

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“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**

**HENRY ALEXIS BRINGAS PAREDES**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2010**



P06

B38

Bringas Paredes, Henry A.

Estimación del Carbono Almacenado en un Sistema Agroforestal de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Comparado con un Bosque Secundario de tres Edades. Tingo María 2010

100 h.; 63 cuadros; 14 fgrs.; 75 ref.; 30 cm.

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

THEOBROMA CAÇÃO L. / ALMACENAMIENTO-CARBONO / CACAO

/ SISTEMA AGROFORESTAL / BOSQUE SECUNDARIO / ECONOMIA /

TINGO MARIA / RUPA RUPA / LEÓNICIO PRADO / HUANUCO / PERU.

## 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 mi querida madre: María, quien me dió la vida y me enseñó a vivirla, por enseñarme a amar, por su incondicional apoyo y por su valioso empeño por lograr que su hijo logre sus metas.

A mi mami Magda, a mis hermanos Margot, Gaby, Rocio, Marcos y a mi tío Washington, por su confianza y sobre todo incentivarme a salir adelante con el cariño y gratitud de siempre.

## AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater; Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su contribución en mi formación profesional.
- A los docentes de la Facultad de Agronomía quienes me han formado con sus enseñanzas, teóricas y prácticas a lo largo de mi carrera universitaria.
- Al Ing. JAIME CHÁVEZ MATÍAS, asesor de la presente tesis y al Ing. M. Sc. FERNANDO GONZÁLEZ HUIMAN co-asesor de la tesis, a ambos por darme su amistad y asesoramiento en el desarrollo científico y académico del presente trabajo de investigación.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. M. Sc. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO, Dr. JORGE RÍOS ALVARADO y al Ing. M. Sc. ADRIAZOLA DEL ÁGUILA, por el aporte académico, científico y las revisiones de fondo y forma del texto.
- A mis amigos Paul Lama Isminio, Santiago García Ramírez, Rosmery Díaz Ávila, Merlyn Bravo Carrillo, Alex Rebatta Arroyo y Karin Villogas Ventura, que de una u otra manera colaboraron y me apoyaron en la realización del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1. Condiciones edafo-climáticas para el cultivo de cacao.....	19
2.1.1. Exigencias del suelo.....	20
2.1.2. Demanda, oferta y servicios ambientales en el cultivo del cacao.....	21
2.2. Ecología y botánica del laurel.....	21
2.3. Sistema agroforestal (SAF).....	22
2.3.1. El laurel en sistema agroforestal.....	23
2.3.2. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono....	24
2.3.3. Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono.....	24
2.4. Bosque secundario.....	25
2.5. Efectos de la concentración de dióxido de carbono.....	26
2.5.1. Dióxido de carbono.....	26
2.5.2. Efecto invernadero.....	27
2.5.3. Causas y consecuencias del cambio climático global.....	28
2.6. Fijación del carbono por medio de los vegetales.....	28
2.7. Fijación de carbono por las hojarascas.....	30
2.8. Fijación de carbono en el suelo.....	30
2.9. Valorización económica de la fijación de carbono.....	32

2.10. Reportes de trabajo de investigación en la fijación de carbono en cacao bajo un sistema agroforestal y bosques secundarios.	33
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>41</b>
3.1. Lugar de ejecución	41
3.1.1. Ubicación política	41
3.1.2. Ubicación geográfica	41
3.1.3. Clima	42
3.2. Equipos y materiales	42
3.3. Metodología	42
3.3.1. Selección y delimitación del área en estudio	42
3.3.2. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico	43
3.4. Cálculos	47
3.4.1. Cálculos de la biomasa vegetal	47
3.4.2. Cálculos de la biomasa vegetal total	49
3.4.3. Cálculos del peso del volumen del suelo ( $t\ ha^{-1}$ )	50
3.4.4. Cálculos del carbono total (biomasa vegetal + suelo)	50
3.5. Variable dependiente	51
3.6. Variables independientes	51
3.7. Análisis estadístico	52
3.7.1. Parámetros a evaluar	52
3.7.2. Análisis de regresión múltiple	52
3.7.3. Prueba de T	53
3.8. Métodos para estimar la valorización económica	53

3.8.1. Valor actual neto (VAN) .....	53
3.8.2. Tasa interna de retorno (TIR).....	54
3.8.3. Beneficio – Costo (B/C).....	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
V. CONCLUSIONES .....	82
VI. RECOMENDACIONES.....	84
VII. RESUMEN.....	85
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	87
IX. ANEXO .....	100

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Promedio de carbono capturado por el sistema agroforestal de cacao, guaba y bolaina en tres edades en la provincia de Leoncio Prado, 2007 .....	40
2. Distribución de las cantidades de carbono almacenado total en los diferentes sistemas evaluados ( $t\ ha^{-1}$ ) en la edad de 5 años.....	40
3. Estimación de carbono almacenado en los componentes aéreos (arbórea, arbustiva y hojarasca) en sistemas evaluados en tres edades.....	57
4. Estimación de almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal en el SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en tres edades ...	62
5. Resumen estadístico de regresión para el carbono de la biomasa vegetal.....	69
6. Carbono almacenado en la biomasa aérea, suelo y total en un sistema agroforestal cacao + laurel comparado con un bosque secundario en tres edades, mediante la prueba de T.....	73
7. Resumen estadístico de regresión para el carbono total (biomasa vegetal + suelo) .....	77
8. Indicadores de rentabilidad económica.....	79

9. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Parcela o transecto A: 6 m x 100 m.....	101
10. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Parcela o transecto B: 6 m x 100 m.....	103
11. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Parcela o transecto C: 6 m x 100 m.....	105
12. Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m ...	107
13. Determinación de la biomasa de la hojarasca del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m .....	107
14. Determinación del carbono almacenado en el suelo del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.....	108
15. Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.....	108
16. Carbono almacenado total en el SUT del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años .....	108
17. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Parcela o transecto A: 6 m x 100 m.....	109

18. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Parcela o transecto B: 6 m x 100 m.....	111
19. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Parcela o transecto C: 6 m x 100 m.....	113
20. Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m..	115
21. Determinación de la biomasa de la hojarasca del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m.....	115
22. Determinación del carbono almacenado en el suelo del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.....	116
23. Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.....	116
24. Carbono almacenado total en el SUT del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.....	116
25. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Parcela o transecto A: 6 m x 100 m.....	117
26. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Parcela o transecto B: 6 m x 100 m.....	119

27. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Parcela o transecto C: 6 m x 100 m.....	121
28. Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m..	123
29. Determinación de la biomasa de la hojarasca del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m .....	123
30. Determinación del carbono almacenado en el suelo del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.....	124
31. Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.....	124
32. Carbono almacenado total en el SUT del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años .....	124
33. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 9 años. Parcela o transecto A: 4 m x 25 m ..	125
34. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 9 años. Parcela o transecto B: 4 m x 25 m ..	126
35. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 9 años. Parcela o transecto C: 4 m x 25 m..	127
36. Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del bosque secundario en la edad de 9 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.....	128
37. Determinación de la biomasa de la hojarasca del bosque secundario en la edad de 9 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m .....	128

38. Determinación del carbono almacenado en el suelo del bosque secundario en la edad de 9 años.....	129
39. Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del bosque secundario en la edad de 9 años .....	129
40. Carbono almacenado total en el SUT del bosque secundario en la edad de 9 años.....	129
41. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 10 años. Parcela o transecto A: 4 m x 25 m	130
42. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 10 años. Parcela o transecto B: 4 m x 25 m	131
43. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 10 años. Parcela o transecto C: 4 m x 25 m	132
44. Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del bosque secundario en la edad de 10 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.....	133
45. Determinación de la biomasa de la hojarasca del bosque secundario en la edad de 10 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m .....	133
46. Determinación del carbono almacenado en el suelo del bosque secundario en la edad de 10 años.....	134
47. Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del bosque secundario en la edad de 10 años .....	134
48. Carbono almacenado total en el SUT del bosque secundario en la edad de 10 años .....	134
49. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 11 años. Parcela o transecto A: 4 m x 25 m	135

50. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 11 años. Parcela o transecto B: 4 m x 25 m	136
51. Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 11 años. Parcela o transecto C: 4 m x 25 m	137
52. Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del bosque secundario en la edad de 11 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.....	138
53. Determinación de la biomasa de la hojarasca del bosque secundario en la edad de 11 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m .....	138
54. Determinación del carbono almacenado en el suelo del bosque secundario en la edad de 11 años.....	138
55. Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del bosque secundario en la edad de 11 años.....	139
56. Carbono almacenado total en el SUT del bosque secundario en la edad de 11 años.....	139
57. Análisis de varianza del almacenamiento de carbono total (biomasa aérea + suelo) en un sistema agroforestal cacao + laurel comparado con un bosque secundario en tres edades.....	139
58. Prueba de T (comparación de medias) en un sistema agroforestal cacao + laurel vs. un bosque secundario para las tres edades .....	140
59. Costos de producción para el sistema agroforestal cacao + laurel en 1 hectárea a un distanciamiento de 3 x 3 m .....	141
60. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal cacao + laurel .....	143

61. Proyección económica del laurel a partir de los quince años en un SAF de cacao .....	143
62. Costos de producción para el bosque secundario en 1 hectárea .....	144
63. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del bosque secundario .....	144

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Detalle de parcelas con sus tres transectos internos.....	43
2. Diseño de las aéreas para la evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal.....	44
3. Diseño de las aéreas para la evaluación de biomasa arbórea viva y biomasa arbustiva y herbácea .....	45
4. Cuadrantes de 1 m x 1 m para material herbáceo, arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5 m x 0.5 m para hojarasca .....	46
5. Estimación de almacenamiento de carbono en los diferentes componentes evaluados del SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en tres edades.....	60
6. Promedio de carbono almacenado en la biomasa vegetal y flujo de carbono en el SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en tres edades.....	68
7. Regresión polinómica de almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal.....	70
8. Regresión polinómica de almacenamiento de carbono total (biomasa vegetal + suelo) .....	77
9. Delimitación del área en estudio del SAF cacao + laurel.....	145
10. Midición del DAP del SAF laurel (izquierda), cacao (centro) y bosque secundario (derecha).....	145

11. Determinación de la biomasa de plantas arbustivas y herbáceas .....	146
12. Determinación de la biomasa seca (hojarasca) .....	146
13. Determinación de los horizontes del SAF de 9 y 11 años y, cálculo de la densidad aparente .....	147
14. Determinación de los horizontes del bosque secundario de 9 y 11 años y, cálculo de la densidad aparente .....	147

## I. INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es uno de los gases de efecto invernadero más importantes producido por las actividades humanas, una de las cuales es la deforestación. En los últimos 150 años, esta forma de utilizar los recursos naturales ha contribuido en forma muy significativa al aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de la tierra. Actualmente, cerca de un 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> resultan de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales. La detención de la deforestación y la reversión a través de la reforestación y manejo sustentable, implica recapturar el CO<sub>2</sub>, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global (SCHLEGEL, 2001).

Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es secuestrándolo, fijándolo o capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. El primer caso se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

Dentro de este contexto, la estimación adecuada de la biomasa de un sistema agroforestal y bosque secundario, constituye el elemento de gran importancia debido a que permite determinar las cantidades de carbono existentes en cada uno de estos sistemas, y así poder determinar la cantidad potencial de carbono que puede ser fijado en una determinada superficie.

La selva peruana presenta una gran diversidad genética y el cacao es particularmente uno de los cultivos con mayor potencial que bien podría

aprovecharse con técnicas sencillas por parte de los productores y asociar a diferentes sistemas forestales. Los sistemas agroforestales constituyen una alternativa estable de uso de suelo. Tales sistemas mejoran la eficiencia y procuran un mayor bienestar a los productores y agricultores. La consolidación del desarrollo basado en la productividad agrícola y la sostenibilidad ecológica, ha movido el interés de organismos financieros y de instituciones donantes por auspiciar proyectos cuyos objetivos primordiales sean la preservación de la biodiversidad, la promoción de sistemas alternativos de producción agrícola (sistemas agroforestales) y de otros usos que lleven a la utilización integral de los recursos naturales.

La importancia del presente trabajo de investigación radica en que los sistemas agroforestales con cacao ofrecen mayores ventajas comparativas, económicas en relación a otros usos del suelo como el caso de los bosques secundarios, siendo los sistemas agroforestales los que constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en la zona de Tingo María no sólo por los ingresos económicos que genera al núcleo familiar, sino también por su contribución en la conservación de biodiversidad y últimamente, por su función como sumideros de carbono; en tal sentido se plantea como hipótesis de que los sistemas agroforestales con cacao ofrecen mayores ventajas comparativas en relación a los sistemas de uso de la tierra, ingresos económicos, contribuye a la conservación de la biodiversidad y almacena carbono en mayor proporción que los bosques secundarios.

