6.40				5,952.00	3,977.10	1,974.90
7	980.00	6.50				6,370.00	3,977.10	2,392.90
8	1,050.00	6.70				7,035.00	3,977.10	3,057.90
9	1,000.00	5.60				5,600.00	3,977.10	1,622.90
10	1,020.00	4.50				4,590.00	3,977.10	612.90
	IPN/S (S/.)						2,094.64	
	VAN	14%						Sl. 2,627.66
	TIR							23.85%
	B/C							1.40

NOTA: EL VAN TIR, B/C se determinaron de acuerdo a la formula citada en la metodología, Páginas. 48 y 49.

**Cuadro 37.** Análisis de Varianza de la biomasa arbórea (estrato superior)

<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p- valor</b>
SAF	2	19079.48	9539.74	3.9	0.0392
Error	18	44024.40	2445.80		
Total	20	63103.88			

**Cuadro 38.** Análisis de Varianza de la biomasa arbustiva y herbácea

<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p- valor</b>
SAF	2	8.03	4.01	1.49	0.2512
Error	18	48.38	2.69		
Total	20	56.40			

**Cuadro 39.** Análisis de Varianza de la biomasa de hojarasca

<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p- valor</b>
SAF	2	143.70	71.85	0.84	0.448
Error	18	1539.85	85.55		
Total	20	1683.55			

**Cuadro 40.** Análisis de Varianza de la biomasa aérea

<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p- valor</b>
SAF	2	23015.56	11507.78	5.04	0.0182
Error	18	41071.10	2281.73		
Total	20	64086.66			

**Cuadro 41.** Análisis de Varianza del carbono almacenado en la biomasa aérea

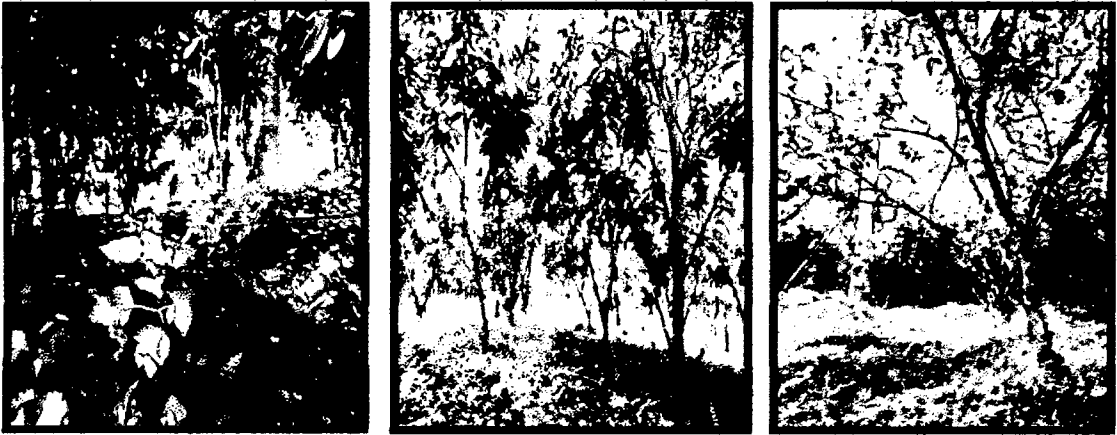
<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
SAF	2	4660.53	2330.26	5.04	0.0182
Error	18	8317.10	462.06		
Total	20	12977.63			

**Cuadro 42.** Análisis de Varianza del carbono orgánico del suelo

<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
SAF	2	608.63	304.31	1.41	0.2708
Error	18	3896.40	216.47		
Total	20	4505.03			

**Cuadro 43.** Análisis de Varianza del carbono total almacenado en los SAF

<b>F.V</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>SC</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
SAF	2	4022.93	2011.46	3.26	0.0618
Error	18	11096.13	616.45		
Total	20	15119.06			



**Figura 9.** Fase de campo, parcelas agroforestales delimitadas, 6 años (derecha), 8 años (centro), 10 años (izquierda).