Considerando lo antes mencionado se ha planteado el presente trabajo, cuyos objetivos son los siguientes:

- a. Comparar el contenido de carbono almacenado en los diferentes componentes del SAF cacao + laurel *Cordia alliodora* y bosque secundario de las mismas edades.
- b. Comparar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea entre el SAF cacao + laurel *Cordia alliodora* y bosque secundario en tres edades.
- c. Realizar una comparación de estimación de carbono total almacenado en un SAF cacao + laurel *Cordia alliodora* versus un bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años.
- d. Determinar la valoración económica del SAF con cacao y bosque secundario.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Condiciones edafo - climáticas para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

MINAG (2004), asevera que el crecimiento, desarrollo y la buena producción del cacao están estrechamente relacionados con las condiciones medio ambientales de la zona donde se cultiva. Es por ello que 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 y que su periodo vegetativo como la época de floración, brotamiento y cosecha está regulado por el clima.

Sobre la temperatura menciona que es un factor de mucha importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cultivo de cacao. El efecto de temperaturas bajas se manifiesta en la velocidad de crecimiento vegetativo, desarrollo de fruto y en grado en la intensidad de floración. Así mismo, controla la actividad de las raíces y de los brotes de la planta. Donde la temperatura para el cultivo de cacao debe estar entre los valores siguientes: mínima de 23°C, máxima de 32°C y óptima de 25°C.

En cuanto a la altitud señala que 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 1000 a 1400 msnm.

En cuanto a la luminosidad hace referencia a 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 aún cuando la planta este a plena exposición solar, por eso es recomendable la siembra de otras plantas para hacer sombra, debido a que las plantaciones jóvenes de cacao son afectadas por la acción directa de los rayos solares.

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

### **2.1.1 Exigencias del suelo**

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

### **2.1.2. 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 cuando se encuentra en altitudes no mayores de 900 msnm, así como en ecosistemas donde las temperaturas no sean menores de 22°C, aquellos lugares donde la radiación solar no sea del 100% sino que exista sombra, en la cual se utilicen árboles forestales de diferentes especies como pacaé, guaba y plátano como sombra temporal, estos árboles agroforestales nos brindan varios servicios ambientales como la captura de carbono o el secuestro de carbono, asimismo el ciclo cerrado de nutrientes generando una gran cantidad de biomasa, de 250 kg ha<sup>-1</sup>. 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 las hojarasca, humus y materia orgánica (Andrade y Segura, 2005, citados por ZAVALA, 2007).

### **2.2. Ecología y botánica del laurel (*Cordia alliodora* R.)**

El laurel (*Cordia alliodora*) es una especie nativa de América tropical que se distribuye desde los 25° de latitud Norte en la costa del Pacífico en México, hasta los 25° Sur en Argentina (JOHNSON y MORALES, 1972). En

la vertiente Atlántica de América Central, el laurel crece desde el nivel del mar hasta 800 m de altitud y hasta 1200 m en la vertiente del Pacífico (BOSHIER y MESÉN, 1989). El laurel alcanza su máximo desarrollo en el bosque húmedo tropical y muy húmedo tropical; con precipitaciones mayores de 2000 mm anuales, aunque puede crecer en zonas secas con alrededor de 1000 mm anuales. El laurel es típico del bosque secundario y se establece rápidamente en terrenos abiertos; tiene madera de alta calidad para ebanistería, siendo una de las de mayor importancia económica (CORDERO *et al.*, 2003).

El laurel presenta un crecimiento inicial en altura muy rápido, con tasas de hasta 3 m año<sup>-1</sup> durante los primeros 5 años de edad en sitios óptimos. En condiciones menos favorables, los incrementos medios anuales son aproximadamente 1.5 m en altura y 1.4 cm de dap (diámetro a la altura del pecho).

LAMA (2002), menciona que la proyección económica del laurel es a partir de quince años, donde:

1 árbol de laurel = 1.5 m<sup>3</sup> x 420 pies tablares = 630 pies

630 pies tablares árbol<sup>-1</sup> x S/.1.7 = S/.1071 árbol<sup>-1</sup> = \$.306 árbol<sup>-1</sup>

514000 árboles x \$.306 = \$.157 284000

Si un agricultor siembra una hectárea

100 árboles ha<sup>-1</sup> x \$.306 árbol<sup>-1</sup> = \$.30600 x 3.5 = S/.107100.00

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

Según el *International Council for Research in Agroforestry* (ICRAF 2002) "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).

### **2.3.1. El laurel en sistema agroforestal (SAF)**

El laurel tiene características apropiadas como árbol de sombra de cacao (*Theobroma cacao*); es de fuste recto y delgado de 15-30 m, con mínima bifurcación, de copa angosta, rala, abierta y notoria capacidad de autopoda, se puede propagar por pseudoestacas (GRAVES y MCCARTER 1990; BOSHIER y LAMB, 1997; CALVO y MELÉNDEZ, 1999). En la zona de Talamanca (Costa Rica) y Bocas del Toro (Panamá), el laurel regenera profusamente en los cacaotales, constituyéndose en una de las especies principales del dosel de sombra (SOMARRIBA 1994; SOMARRIBA *et al.*, 2003).

El manejo del asocio cacao-laurel no está orientado exclusivamente a favorecer la producción de cacao más bien se busca un balance que permita la producción rentable de cacao y madera (SOMARRIBA *et al.*, 1996). El ingreso por producción de cacao y venta de madera es un aspecto que el agricultor tiene en cuenta al seleccionar las especies para sombra, los análisis financieros favorecen el uso de maderables como sombra de cacao (SOMARRIBA y BEER, 1999).

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

En principio, la capacidad de secuestrar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el 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. (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

### **2.3.3. Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono**

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). En algunos casos, el carbono acumulado en estos sistemas es similar a aquellos encontrados en bosques secundarios, en este contexto son una opción para almacenar carbono (MONTENEGRO y ABARCA, 1999).

## 2.4. Bosque secundario

Según FINEGAN (1992), el bosque secundario es aquella masa vegetal leñosa que se desarrolla en tierras abandonadas después de que su vegetación original fue destruida por la actividad humana y que después se regenera en forma rápida, hasta formar un bosque.

Los bosques secundarios en la actualidad ha tomado interés en la investigación, debido a que son vegetación leñosa que se establece luego que el suelo ha sido abandonado por acción de la agricultura migratoria (TCA, 1999), en su mayoría pasan por varias fase de sucesión vegetal, llamado en las zonas como "purmas" o "barbecho" (BUENDIA, 1996).

La cantidad de biomasa acumulada por el crecimiento de los árboles en los bosques disminuye gradualmente conforme aumenta la edad del bosque, y por lo tanto, su potencial de secuestro de carbono también disminuye. Sin embargo, esto no quiere decir que los bosques en los diferentes periodos de crecimiento no fijen carbono. Esta variabilidad que muestran los bosques naturales con respecto a las características de captura y almacenamiento de dióxido de carbono sirve de base para diseñar diferentes alternativas de manejo de bosques naturales y de ecosistemas forestales para que contribuyan al almacenamiento o no a la emisión de CO<sub>2</sub> (FINEGAN 1997 y KYRKLUND, 1990).

ANDERSON y SPENCER (1991), mencionan que la velocidad que en los bosques secundarios el secuestro de carbono varía grandemente. SMITH *et al.*, (1997), menciona que la producción de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono por la plantas es determinada por las zonas de

vida, los sitios, las especies y la etapa de desarrollo en que se encuentren, el manejo (por ejemplo, periodo de rotación para plantaciones forestales).

HERRERA y ALVARADO (1998), mencionan que los factores de sitio son las variables ambientales que determinan la calidad del terreno y el potencial productivo del sitio para un determinado cultivo o sea agrícola o forestal, pues permite estimar la productividad, por ejemplo, cantidad de biomasa.

MORAN *et al.*, (2000), indican que las características físicas y químicas del suelo de cada sitio también influyen en la tasa de regeneración del bosque. También hace referencia que la disponibilidad de los nutrientes, la presencia o ausencia de elementos tóxicos, la permeabilidad, la presencia de capas compactadas, la profundidad, entre otros factores.

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

### **2.5.1. Dióxido de carbono**

Es fundamental en el equilibrio gaseoso, una parte de él 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).

LOPEZ (1998), menciona que 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, la lignina y celulosa están conformadas en 49% de carbono, 2.2 t que son capaces de generar 1t de carbono.

### **2.5.2. Efecto invernadero**

CENTRO HADLEY (2002), sostiene que el efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol. Como resultado del efecto invernadero, la tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta.

BATET y ROVIRA (2002) manifiestan que la atmósfera recibe la radiación procedente del sol y emite longitudes de onda diferentes: radiación ultravioleta (absorbida, en parte, por el ozono estratosférico antes de que llegue a la superficie terrestre), radiación visible que pasa a través de la atmósfera y recibimos en la superficie terrestre como luz, y la radiación infrarroja que cruza la atmósfera y recibimos en forma de calor. Los rayos infrarrojos son absorbidos principalmente por el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua de la atmósfera. De la radiación que llega a la superficie terrestre, una parte se retiene y la otra se reemite a la atmósfera en forma de calor. Este calor es captado de nuevo, por el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua atmosférico, generando el denominado efecto invernadero.

ANDRASKO (1990) y PNUD (1997), manifiestan que los principales gases producto de la actividad humana, que contribuyen a la amplificación del efecto invernadero, son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de

agua ( $H_2O$ ), el metano ( $CH_4$ ), los óxidos nitrosos ( $N_2O$ ), los cloro- fluro- carbonados (CFCS), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO) y el ozono troposférico ( $O_3$ ).

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

BATET y ROVIRA (2002), afirman que la principal causa del cambio climático global es la emisión de gases provenientes de la combustión de fuentes de energía fósil (petróleo, carbón, gas, entre otros), desde el inicio de la era industrial (1850), donde las emisiones antropogénicas han aumentado considerablemente la concentración de  $CO_2$  en el aire. Hoy en día, los combustibles fósiles son la principal fuente energética y aportan el 80% de la energía consumida en el mundo. Siendo el balance anual neto de emisiones a la atmósfera de 3000 millones de toneladas/año (considerando las absorciones por los sumideros naturales tal como los bosques, otra vegetación y mares.

El IPCC (2001) afirma que con el inicio de la revolución industrial, la concentración de los GEI de la atmósfera mostró los siguientes incrementos: dióxido de carbono ( $CO_2$ ), 31%; metano ( $CH_4$ ), 15%, y óxidos de nitrógeno ( $N_2O$ ), 17%.

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

SALISBURY (1999), manifiesta que en 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 la denomina vía de los tres carbonos o  $C_3$ . 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.

También señala que 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.

#### **a. Carbono almacenado**

SEGURA (1997), menciona que 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. 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  $t\ C\ ha^{-1}$ .

#### **b. Carbono fijado**

SEGURA (1997), 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  $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$ .

### **2.7. Fijación de carbono por las hojarascas**

FASSBENDER (1993), menciona que la vegetación muerta situada por encima del suelo esta constituida por restos de tallos, ramas, hojas, flores y frutos, principalmente. Al depositarse estos sobre la superficie del suelo, conforman la hojarasca o bien la capa de mantillo y al mismo tiempo comienza los procesos de descomposición mediante la mineralización y la humificación.

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

CERRI *et al.*, (1985), menciona que 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).

CAMBARDELLA (1998), manifiesta que 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 microagregados 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.

El suelo almacena cantidades considerables de carbono; las prácticas que promueven un aumento del carbono orgánico en el suelo también pueden tener un efecto positivo de fijación de carbono (Stuar y Moura Costa, 2000; citados por MARQUEZ, 2000).

CATRIONA (1998) manifiesta que en los bosques tropicales, los sumideros de carbono en el suelo varían entre 60 y 115 t C ha<sup>-1</sup>. El IPCC (2000) indica que el carbono del suelo por si solo representa más que el carbono de la biomasa forestal. Tales proporciones de carbono en el suelo dependen de la zona climática; con el máximo de carbono del suelo en las áreas frías boreales y templadas, y mínimo en las áreas tropicales (IPCC, 2000; MARQUEZ, 2000 y FONAM, 2005).

## **2.9. Valorización económica de la fijación de carbono**

El valor económico de los bosques por el servicio ambiental de captura de GEI, depende directamente de su capacidad de absorber una determinada cantidad de CO<sub>2</sub> al año. Conocer la capacidad real de absorción de CO<sub>2</sub> en los diferentes tipos de bosques es de vital importancia, a fin de asegurar que la valoración del bosque sea exacta (FAO, 1998).

CHAMBI (2001), señala que en un estudio realizado sobre valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del río Inambari en Madre de Dios, asume el valor económico del secuestro de carbono obtenido sobre la base del cálculo de biomasa, teniendo en cuenta factores de regeneración, reforestación y deforestación de bosques y considerando tres escenarios de precios US\$ 20.00, 10.00 y 3.00/t C. El precio pagado por el servicio de fijación de carbono en los sistemas de producción será más alto en los lugares en los cuales el riesgo potencial de pérdida sea menor (FAO, 1998).

SANTANA (2005), menciona que el análisis económico se ejecuta utilizando datos de las actividades del productor, en el aspecto socioeconómico, uso de tierra actual o historia del área, los costos de producción de productos Sistemas agroforestales y bosque secundario e insumos y los efectos ambientales del sistema así como los temas adicionales, aspectos técnicos, económicos, potencialidades, mercado y comercialización, costos de mano de obra familiar, transporte, comercialización, apoyo financiero y precio. Los costos obtenidos fueron colocados en la tabla de los costos de producción de los sistemas (costos de cultivo, costo especial, costos

generales), que fueron contrastadas con las producciones por cultivo y precio con la finalidad de obtener finalmente los análisis económicos de los sistemas (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), Relación beneficio costo (R b/c) y análisis de sensibilidad. Los sistemas de uso de la tierra seleccionados fueron el Sistema agroforestal cacao + laurel y bosque secundario. El valor económico se obtiene sumando todos los ingresos de los sistemas de uso de la tierra. Los datos encontrados determinarán el presupuesto unitario por hectárea de cultivo agrícola considerándose entradas (ingresos) y salidas (costos con inversión, gastos con operaciones). La tasa de descuento utilizada es de 14% al año por ser la tasa usada financieramente en el Perú.

También señala que el análisis de sensibilidad se determina con las formulas de la TIR para simular una alteración "C" con costos y "D" en los ingresos. Se prueba la variación de la TIR cuando el costo de producción sufre un aumento del 10% o si el precio del producto cae un 10%, para analizar el grado de sensibilidad de los sistemas estudiados con esos cambios.

#### **2.10. Reportes de trabajo de investigación en la fijación de carbono en cacao bajo un sistema agroforestal y bosques secundarios**

El trabajo de investigación se realizó en el departamento de San Martín, Perú. En este estudio se evaluó la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el propósito de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. El estudio se realizó en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín (provincias de 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 01 hasta 22 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26.2 t C ha<sup>-1</sup> para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C ha<sup>-1</sup> del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t ha<sup>-1</sup> hasta 35.5 t ha<sup>-1</sup>, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha<sup>-1</sup> hasta 9.97 t ha<sup>-1</sup>; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha<sup>-1</sup>. 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).

ORTIZ y RIASCOS (2006), realizaron una investigación en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. Universidad de Nariño. En 25 años, los sistemas laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C ha<sup>-1</sup>; 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<sup>-1</sup> en cacaotales arbolados en loma y valle (Segura, 2005). (Albrecht y Kandji,

2003, citados por ORTIZ y RIASCOS 2006) reportan almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica (39-102 t C ha<sup>-1</sup>). En cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono de entre 10.6 y 12.6 t C ha<sup>-1</sup> a los 4 y 10 años de edad, respectivamente (ÁVILA *et al.*, 2001). Los sistemas cacao-laurel fijaron entre 1.7 y 2.5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en 25 años. Segura 2005, citado por ORTIZ y RIASCOS (2006) encontró tasas de acumulación de carbono muy similares (2.1 y 2.8 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) en cacaotales con 100-150 árboles ha<sup>-1</sup> en Talamanca. La máxima tasa de acumulación de carbono se presentó en el cuarto año, con un ICA de entre 4.2 y 6.4 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para espaciamientos de 12 × 12 m en valle y 6 × 6 m en loma, respectivamente. En Caldas, Colombia se estimó que el laurel (200 árboles ha<sup>-1</sup>) en cacaotales fija 3.3 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y alcanza un total de 49.4 t C ha<sup>-1</sup> de carbono a los 15 años de edad (Aristizábal y Guerra, 2002 citados por ORTIZ y RIASCOS 2006). Los sistemas agroforestales con cacao y laurel en Changuinola, Panamá, almacenaron entre 43-62 t C ha<sup>-1</sup> en 25 años, lo que equivale a 1.7-2.5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. 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.

ARCE *et al.*, (2006), realizaron estudios sobre la existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. El SAF con cacao acumuló más carbono que los demás sistemas, superando en 52 y 55% a los SAF con banano y charrales (36.5, 24.0 y 23.5 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Esto se debió

principalmente a que los SAF con cacao tuvieron la mayor densidad de plantas con dap  $\geq 10$  cm (668, 264 y 123 árboles  $\text{ha}^{-1}$  en SAF con cacao, charrales y SAF con banano, respectivamente). En promedio, las fincas ubicadas en el valle almacenaron un 30% más de biomasa y carbono que las fincas ubicadas en lomas, lo cual concuerda con una mayor densidad arbórea en el valle (21% más que en ladera). Los charrales y los SAF con banano almacenaron más carbono en el valle que en las lomas. Esto contrasta con una mayor existencia de carbono en SAF con cacao en lomas en comparación a los encontrados en valle. El carbono almacenado en los diferentes usos de la tierra fue similar en todas las comunidades (20–40 t C  $\text{ha}^{-1}$ ), excepto en San Vicente, donde se reportó casi 50 t C  $\text{ha}^{-1}$ , debido a que en esta comunidad la mayoría de las plantaciones de cacao fueron viejas y presentaron árboles grandes de cacao. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Segura (2005) citado por ARCE *et al.*, (2006), en la misma área de estudio, con un promedio de 42.1, 27.7 y 20.3 t C  $\text{ha}^{-1}$  para SAF con cacao, charrales y SAF con banano, respectivamente. En contraste, los SAF con cacao de Talamanca almacenaron menos carbono que cafetales de Chiapas, México (87 t C  $\text{ha}^{-1}$ ). El almacenamiento de carbono en el SAF con banano y charrales en las fincas de Talamanca fue mayor a lo reportado por (De Jong *et al.*, 1997, citado por ARCE *et al.*, 2006), para árboles dispersos en pastos y charrales (8.2 y 12.5 t C  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente). En Talamanca, los árboles maderables de sombra de los cacaotales almacenan, en promedio, el 38% del carbono total de la biomasa arriba del suelo. *Cordia alliodora* es la especie que más carbono almacena (32%), debido a su abundancia. En Talamanca, los árboles maderables aportan

menos carbono al SAF cacao que en otros estudios, debido a las bajas densidades con las que se manejan. *C. alliodora*, a una densidad de 47 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , acumuló  $11.5 \text{ t C ha}^{-1}$ , mientras que *C. odorata* acumuló solo  $1.3 \text{ t C ha}^{-1}$  con una densidad de 2 árboles  $\text{ha}^{-1}$  en cacaotales. A pesar de no ser una especie maderable, el cacao acumuló el 19% del carbono en biomasa arriba del suelo  $7 \text{ t C ha}^{-1}$ . En cafetales de tres zonas de Costa Rica y con sombra de maderables, los árboles de *C. alliodora*, *Terminalia amazonia* y *Eucalyptus deglupta* almacenaron 39, 32 y  $14 \text{ t C ha}^{-1}$ , respectivamente, con una densidad entre 78-373 árboles  $\text{ha}^{-1}$  (Dzib y Castillo, 2003, citados por ARCE *et al.*, 2006).

FONSECA *et al.*, (2006), realizaron estudios en la acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. Los bosques secundarios almacenaron un total de  $154.9 \text{ t C ha}^{-1}$  a los 18 años de edad. La biomasa total de los bosques secundarios pasó de  $28.9 \text{ t ha}^{-1}$  a los 5 años a  $67.9 \text{ t ha}^{-1}$  a los 18 años, lo cual representa una tasa de fijación promedio de  $3.0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Hughes *et al.*, 1999, citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron una biomasa promedio de  $272.1 \text{ t ha}^{-1}$  a los 16 años de edad. Corrales 1998, citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontró  $162.1 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa en bosques secundarios de 15 años y  $324.1 \text{ t ha}^{-1}$  en bosques primarios en climas húmedos y muy húmedos de Costa Rica. El suelo almacenó el 86% del carbono total del sistema, pasando de  $73.0 \text{ t C ha}^{-1}$  en la línea base (pastura) a  $125.3 \text{ t C ha}^{-1}$  a los 18 años. CIFUENTES *et al.*, (2004), encontraron existencias de carbono orgánico del suelo de  $93.5 \text{ t C ha}^{-1}$ , con

valores similares entre bosques primarios y secundarios. Feldpausch *et al.*, 2004 citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron una tasa de acumulación de carbono en el suelo de 42 a 84 t C ha<sup>-1</sup> hasta 45 cm de profundidad en bosques secundarios de 12 a 14 años. Valero 2004, citado por FONSECA *et al.*, (2006), indica que la acumulación de carbono en la biomasa es más rápida que en el suelo, pero en el suelo la estabilidad es mayor. Los fustes de los bosques secundarios contuvieron el 7% del carbono total y el 41% del carbono almacenado en la biomasa (9.6 t ha<sup>-1</sup>). La vegetación herbácea, la necromasa fina y gruesa, las ramas, hojas y raíces fueron los componentes que almacenaron la menor cantidad de carbono, variando de 0.85 t C ha<sup>-1</sup> en raíces finas a 3.2 t C ha<sup>-1</sup> en ramas y raíces gruesas (< 2.8% del carbono total por cada uno). La biomasa aérea y la necromasa almacenaron el 14% del carbono total del sistema (18.4 t C ha<sup>-1</sup>). BROWN y LUGO (1992), reportan entre 2.6 y 3.8 t C ha<sup>-1</sup> de necromasa en bosques primarios y mientras que Delaney *et al.*, (1997), encontraron entre 2.4 y 5.2 t C ha<sup>-1</sup>. Tanner (1980), reportó de 3.8 a 6.0 t C ha<sup>-1</sup> de necromasa en bosques de Jamaica; Raich (1983), encontró 0.7 t C ha<sup>-1</sup> de necromasa en un bosque secundario en Costa Rica; Schroeder y Winjum (1995), encontraron que la hojarasca representa apenas 5-6% del C total en bosques naturales en Brasil y en Venezuela reportan entre 2.2 y 7.8%. Delaney *et al.*, (1997), todos los mencionados citados por FONSECA *et al.*, (2006). La biomasa en los árboles, arbustos y necromasa aumentó con la edad de la sucesión, no así la biomasa de la vegetación herbácea que rápidamente se estabilizó y aun decreció con la edad del bosque o plantación forestal. La

necromasa gruesa se incrementó de 0.6 t ha<sup>-1</sup> a los 5 años a 2.6 t ha<sup>-1</sup> a los 18 años; mientras que la necromasa fina se redujo de 3.1 a 6.6 t ha<sup>-1</sup> y la vegetación herbácea disminuyó de 2.9 a 2.2 t ha<sup>-1</sup> en el mismo período. La necromasa fina se incrementó debido posiblemente a incrementos en la densidad de las plantas y a la mortalidad de plantas pioneras de vida corta, como las hierbas de la familia Piperaceae. El crecimiento de la vegetación causa el cierre del dosel, disminuyendo la radiación al estrato bajo y eliminando la vegetación herbácea. Herrera *et al.*, (2001) citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron resultados similares en Colombia, con un incremento exponencial de la necromasa y una disminución exponencial negativa en la vegetación herbácea y leñosa pequeña conforme avanza la edad. La biomasa abajo del suelo (raíces) representó el 18% de la biomasa total (9.1 t ha<sup>-1</sup>) y se incrementó con la edad de la sucesión, pasando de los 5.5 a 11.7 t ha<sup>-1</sup> entre los 5 y 18 años, respectivamente. Resultados similares han sido encontrados por otros autores (Hertel *et al.*, 2003, Jiménez y Arias, 2004, citados por FONSECA *et al.*, (2006).

HERRERA (2010), realizó su trabajo de investigación sobre la “estimación de la biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado”.