**Figura 10.** Fase de campo, medición del DAP (en cacao y árboles forestales)

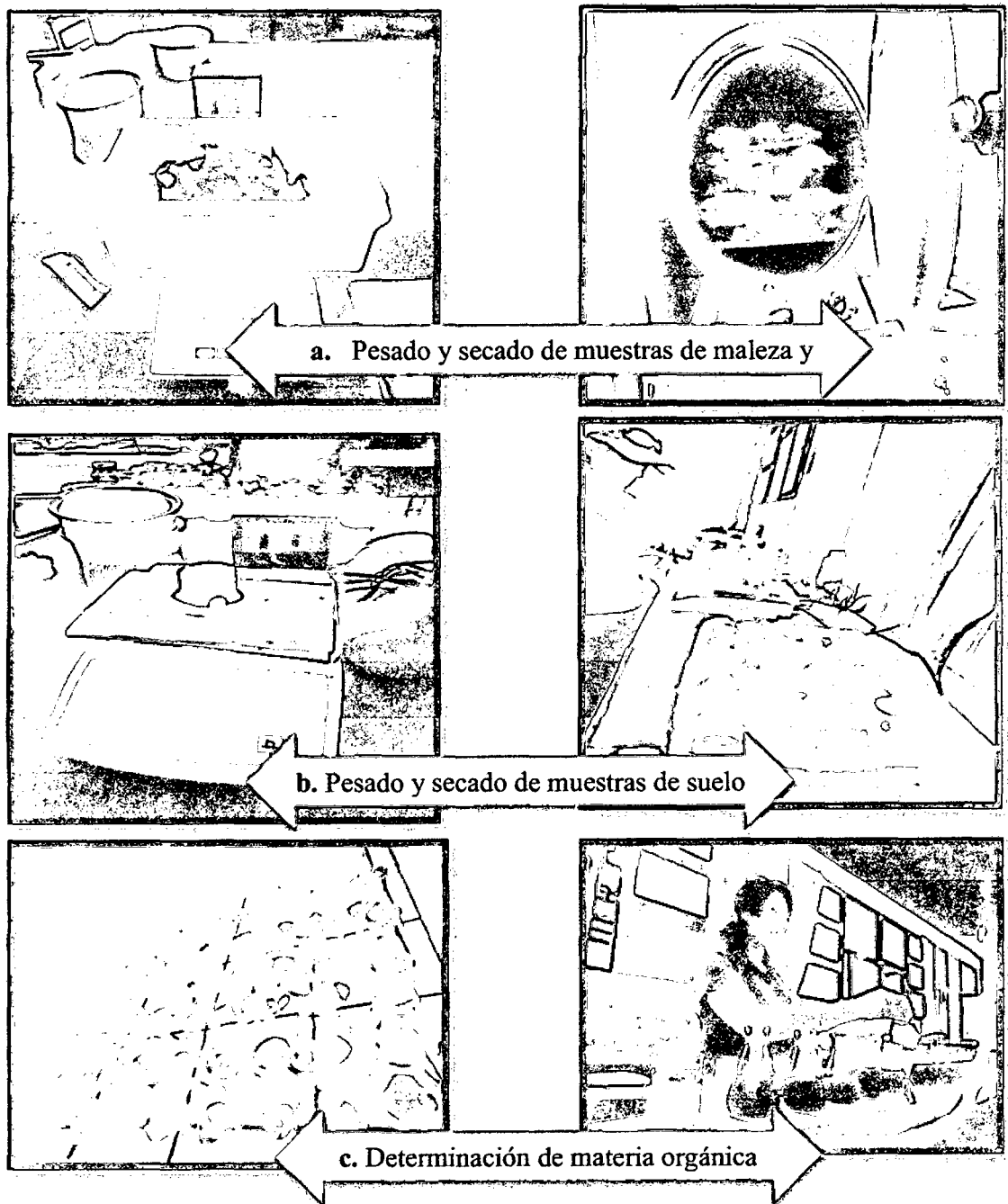


**Figura 11.** Fase de campo, recolección y pesado de las muestras del componente arbustivo, herbáceo y hojarasca.



**Figura 12.** Fase de campo, recolección de muestras de suelo de las calicatas.





**Figura 13.** Fase de laboratorio: a y b (pesado y secado de material herbáceo y hojarascas), c (análisis de materia orgánica del suelos).