**Cuadro 1.** Promedio de carbono capturado por el sistema agroforestal de cacao, guaba y bolaina en tres edades en la provincia de Leoncio Prado, 2007.

Edad del cultivo	Carbono en la biomasa aérea	Carbono en el suelo	Total SAF (t C ha <sup>-1</sup> )
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)

VIENA (2010), realizó su trabajo de investigación sobre la estimación y valoración de las reservas de carbono del cacao en tres sistemas de uso de la tierra.

**Cuadro 2.** Distribución de las cantidades de carbono almacenado total en los diferentes sistemas evaluados (t ha<sup>-1</sup>) en la edad de 5 años.

	Carbono			
	Cacao	Pasto	Purma	Suelo degradado
Biomasa aérea	105.78	9.58	35.26	11.77
Suelo	19.95	9.25	30.24	12.68
Total C	125.74	18.84	65.51	24.45

Fuente: Viena (2010)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Tingo María y alrededores, específicamente en el distrito de Daniel Alomía Robles - Pumahuasi (Huamancoto), distrito de Padre Luyando – km 51 (Ricardo Palma), distrito de Rupa Rupa - Supte San Jorge, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Aproximadamente 20 km de la localidad de Tingo María, en la vía Tingo María-Pucallpa.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Según HOLDRIDGE (1982), Tingo María se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosques muy húmedo premontano sub-tropical (bmh - PST). La latitud sur es de 9° 19' 6.8" y la longitud oeste de 75° 59' 43.5". Las coordenadas UTM en el eje X es 395621 y en el eje Y es 8986633. La altitud es de 660 msnm. y los rangos del área en estudio son: E = 390846 a 394554 y N = 8970664 a 8986088.

Plantación agroforestal (Pumahuasi)	391055 E	8973678 N
Bosque secundario (km – 51)	392441 E	8986088 N
Bosque secundario (Supte San Jorge)	394554 E	8972501 N
Bosque secundario (BRUNAS)	390846 E	8970664 N

### **3.1.3. Clima**

La temperatura promedio es de 24°C y una precipitación media anual de 3200 mm. (Estación meteorológica José Abelardo Quiñones. Facultad de Recursos Naturales Renovables 2006).

## **3.2. Equipos y materiales**

### **3.2.1. Equipos**

- GPS Garmin MAP 60 CSx, cámara fotográfica Samsung S760, estufa y balanza analítica Citizen C T 3000 H.

### **3.2.2. Materiales**

- Wincha de 50 m, 2 machetes, jalones o estacas, rafia, 2 cintas métricas, libreta de campo, lapiceros, 3 plumones indelebles, marco de madera de 1 m x 1 m, y de 0.5 m x 0.5 m, 1 ciento y medio de bolsas de plástico de 18 x 26, costales de polietileno de 50 kg, 1 ciento de bolsas de plástico de polipropileno de 1 kg y 2 cientos de hoja periódico.

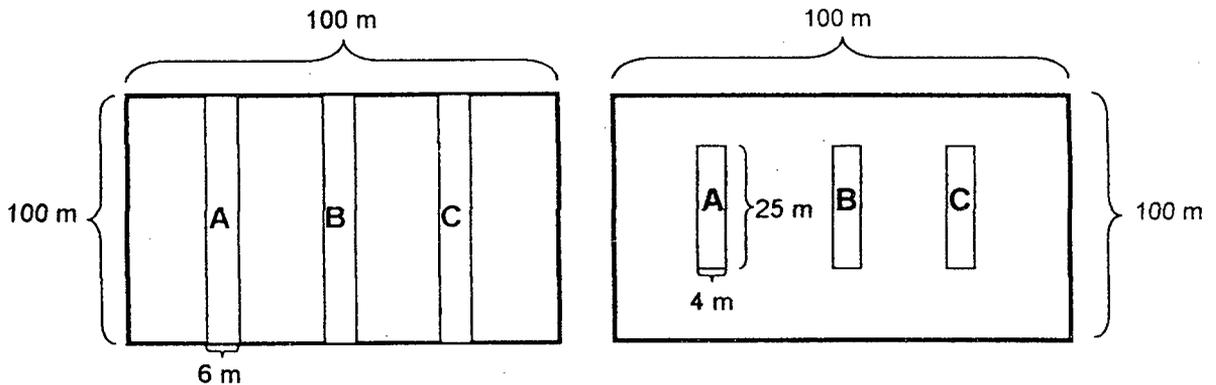
## **3.3. Metodología**

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

Se ubicaron dos sistemas: cultivo de cacao injerto (CCN-51) bajo un sistema agroforestal (laurel) y un bosque secundario para la determinación de almacenamiento de carbono, en las edades de 9,10 y 11 años para ambos sistemas.

Para cada edad las parcelas fueron de 1 hectárea cada una y se procedió a delimitarlas, dentro de cada parcela se formaron 3 transectos (A, B,

y C), cuyas dimensiones de cada transecto fueron de 6 x 100 m y 4 x 25 m (según el DAP), para las evaluaciones de biomasa aérea y muestreo de suelo.



**Figura 1.** Detalle de parcelas con sus tres transectos internos.

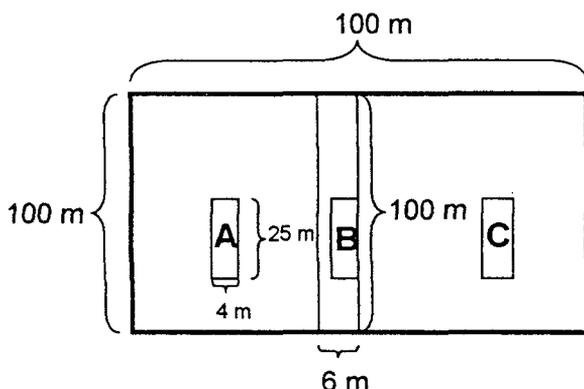
### 3.3.2. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico

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

#### a. Biomasa arbórea viva

Para evaluar la biomasa (tronco, ramas, hojas) 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 dap de 2,5 cm hasta 30 cm, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP), donde el diámetro basal, para el caso del cacao, se tomó a 30 cm desde el suelo (ALEGRE, 2002), mientras que para el componente forestal (laurel) y bosque secundario se evaluó el diámetro a 1,30 cm del suelo, de todos los árboles con 2.5 hasta 30

cm de DAP. Para el caso donde se encontraron árboles que superaron los 30 cm de dap, como fue para cacao bajo un sistema agroforestal se extrapola una parcela de 6 m x 100 m, superpuesta a la primera (4 m x 25 m) y en el sistema de bosque secundario sólo se trazaron transectos de 4 m x 25 m.

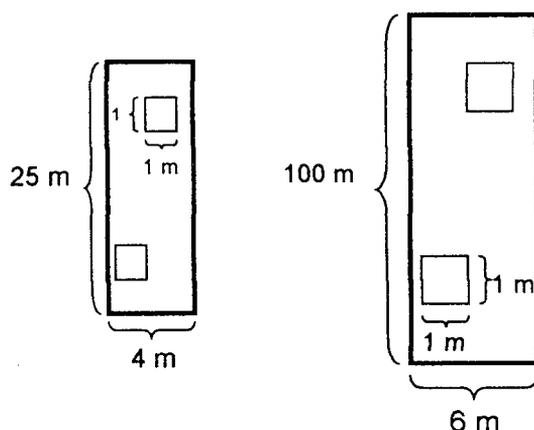


**Figura 2.** Diseño de las áreas para la evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal.

### **b. Biomasa arbustiva y herbácea**

La biomasa arbustiva (BA<sub>b</sub>) y herbácea (H<sub>bh</sub>), esta compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. Se realizó la recolección de muestras de material arbustivo y herbáceo conformado por arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. La toma de muestras se efectuó por muestreo directo con dos cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidos al azar dentro de los transectos de 4 m x 25 m y 6 m x 100 m.

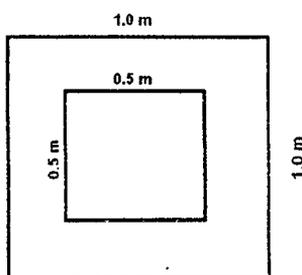
Se cortó toda la vegetación al nivel del suelo, se pesó el total de la muestra y luego se sacó una submuestra en bolsas de papel periódico y se colocó en una estufa de aire caliente a 75°C durante 24 horas hasta que se obtuvo peso seco constante.



**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 0.5 m x 0.5 m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1 m x 1 m (Figura 4). Se colocó toda la hojarasca en bolsas, registrándose su 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.** Cuadrantes de 1 m x 1 m para material herbáceo, arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5 m x 0.5 m para hojarasca.

**d. Biomasa de árboles muertos en pie**

En las áreas de 4 m x 25 m y 6 m x 100 m de acuerdo con el dap de los árboles, se evaluó en forma similar que para la estimación de biomasa arbórea viva.

**e. Muestreo de suelos y medición de la densidad aparente**

Se abrió una calicata de 1 m de profundidad en uno de los cuadrantes delimitados para el muestreo de la biomasa herbácea y arbustiva, siendo una calicata para cada edad, obteniendo un total de 6 calicatas, donde se definieron horizontes de acuerdo a la variación de color y textura del suelo, en cada horizonte se colocaron cilindros Uhland de volumen conocido para estimar la densidad aparente del suelo (ARÉVALO *et al.*, 2002). Además, se tomaron muestras de 500 g en promedio de cada uno de los horizontes para determinar el contenido de carbono por el método de Walkley Black, donde las muestras fueron correctamente identificadas y enviadas al laboratorio para la cuantificación de carbono total.

## f. Identificación y evaluación de las especies

Para el sistema de bosque secundario de 9, 10 y 11 años de edad las especies fueron en su mayoría identificadas en el campo con la ayuda de un matero, quien identificó las especies con sus respectivos nombres comunes. Además, para las evaluaciones se tuvieron en cuenta lo siguiente: a) Especie, considerado a cada uno de los individuos de acuerdo al rango establecido por la unidad de muestreo (parcelas de 4 m x 25 m ó 6 m x 100 m); (los individuos que presentaron ramificación debajo del diámetro establecido, se midieron las ramas individualmente); y b) Medición de las alturas convencionales, estimados en forma ocular.

## 3.4. Cálculos

### 3.4.1. Cálculos de la biomasa vegetal

Las fórmulas empleadas para la determinación del carbono aéreo y suelo fueron las establecidas por el ICRAF (AREVALO, 2002).

#### a. Biomasa arbórea viva ( $\text{kg árbol}^{-1}$ )

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

Donde:

BA = Biomasa de árboles vivos y muertos en pie (kg)

0.1184 = Constante

DAP = Diámetro a la altura del pecho (1.30 cm)

2.53 = Constante

**b. Biomasa arbórea viva (t ha<sup>-1</sup>)**

Se calculó la biomasa por parcela, sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en las parcelas de 4 m x 25 m y 6m x 100 m (según el DAP)

$$\text{BAVT (kg.)} = \text{BA}_1 + \text{BA}_2 + \dots + \text{BA}_n$$

Donde:

BAVT = Biomasa de árboles vivos en kg

BA = Biomasa de árboles

**Para los transectos de 4 m x 25 m**

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = ((\text{BAVT (kg)} / 1000 \text{ kg}) * 10000 \text{ m}^2) / 100 \text{ m}^2$$

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = \text{BTAV} * 0.1$$

**Para los transectos de 6 m x 100 m**

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = ((\text{BAVT (kg)} / 1000 \text{ kg}) * 10000 \text{ m}^2) / 600 \text{ m}^2$$

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = \text{BTAV} * 0.017$$

Donde:

BAVT = Biomasa de árboles vivos en t ha<sup>-1</sup>

BTVA = Biomasa total de la parcela

0.1 = Factor de conversión de la parcela 4 x 25 m

0.017 = Factor de conversión de la parcela 6 x 100 m

**c. Biomasa arbustiva / herbácea (t ha<sup>-1</sup>)**

$$\text{BAH (t ha}^{-1}\text{)} = [ (\text{PSM} / \text{PFM}) * \text{PFT} ] * 0.01$$

Donde:

BAH = Biomasa arbustiva / herbácea, materia seca ( $t\ ha^{-1}$ )

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso total por metro cuadrado (g)

0.01 = Factor de conversión cuando es de 1 m x 1 m

**d. Biomasa de la hojarasca ( $t\ ha^{-1}$ )**

$$Bh\ (t\ ha^{-1}) = [ (PSM / PFM) \times PFT ] \times 0.04$$

Donde:

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca ( $t\ ha^{-1}$ )

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso total por metro cuadrado (g)

0.04 = Factor de conversión cuando es de 0.5 m x 0.5 m

**3.4.2. Cálculos de la biomasa vegetal total ( $t\ ha^{-1}$ )**

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

Donde:

BVT = Biomasa vegetal total

BAVT = Biomasa total de árboles vivos

BTAMP = Biomasa total de árboles muertos en pie

BAH = Biomasa arbustiva y herbácea

Bh = Biomasa de la hojarasca

### 3.4.3. Cálculos del peso del volumen del suelo ( $t\ ha^{-1}$ )

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 ( $g\ cc^{-1}$ )

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

Donde:

DA = Densidad aparente ( $g\ cc^{-1}$ )

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen cilindro (constante)

#### b. Peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo

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

Donde:

PVs = Peso del volumen de suelo ( $t\ ha^{-1}$ )

DA = Densidad aparente

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

10000 = Constante

### 3.4.4. Cálculos del carbono total (biomasa vegetal + suelo)

#### a. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total ( $t\ ha^{-1}$ )

$$CBV\ (t\ ha^{-1}) = BVT \times 0.45$$

Donde:

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 ( $t\ ha^{-1}$ )**

$$CS\ (t\ ha^{-1}) = (PVs \times \%C)/100$$

Donde:

CS = Carbono en el suelo ( $t\ ha^{-1}$ )

Pvs = Peso del volumen de suelo

% C = Porcentaje de carbono analizado en laboratorio

100 = Factor de conversión

**c. Cálculo del carbono total del SUT ( $t\ ha^{-1}$ )**

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

Donde:

CT = Carbono total del SUT

CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

**3.5. Variable dependiente**

Carbono almacenado en plantaciones agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L) y bosque secundario de 9,10 y 11 años de edad.

**3.6. Variables independientes**

- Variables económicas, manejo.
- Nivel de ingresos, uso de la tierra y mano de obra.

### 3.7. Análisis estadístico

#### 3.7.1. Características a evaluar

- Biomasa arbórea viva.
- Biomasa arbustiva y herbácea.
- Biomasa seca (hojarasca) y muestreo de suelo.

#### 3.7.2. Análisis de regresión múltiple

GUTIERREZ y DE LA VARA (2008), mencionan que la regresión múltiple dispone de una ecuación con dos variables independientes adicionales:

$$Y' = a' + b_1x_1 + b_2x_2$$

##### a. El error estándar de la regresión múltiple ( $S_{xy}$ )

Es una medida de dispersión la estimación se hace más precisa conforme el grado de dispersión alrededor del plano de regresión se hace más pequeño. Para medirla se utiliza la formula:

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - m - 1}}$$

Donde:

Y : Valores observados en la muestra.

$\hat{Y}$  : Valores estimados a partir a partir de la ecuación de regresión

n : Número de datos

m : Número de variables independientes.

**b. El coeficiente de determinación múltiple ( $r^2$ )**

Mide la tasa porcentual de los cambios de Y que pueden ser explicados por  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  simultáneamente.

$$r^2 = \frac{SC_{regresión}}{SC_{total}}$$

**3.7.3. Prueba de T**

Este análisis estadístico nos ayudó a comparar el contenido de carbono mediante la formula:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{X_1-X_2}}$$

Donde:

$\bar{X}_1$  = Promedio de carbono del bosque secundario.

$\bar{X}_2$  = Promedio de carbono de la parcela de cacao bajo un sistema agroforestal.

$S_{x1-x2}$  = Desviación standard de las diferencias.

**3.8. Métodos para estimar la valoración económica**

**3.8.1. Valor Actual Neto (VAN)**

Para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), se utilizó la siguiente ecuación, propuesta por SANTANA (2005):

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

Donde:

I = Inversión realizada en el periodo cero.

R<sub>j</sub> = Ingresos generados por la inversión en el periodo j.

C<sub>j</sub> = Costos operacionales en el periodo j.

j = Periodo.

n = Vida útil del proyecto.

i = Tasa de oportunidad (Tasa de interés).

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

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

### 3.8.3. Beneficio - costo (B/C)

Para el cálculo del Beneficio - costo (B/C), se utilizo la siguiente ecuación:

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

Donde:

VPR<sub>j</sub> = Sumatoria del valor presente de los ingresos para cada año (j= 0, 1, 2, 3,...n) del período actualizado.

VPC<sub>j</sub> = Sumatoria del valor presente de los costos totales incurridos en cada año del período de análisis.

VPI<sub>j</sub> = Sumatoria del valor presente del capital invertido en cada año del período de análisis considerado.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Comparación de carbono almacenado en los diferentes componentes evaluados (arbórea, arbustiva, herbácea y hojarasca) del sistema agroforestal cacao + laurel versus un bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años

En el Cuadro 3, se observa que al comparar el almacenamiento promedio de carbono en la biomasa arbórea, arbustiva, herbácea y hojarasca, en las edades de 9, 10 y 11 años el mayor aporte de carbono retenido se encuentra en la biomasa arbórea para el SAF cacao + laurel con 46.98, 62.59, 79.98 y para el sistema bosque secundario que fue de 21.62, 69.35, 94.75 t ha<sup>-1</sup> respectivamente; esto se debe a que los sistemas (SAF cacao + laurel y bosque secundario) conforme van incrementando su edad a través del tiempo, son más vigorosos 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; tal como lo mencionan ALEGRE *et al.*, (2002), CALLO *et al.*, (2002), LAPEYRE *et al.*, (2004), NORBERTO (2006) y HERRERA (2010). Es decir 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).

Al mismo tiempo se puede observar que los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), son en

pequeñas cantidades (Cuadro 3 y Figura 5); estos resultados coinciden con los obtenidos por CALLO *et al.* (2002) y DUPOUEY *et al.*, (1999), quien indica que, los restos vegetales superficiales representan el 6%.

**Cuadro 3.** Estimación de carbono almacenado en los componentes aéreos (arbórea, arbustiva, herbácea y hojarasca) en sistemas evaluados ( $t\ ha^{-1}$ ) en tres edades.

Edad	SAF cacao + laurel				Bosque secundario			
	CA	CAH	CH	CBV ( $t\ ha^{-1}$ )	CA	CAH	CH	CBV ( $t\ ha^{-1}$ )
9	46.98	0.53	2.83	50.34	21.62	0.85	5.24	27.71
10	62.59	1.73	5.14	69.46	69.35	0.17	5.29	74.81
11	79.98	0.96	2.64	83.59	94.75	0.41	6.93	102.10

CA: Carbono arbóreo, CAH: Carbono arbustivo-herbáceo, CH: Carbono en la hojarasca, CBV: Carbono en la biomasa vegetal

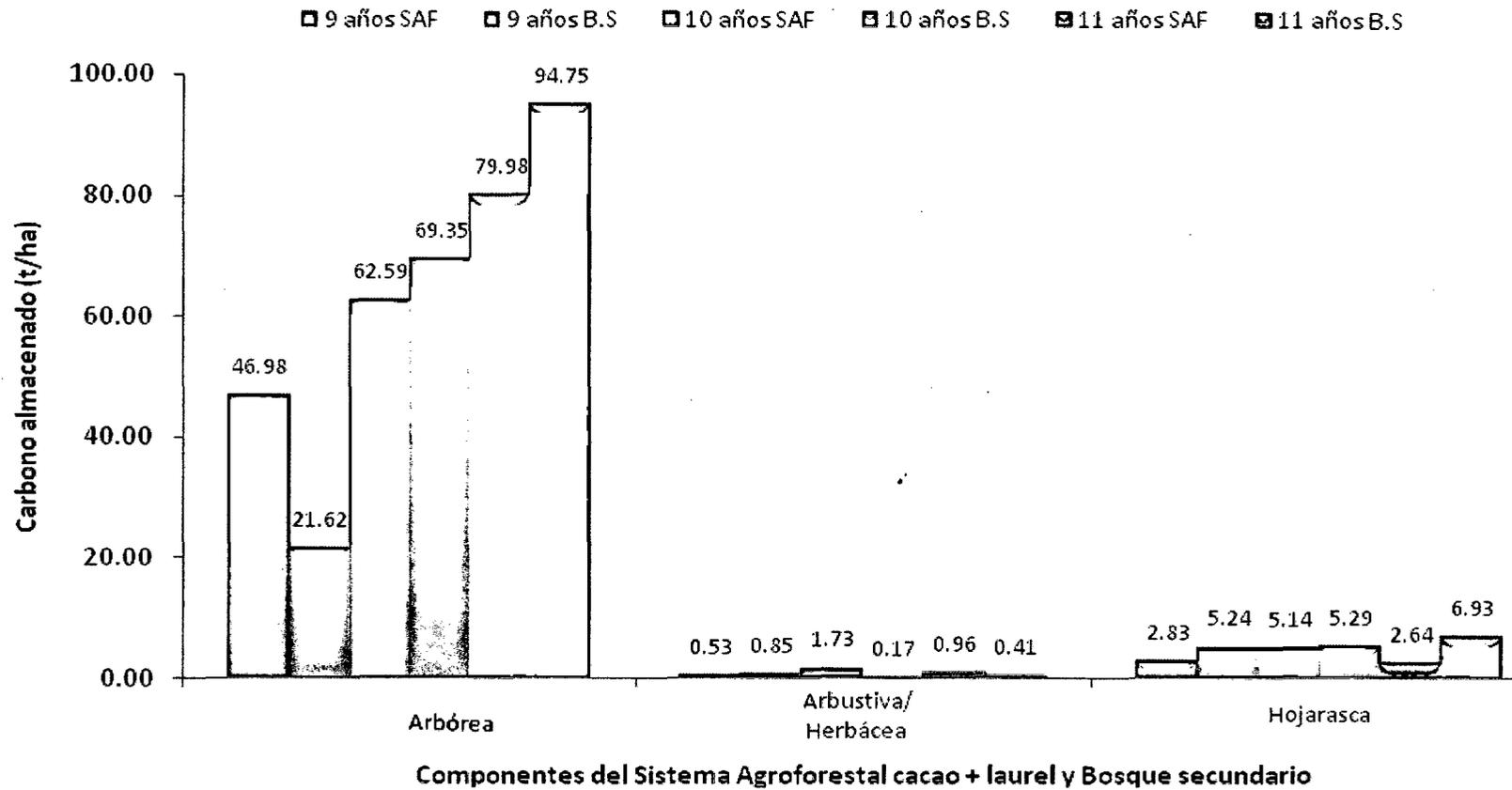
De igual modo se observa referente al componente arbustivo y herbáceo que en los dos sistemas existe un ligero aumento siendo mayor en el SAF cacao + laurel en las edades de 10 y 11 años ( $1.73$  y  $0.96\ t\ ha^{-1}$ ) respecto al bosque secundario ( $0.17$  y  $0.41\ t\ ha^{-1}$ ), en cuanto al SAF cacao + laurel y bosque secundario y en las tres edades el carbono almacenado en el componente hojarasca es superior al componente herbáceo, siendo el bosque secundario con  $5.24$ ,  $5.29$ ,  $6.93\ t\ ha^{-1}$  a nivel del componente hojarasca mayor

que el SAF cacao + laurel con 2.83, 5.14, 2.64 t ha<sup>-1</sup> en las edades de 9, 10 y 11 años respectivamente; esto se debe a que en los bosques secundarios comprendidos en estas edades, no presentan especies herbáceas en grandes cantidades por la existencia de sombra y auto sombra, el cual no permite el desarrollo de los arbustos y herbáceas, existiendo cantidad de hojarasca y mulch. En tanto, la incorporación de cobertura permanente pueden incrementar significativamente las reservas de carbono en el bosque secundario, tal como lo mencionan ALEGRE *et al.*, (2002).

Por otro lado, el carbono almacenado en el componente hojarasca en todos los sectores evaluados tiende a incrementarse en los bosques secundarios a mayor edad (Cuadro 3 y Figura 5), esto se debe porque en estos sistemas existe un aporte constante y de mayor cantidad de estos restos vegetales muertos, caídas de hojas en forma natural; además el carbono almacenado en la biomasa de la hojarasca del bosque secundario (6.94 t ha<sup>-1</sup>), es mayor que el SAF (2.64 t ha<sup>-1</sup>), cuya diferencia varía en 4.30 t ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, el carbono en la hojarasca normalmente es un componente pequeño en términos de biomasa, esto hace que, normalmente, su inclusión sea discrecional (CHIDIAK *et al.*, 2006).

Al comparar el carbono almacenado en el componente arbustivo, herbáceo y hojarasca del SAF cacao + laurel (0.53, 1.73, 0.96 y 2.83, 5.14, 2.64 t C ha<sup>-1</sup>) y bosque secundario (0.85, 0.17, 0.41 y 5.24, 5.29, 6.93 t C ha<sup>-1</sup>), no coincidimos con lo reportado por Valero (2004), citado por FONSECA *et al.*, (2006), quien encontró que los fustes de los bosques secundarios contuvieron el 7% del carbono total y el 41% del carbono almacenado en la biomasa (9.6 t

ha<sup>-1</sup>). La vegetación herbácea, la necromasa fina y gruesa, las ramas, hojas y raíces fueron los componentes que almacenaron la menor cantidad de carbono, variando de 0.85 t C ha<sup>-1</sup> en raíces finas a 3.2 t C ha<sup>-1</sup> en ramas y raíces gruesas (< 2.8% del carbono total por cada uno). La biomasa aérea y la necromasa almacenaron el 14% del carbono total del sistema (18.4 t C ha<sup>-1</sup>); cabe resaltar, que estos reportes provienen de un distinto protocolo de muestreo y de una estimación con ecuaciones planteadas para especies forestales sin tener en cuenta la parte radicular de las plantas evaluadas, al mismo tiempo los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron similares a los reportados por Tanner (1980), quien reportó de 3.8 a 6.0 t C ha<sup>-1</sup> de hojarasca en bosques secundarios de Jamaica; Schroeder y Winjum (1995), citados por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron que la hojarasca representa apenas 5-6% del C total en bosques en Brasil. La biomasa en los árboles y hojarasca aumentó con la edad de la sucesión, no así la biomasa de la vegetación herbácea que rápidamente se estabilizó y aun decreció con la edad del bosque secundario o plantación agroforestal. La vegetación herbácea disminuyó de 2.9 a 2.2 t ha<sup>-1</sup> en las edades de 5 a 18 años respectivamente. El crecimiento de la vegetación causa el cierre del dosel, disminuyendo la radiación al estrato bajo y eliminando la vegetación herbácea. Herrera *et al.*, (2001), citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron resultados similares en Colombia, con un incremento exponencial de la necromasa, hojarasca y una disminución exponencial negativa en la vegetación herbácea conforme avanza la edad. Resultados similares han sido encontrados por otros autores (Hertel *et al.*, 2003, Jiménez y Arias, 2004), citados por FONSECA *et al.*, (2006).



**Figura 5.** Estimación de almacenamiento de carbono en los diferentes componentes evaluados del SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en tres edades.

#### **4.2. Carbono almacenado en la biomasa vegetal del cultivo de cacao bajo un sistema agroforestal laurel comparado con un bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años**

Como se observa en el Cuadro 4 al comparar el almacenamiento promedio de carbono en toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ) de la biomasa aérea total en la edad de 9 años el SAF "cacao" *Theobroma cacao* L + "laurel" *Cordia alliodora* ( $50.34\ t\ ha^{-1}$ ), presenta mayor cantidad de carbono almacenado comparado con el bosque secundario ( $27.71\ t\ ha^{-1}$ ) de la misma edad; mientras que en las edades de 10 y 11 con  $74.81$  y  $102.10\ t\ ha^{-1}$ , siendo estos valores para este sistema (bosque secundario) quien almacenó mayor cantidad de carbono comparado con el SAF  $69.46$  y  $83.59\ t\ ha^{-1}$  respectivamente, de las mismas edades; además, se observa que el carbono almacenado, tiende a incrementarse con la edad de los sistemas agroforestal y bosque secundario (Cuadro 4 y Figura 6); tal como lo describen ALEGRE *et al.*, (2002), CALLO *et al.*, (2002) y LAPEYRE *et al.*, (2004). Es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono; puesto que los árboles, al crecer, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera (FONAM, 2005); que también está apoyada por reportes de LAPEYRE *et al.*, (2004), quienes detallan que el almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento dado que aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono.

**Cuadro 4.** Estimación de almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal en el SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en tres edades.

Edad	Transectos	SAF cacao + laurel			Bosque secundario		
		C total (t ha <sup>-1</sup> )	Prom. de C (t ha <sup>-1</sup> )	Flujo de C (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	C total (t ha <sup>-1</sup> )	Prom. de C (t ha <sup>-1</sup> )	Flujo de C (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
9	A	112.10			38.46		
	B	21.59	50.34	5.59	13.52	27.71	3.08
	C	17.31			31.14		
10	A	80.53			43.80		
	B	88.02	69.46	6.95	98.67	74.81	7.48
	C	39.83			81.95		
11	A	100.07			69.99		
	B	103.60	83.59	7.6	105.43	102.10	9.28
	C	47.10			130.88		

Al respecto, CALLO *et al.*, (2002) y NORBERTO (2006), afirman 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), sostienen 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, como es el caso del bosque secundario, debido a que en esta zona están conformadas en su mayoría por especies pioneras tales como “cético” *Cecropia* sp., “ocuera” *Vernonia patens*, “bolaina” *Guazuma crinita*, “sachauvilla” *Pourouma minor*, “yanabarilla” *Acalypha* sp, “cordoncillo” *Piper* sp.; entre otras especies. Estos árboles se caracterizan por tener un

crecimiento rápido, vertical, con un solo tallo principal, con hojas compuestas o lobuladas, grandes, simples, abundantes y ramas bajas deciduas; estas características implica que conforme van creciendo acumulan mayor biomasa y por lo tanto mayor acumulación de almacenamiento de carbono, como en el caso de *Cecropia* sp., conocido vernacularmente como "cético", que es una especie de crecimiento rápido, característico de bosques secundarios pioneros, frecuentemente en aéreas que han sido deforestadas o alteradas por el hombre, se le encuentra en suelos con variada textura y niveles de acidez, de escasa fertilidad también en zonas temporalmente inundables, asimismo el cético un buen indicador del cambio de vegetación dentro de un bosque y sirve de alimento para la fauna silvestre (REYNEL *et al.*, 2003). Situación que es corroborada por SMITH *et al.*, (1997), quienes mencionan que la producción de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono por la plantas es determinada por las zonas de vida, los sitios, las especies y la etapa de desarrollo en que se encuentren la planta.

También se observa que el flujo de carbono almacenado que se expresa  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , es mayor en el bosque secundario (7.48 y  $9.28\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ) en las edades de 10 y 11 años respecto al SAF cacao + laurel (6.95 y  $7.60\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ) de las mismas edades, esto posiblemente se debe a que cuando las especies se diversifican mas, en el sistema (bosque secundario) los flujos son mayores que cuando se diversifican menos, así como lo encontramos en el SAF cacao + laurel que aportó menor cantidad de flujo de carbono almacenado. (Cuadro 4 y Figura 6); mientras que en la edad de 9 años con  $5.59\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , siendo este valor para este sistema (SAF) quien obtuvo mayor

flujo de carbono almacenado comparado con el bosque secundario de la misma edad,  $3.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  respectivamente; probablemente los flujos de fijación de carbono varían según las edades fisiológicas, pero además dependen de las combinaciones de especies, de las dinámicas de cada ecosistema particular, esto influido por su localización y latitud, esto se deduce de las diferentes cantidades de flujos encontrados entre Perú, (Pucallpa – San Martín) y Costa Rica, 2.3, 3.3 y  $5.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . LAPEYRE *et al.*, (2004), quienes evaluaron la capacidad de captura de carbono de la biomasa aérea en 5 sistemas de uso de la tierra de la región San Martín, y el flujo de carbono reportado en el sistema de bosque secundario de 20 años fue menor en comparación con el del bosque secundario de 50 años ( $3.10$  y  $4.60 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ); asimismo el flujo encontrado para en la edad de 15 años en el sistema agroforestal de cacao fue de  $3.15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , sin embargo; estos valores aparentemente no coinciden con el promedio de los flujos encontrados en la presente tesis, esto se debe a que el trabajo de investigación se realizó en las edades de 9, 10 y 11 años respectivamente; y por lo tanto conforme van creciendo tienen mayor biomasa acumulada y llegan hasta un punto máximo (clímax) de fijación de carbono, situación que puede ser confirmada por FINEGAN, (1997) y KYRKLUND, (1990), quienes mencionan que la cantidad de biomasa acumulada por el crecimiento de los árboles en los bosques y en los SAF disminuye gradualmente conforme aumenta la edad del sistema, y por lo tanto, su potencial de secuestro de carbono también disminuye. Sin embargo, esto no quiere decir que los bosques ni los SAF en los diferentes periodos de crecimiento no fijen carbono, donde los flujos anuales se

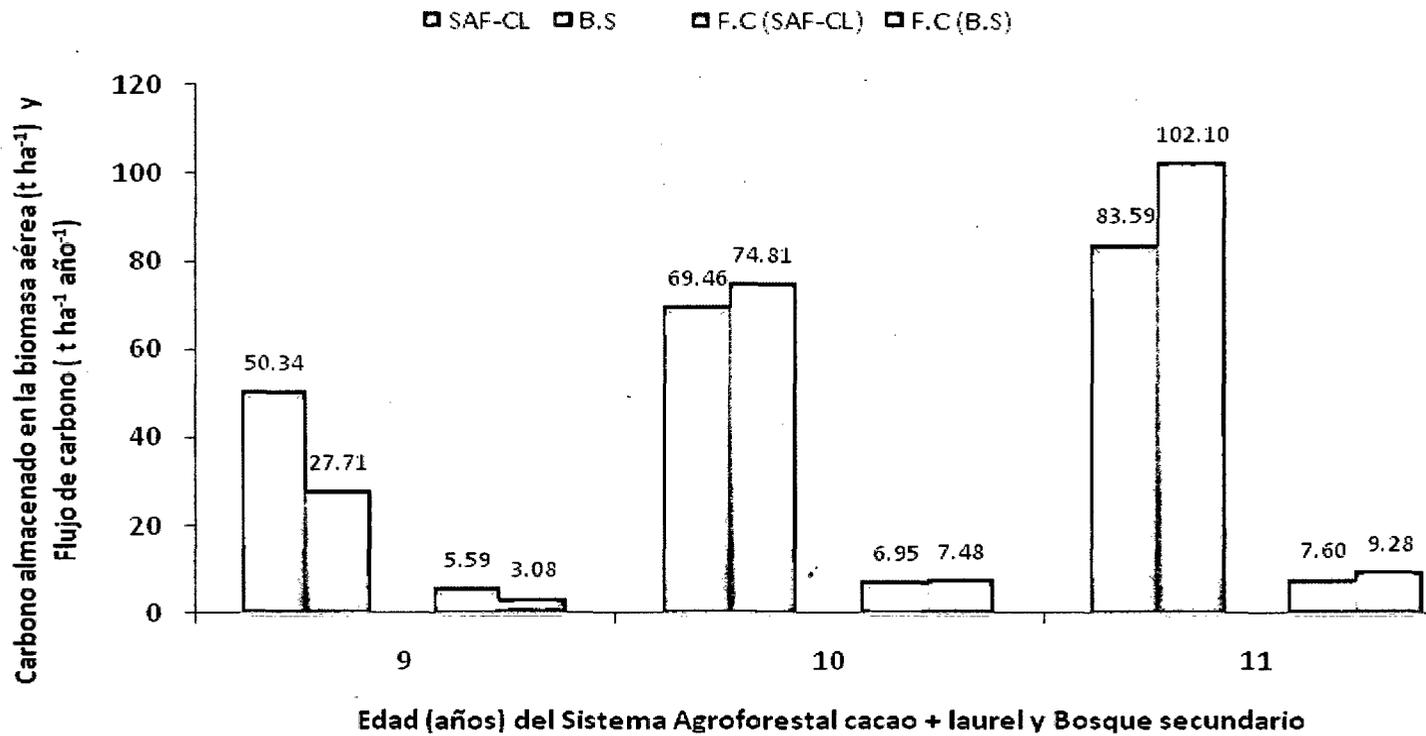
calcularon dividiendo la biomasa acumulada entre la edad del sistema y estuvieron en función de la biomasa acumulada en el tiempo de crecimiento y que es muy variable y dinámico por el manejo; cabe destacar que los flujos presentados son un promedio de captura anual en el tiempo de vida del sistema, esta diferencia se debe a que el crecimiento de una población vegetal no se realiza de manera uniforme en el tiempo existiendo un mayor crecimiento en los primeros años. Es de gran necesidad determinar las reservas totales de carbono almacenado porque nos da un indicativo del grado de captura de carbono de un sistema, pero no nos especifica la dinámica de este carbono, por lo cual se ha elaborado los flujos anuales de captura de carbono por hectárea. Estos flujos anuales son los que expresan el dinamismo en acumular el carbono y es el que la comunidad internacional está considerando por los flujos de carbono almacenado cada año (expresados en  $\text{CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), para el otorgamiento de créditos por este servicio ambiental (LAPEYRE *et al.*, 2004).

Al comparar el carbono total almacenado en la biomasa del SAF cacao + laurel con los trabajos de ORTIZ y RIASCOS (2006), quienes realizaron una investigación en los sistemas laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62  $\text{t C ha}^{-1}$  del carbono total en la biomasa en la edad de 25 años. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otro estudio en Talamanca, que encontró entre 42 y 61  $\text{t C ha}^{-1}$  en cacaotales arbolados en loma y valle (Segura 2005, citados por ORTIZ y RIASCOS 2006). Albrecht y Kandji (2003), citados por ORTIZ y RIASCOS (2006), reportan almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica (39-102  $\text{t C ha}^{-1}$ ). Los sistemas cacao y laurel fijaron entre 1.7 y 2.5  $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en 25

años. SEGURA (2005), encontró tasas de acumulación de carbono muy similares ( $2.1$  y  $2.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) en cacaotales con  $100-150$  árboles  $\text{ha}^{-1}$  en Talamanca. La máxima tasa de acumulación de carbono se presentó en el cuarto año, con un incremento de carbono acumulado (ICA) entre  $4.2$  y  $6.4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para espaciamientos de  $12 \times 12 \text{ m}$  en valle y  $6 \times 6 \text{ m}$  en loma, respectivamente. En Caldas, Colombia se estimó que el laurel ( $200$  árboles  $\text{ha}^{-1}$ ) en cacaotales fija  $3.3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y alcanza un total de  $49.4 \text{ t C ha}^{-1}$  de carbono a los  $15$  años de edad (Aristizábal y Guerra, 2002 citados por ORTIZ y RIASCOS 2006), sin embargo no coincidimos con estos datos reportados; cabe explicar que estos reportes fueron obtenidos a través de diferentes edades y densidades, lo cual el número de plantas  $\text{ha}^{-1}$  es menor; por lo tanto el contenido de carbono almacenado y los flujos anuales también; mientras que para el presente trabajo de tesis se empleo distanciamientos de  $10 \times 3 \text{ m}$  y  $3 \times 3 \text{ m}$  para el caso de laurel y cacao ( $333$  y  $1283$  plantas  $\text{ha}^{-1}$  respectivamente) teniendo un total de  $1616$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ , por lo que los contenidos de carbono almacenado fueron mayores ( $50.34$ ,  $69.46$  y  $83.59 \text{ t ha}^{-1}$ ) conforme avanza la edad del sistema ( $9$ ,  $10$  y  $11$  años) con flujos de  $5.59$ ,  $6.95$  y  $7.60 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  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.

De la misma manera al comparar el carbono total almacenado en el bosque secundario con los trabajos de FONSECA *et al.*, (2006), quienes realizaron estudios en la acumulación de biomasa y carbono en bosques

secundarios en el Caribe de Costa Rica. La biomasa almacenada total de los bosques secundarios pasó de 28.9 t ha<sup>-1</sup> a los 5 años a 67.9 t ha<sup>-1</sup> a los 18 años, lo cual representa una tasa de fijación promedio de 5.8 y 3.8 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Hughes *et al.*, 1999, citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontraron una biomasa promedio de 272.1 t ha<sup>-1</sup> a los 16 años de edad, con una fijación de 17 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Corrales 1998, citado por FONSECA *et al.*, (2006), encontró 162.1 t ha<sup>-1</sup> de biomasa en bosques secundarios de 15 años, lo que equivale a 10.8 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. LAPEYRE *et al.*, (2004), obtuvo 62 t C ha<sup>-1</sup> en bosque secundario de 20 años y el flujo de carbono es de 3.10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, sin embargo no coincidimos con estos datos reportados, pero si coincidimos que conforme avanza la edad del sistema el almacenamiento de carbono y el flujo tiende a incrementarse (28.9, 162.1, 272 t ha<sup>-1</sup>) en las edades de 5, 15 y 16 años con flujos de 5.78, 10.8, 17 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> comparado con el presente trabajo que fueron 27.71, 74.81 y 102.10 t ha<sup>-1</sup> en las edades de 9,10 y 11 años con flujos de 3.08, 7.48 y 9.28 C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 6.** Promedio de carbono almacenado en la biomasa vegetal y flujo de carbono en el SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en tres edades.

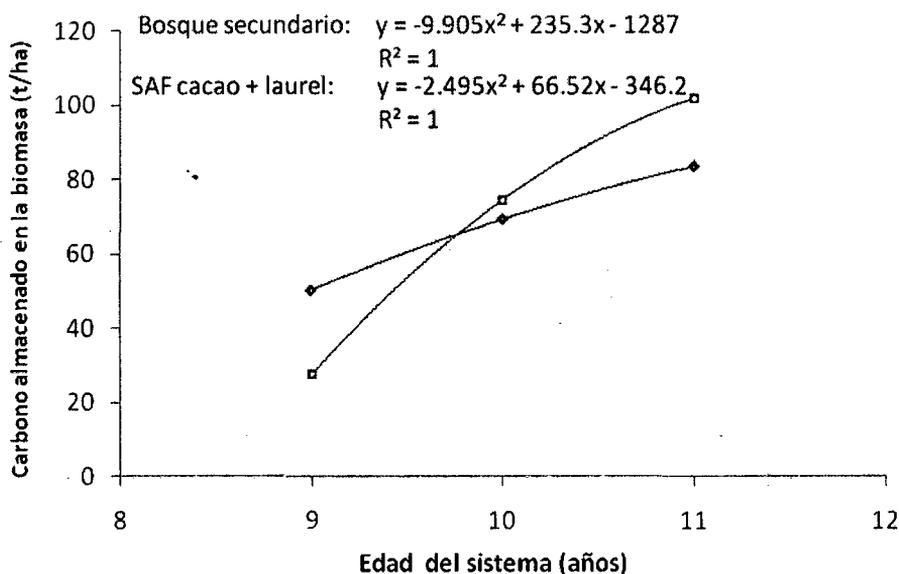
En el Cuadro 5, se observa que el coeficiente de correlación es muy bueno, debido a que el 92% de las variables independiente (edad y densidad) se relaciona con la variable dependiente (carbono almacenado). En cuanto al coeficiente de determinación se concluye que el 85% de la variabilidad de la cantidad de carbono encontrado en la biomasa vegetal del Sistema agroforestal cacao + laurel y Bosque secundario quedan explicados por las variables edad y densidad.

**Cuadro 5.** Resumen estadístico de regresión para el carbono de la biomasa vegetal.

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coeficiente de correlación	0.92
Coeficiente de determinación $R^2$	0.85
Error típico	11.10
Observaciones	18.00

Asimismo se observa, que los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) obtenidos para los sistemas en estudio, se consideran altos, permitiendo asegurar que los modelos son confiables, ya que se buscan coeficientes de determinación que se acercaran al cien por ciento. Además, para variables biológicas se consideran aceptables coeficientes de determinación arriba de 60% debido a la amplia gama de variables que están influyendo en el comportamiento de la variable dependiente. Por lo tanto, quiere decir que los valores estimados de carbono en la biomasa se acercan significativamente al valor real de carbono en la biomasa.

En la Figura 7, se observa la ecuación polinómica sobre la tasa de crecimiento o incremento de carbono en la biomasa vegetal en los dos sistemas; que a partir de los 9 años de edad, existe un incremento de carbono almacenado en  $235.30 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el bosque secundario y mientras para el sistema agroforestal cacao + laurel el carbono almacenado solo aumenta en  $66.52 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  respectivamente.



**Figura 7.** Regresión polinómica de almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal.

Asimismo, los resultados obtenidos del carbono almacenado en la biomasa vegetal del SAF cacao + laurel comparados con lo reportado por HERRERA (2010), quien evaluó dos sistemas agroforestales cacao + guaba y cacao + bolaina en las edades de 2, 3 y 4 años; donde se puede observar, las

diferencias existentes de carbono almacenado entre los tres rangos de edad del cultivo de cacao bajo los dos sistemas agroforestales a nivel aéreo; 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 tiende a incrementarse.

De igual manera VIENA (2010), menciona en su trabajo de investigación que un bosque secundario de 5 años de edad obtiene  $35.26 \text{ t ha}^{-1}$  concordando con los datos obtenidos en la presente tesis que conforme avanza la edad el carbono tiende a incrementarse.

#### **4.3. Comparación de almacenamiento de carbono total en un Sistema agroforestal cacao + laurel versus un bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años**

En el Cuadro 6, se observa que respecto a la estimación de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, no hubo diferencias significativas entre el SAF cacao + laurel ( $T_1$ ,  $T_2$ , y  $T_3$ ) vs bosque secundario ( $T_4$ ,  $T_5$ , y  $T_6$ ) en las edades de 9, 10 y 11 años respectivamente; en cuanto al carbono en el suelo se encontró diferencias significativas entre el  $T_1$  vs  $T_4$ ,  $T_2$  vs  $T_5$  y  $T_3$  vs  $T_6$ . Estas diferencias posiblemente se deben a que estén relacionado con la distancia del punto de muestreo al árbol más cercano; lo que está vinculado con la acumulación de materia orgánica proveniente de la hojarasca y de las raíces de los árboles (LOPEZ *et al.*, 2002). Mientras que,

KSTATE (2006) manifiesta que los suelos que se forman bajo bosques secundarios tienden a acumular altos niveles de carbono orgánico del suelo próximos a la superficie. Esta estratificación del suelo, se debe principalmente a la acumulación de residuo de hojas y madera en descomposición proveniente de las ramas y de árboles que se acumulan en la superficie del suelo. Del 40 al 50% se incorpora al suelo proveniente de hojas, ramas y raíces (Regos, 1989; citado por BARBARAN, 1998). Pero, la hojarasca, ramas y restos de cortas 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).

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. Pero también los depósitos de carbono en el suelo se incrementan conforme el SAF cacao + laurel y bosque secundario aumentan de edad; por lo que, CIFUENTES *et al.*, (2004) manifiestan que el carbono almacenado aumenta después del abandono de áreas de uso agrícola.

**Cuadro 6.** Carbono almacenado en la biomasa aérea, suelo y total en un SAF cacao + laurel comparado con un bosque secundario en tres edades, mediante la prueba de T ( $\alpha=0.05$ ).

Edad (años)	Trat.	Sistema de uso de tierra	Carbono en la biomasa aérea	Carbono en el suelo	Carbono total (t ha <sup>-1</sup> )
9	T <sub>1</sub>	SAF cacao + laurel	50.34 a	64.17 b	114.51 a
			NS	S	NS
	T <sub>4</sub>	Bosque secundario	27.71 a	82.85 a	110.56 a
10	T <sub>2</sub>	SAF cacao + laurel	69.46 a	67.96 b	137.42 a
			NS	S	NS
	T <sub>5</sub>	Bosque secundario	74.81 a	88.99 a	163.80 a
11	T <sub>3</sub>	SAF cacao + laurel	83.59 a	68.75 b	152.34 a
			NS	S	NS
	T <sub>6</sub>	Bosque secundario	102.10 a	96.15 a	198.25 a

(S) Significativo al 5% de probabilidad; (NS) No significativo.  
 Comparación de prueba de t: T<sub>1</sub> vs T<sub>4</sub>, T<sub>2</sub> vs T<sub>5</sub> y T<sub>3</sub> vs T<sub>6</sub>.

En relación a lo mencionado, CIFUENTES *et al.*, (2004) explica que los depósitos de carbono en el suelo aumentan durante el crecimiento del bosque secundario, quien también depende significativamente del tipo y la intensidad del uso anterior de la tierra. IPCC (1996), indica que cuando el bosque se aprovecha una porción de la biomasa (raíces, ramas, tallos y follaje) es dejada en el suelo, entrando en un proceso de descomposición. NABUURS *et al.*, (2001) dice que el proceso de descomposición lleva en sí tres etapas hasta obtener una materia orgánica estable (humus). El follaje, ramas, tallos y raíces son descompuestas por macro y microorganismos a tres compuestos principales, los componentes soluble (azúcares principales), holocelulosa y

compuestos como la lignina, los cuales pueden ser descompuestos directamente por los microorganismos y liberar CO<sub>2</sub>. Una parte de los compuestos solubles y de la holocelulosa pasa al compartimiento de los compuestos como la lignina y de éste último, pasan al primer compartimiento del humus, el cual puede ser descompuesto y liberar CO<sub>2</sub> o pasar al segundo compartimiento del humus. De este segundo compartimiento, el carbono solo puede ser movido a la atmósfera en CO<sub>2</sub>, también afirma que algunas especies contienen más lignina que otros y hace que el carbono sea más estable.

De la misma manera, CAMBARDELLA (1998) manifiesta que 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 microagregados 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.

Comparando con lo manifestado por FAO y CATRIONA (1998), quienes afirman que en los diferentes ecosistemas tropicales (bosques), los sumideros de carbono en el suelo varían entre 60 y 115 t C ha<sup>-1</sup>, coincidiendo con estos valores que se encuentran cercanos a los obtenidos en el presente trabajo (82.85, 88.99 y 96.15 t C ha<sup>-1</sup> respectivamente).

Al mismo tiempo se observa respecto al almacenamiento de carbono total (biomasa aérea + suelo), que no hubo diferencias significativas entre el SAF cacao + laurel (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, y T<sub>3</sub>) vs bosque secundario (T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, y T<sub>6</sub>), entre el T<sub>1</sub> vs T<sub>4</sub>, T<sub>2</sub> vs T<sub>5</sub> y T<sub>3</sub> vs T<sub>6</sub> en las edades de 9, 10 y 11 años respectivamente. Razón por la cual, los sumideros superficiales de carbono en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios (BROWN y LUGO, 1992). 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). Asimismo, SÁNCHEZ *et al.* (1999), LAPEYRE *et al.* (2004) y CALLO *et al.* (2002) resaltan la importancia del establecimiento de estos sistemas para la recuperación del potencial de captura de carbono en áreas anteriormente perturbadas.

Además, 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). En algunos casos, el carbono acumulado en estos sistemas es similar a aquellos

encontrados en bosques secundarios, en este contexto son una opción para almacenar carbono (MONTENEGRO y ABARCA, 1999), situación que es confirmada y concordando con el presente trabajo de investigación donde no se encontró diferencias significativas entre el SAF cacao + laurel y bosque secundario en las edades de 9, 10 y 11 años respectivamente.

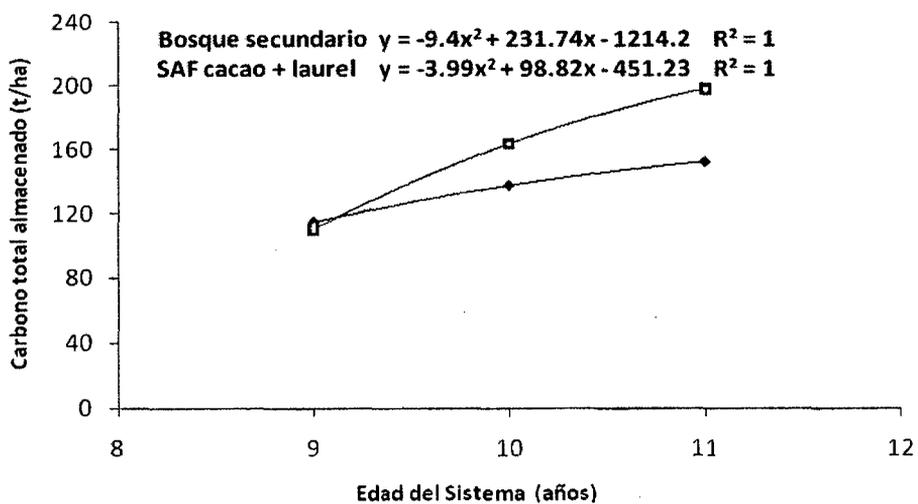
Por otro lado este resultado es de gran importancia pues reafirma el potencial que tienen los SAF cacao + laurel para secuestrar carbono, tanto en la biomasa aérea como en el suelo, y servir como mecanismos para mitigar el calentamiento global.

En el Cuadro 7, se observa que el coeficiente de correlación es muy buena, debido a que el 85% de las variables independiente (edad y densidad) se relaciona con la variable dependiente (carbono total almacenado). En cuanto al coeficiente de determinación disminuye al agregar la variable suelo ya que no se puede decir que a mayor edad mayor almacenamiento de carbono en el suelo, porque el almacenamiento de carbono en el suelo también dependerá significativamente del tipo y la intensidad del uso anterior de la tierra, así como de las características físicas y químicas del suelo y no está en función de las variables independientes; se concluye que el 73% de la variabilidad de la cantidad de carbono total encontrado en la biomasa vegetal + suelo del Sistema agroforestal cacao + laurel y Bosque secundario quedan explicados por las variables edad y densidad.

**Cuadro 7.** Resumen estadístico de regresión para el carbono total (biomasa vegetal + suelo).

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación	0.85
Coefficiente de determinación $R^2$	0.73
Error típico	19.17
Observaciones	18.00

En la Figura 8, se observa la ecuación polinómica; que a partir de los 9 años de edad existe un incremento de  $231.74 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono almacenado por año, para el bosque secundario y mientras que para el sistema agroforestal cacao + laurel solo aumenta en  $98.82 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  respectivamente.



**Figura 8.** Regresión polinómica de almacenamiento de carbono total (biomasa vegetal + suelo).

Asimismo, los resultados obtenidos del carbono almacenado total (biomasa vegetal + suelo) del SAF cacao + laurel comparados con lo reportado por HERRERA (2010), quien evaluó dos sistemas agroforestales cacao + guaba y cacao + bolaina en las edades de 2, 3 y 4 años; indica 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 (biomasa aérea + suelo) tiende a incrementarse.

De igual manera VIENA (2010), menciona en su trabajo de investigación que un bosque secundario de 5 años de edad reporta  $65.51 \text{ t ha}^{-1}$  concordando con los datos obtenidos en la presente tesis que conforme avanza la edad el carbono tiende a incrementarse ya sea a nivel aéreo o suelo y total.

#### **4.4. Análisis de la valorización económica del sistema agroforestal cacao + laurel y bosque secundario**

En el Cuadro 8, se ha determinado los indicadores de rentabilidad del presente trabajo. El costo de oportunidad utilizado para los cálculos es de 14% por año según SANTANA (2005), donde se determinó el Valor Actual Neto

**Cuadro 8.** Indicadores de rentabilidad económica

Indicadores	SAF cacao + laurel	Bosque secundario
VAN (S/.)	1077.69	330.91
TIR (%)	17.81	19.77
R B/C	1.16	1.79
IPN/S (S/.)	1770.28	569.36

(IPNS) Ingreso promedio neto por sistema.

Al mismo tiempo se observa que la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculado para el SAF cacao + laurel fue de 17.81%, menor a la TIR del sistema bosque secundario que fue de 19.77%. También este indicador de rentabilidad (TIR) nos demuestra que ambos sistemas son viables, por cuanto en ambos casos la TIR es mayor que el costo de oportunidad que se utilizó y fue de 14%.

También se observa, que otro indicador de rentabilidad calculado fue la relación beneficio costo, R (B/C). Para el sistema SAF cacao + laurel fue de 1.16 menor que del sistema bosque secundario que fue de 1.79. Sin embargo, también en ambos casos es viable el proyecto por ser mayor que 1, debido a que el ingreso es mayor al costo.

Asimismo, la relación beneficio costo de 1.16 que corresponde al SAF cacao + laurel, se puede interpretar que por cada sol que se invierte se obtiene una ganancia de 0.16. Por otro lado, la relación beneficio costo de 1.79 que corresponde al sistema bosque secundario, se puede interpretar que por cada sol que se invierte se obtiene una ganancia de 0.79.

Finalmente se determinó, el ingreso promedio neto por sistema, considerando en el promedio, 10 años para el SAF cacao + laurel y 7 años para el sistema bosque secundario. Para el primer sistema indicado el ingreso promedio neto fue de S/. 1770.28 por año mucho mayor que el sistema bosque secundario que fue de S/. 569.36 por año. Por tanto, considerando el periodo indicado el SAF cacao + laurel es más rentable que el sistema bosque secundario, a pesar que el TIR y R (B/C) son menores que este sistema (bosque secundario), por lo que el rendimiento económico de los sistemas agroforestales dependen del tipo de asociación que se practica con el componente forestal cuya función principal es de dar servicios ambientales, protección y producción, con beneficios económicos variables a mediano y largo plazo. Por otro lado existen pequeñas propiedades en la Amazonia con vocación productiva al 100% en la actividad forestal, donde los productores pueden tener mayor participación en la producción de madera al establecer un determinado sistema agroforestal (CATIE, 1986; RAMACHANDRAN, 1993).

En cuanto al análisis de costo en el establecimiento de una hectárea en el SAF cacao + laurel para las diferentes edades (1 hasta 9 años de laurel) (Cuadro 60), respecto a la producción de madera no se establecieron precios por lo tanto no hubo ingresos, debido a que la proyección económica de la madera laurel es a partir de los 15 años tal como lo menciona LAMA (2002). Por tanto se estima que dentro de 6 años se obtendría una ganancia neta de 599097.885 para el SAF cacao + laurel (Cuadro 61).

Por otro lado, respecto a la acumulación de carbono en este sistema agroforestal podría contribuir a la economía familiar si se crean las condiciones y certificados de reducción de emisión de gases de efecto invernadero; puesto que la madera producida almacena el carbono por muchos años y, a la vez, se reduce la presión sobre el carbono almacenado en la madera del SAF y además genera ingresos económicos para el productor por la venta de madera; por lo tanto es necesario enriquecer las parcelas con arboles 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).

## V. CONCLUSIONES

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

1. Los SAF cacao + laurel si ofrecen mayores ventajas comparativas en relación a los sistemas de uso de tierra, ingresos económicos que genera al núcleo familiar, contribución a la conservación de la biodiversidad y almacenamiento de carbono respecto a los bosques secundarios.
2. El almacenamiento de carbono estimado en la biomasa arbórea en la edad de 9 años fue mayor en el SAF cacao + laurel con  $46.98 \text{ t ha}^{-1}$  y menor en un bosque secundario con  $21.62 \text{ t ha}^{-1}$ ; mientras que a la edad de 11 años fue mayor en el bosque con  $175.10 \text{ t ha}^{-1}$ , y menor en el SAF con  $138.05 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente; y el aporte promedio de carbono en la biomasa herbácea- arbustiva y hojarasca fue de 7.3 y 15.1% para el SAF y bosque secundario respectivamente.
3. El almacenamiento de carbono de la biomasa aérea fue mayor en el SAF con  $50.34 \text{ t ha}^{-1}$  y menor en un bosque secundario con  $27.71 \text{ t ha}^{-1}$  en la edad de 9 años; mientras para las edades de 10 y 11 años fueron mayores en los bosques con  $74.81$  y  $102.10 \text{ t ha}^{-1}$ ; y menores en el SAF con  $69.46$  y  $83.59 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente.
4. El flujo de carbono en las edades de 9,10 y 11 años para el SAF cacao + laurel es de 5.59, 6.95 y  $7.60 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  mientras que para los bosques secundarios fue de 3.08, 7.48 y  $9.28 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

5. El almacenamiento de carbono estimado total fue mayor en el SAF cacao + laurel ( $T_1$ ) con  $114.51 \text{ t ha}^{-1}$  y menor en un bosque secundario ( $T_4$ ) con  $110.56 \text{ t ha}^{-1}$  en la edad de 9 años; mientras que a la edad de 11 años fue mayor en el bosque ( $T_6$ ) con  $198.25 \text{ t ha}^{-1}$ , y menor en el SAF cacao + laurel ( $T_3$ ) con  $152.34 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente; y el aporte promedio de suelo para el carbono total en los diferentes sistemas fue de 59.3% y 50.2% para el bosque secundario y SAF.
6. Al comparar estadísticamente el almacenamiento de carbono total estimado en el SAF cacao + laurel con el bosque secundario mediante la prueba de T no se encontraron diferencias estadísticas; en la biomasa vegetal y total; mientras que en el componente suelo se encontró diferencias entre los diferentes sistemas versus las edades de 9,10 y 11 años respectivamente.
7. El valor económico de los diferentes sistemas de uso de tierra fue mayor en el SAF cacao + laurel con S/. 1077.69; y menor en el bosque secundario con S/. 330.91.

## VI. RECOMENDACIONES

Del presente trabajo de investigación se puede recomendar lo siguiente:

1. Realizar instalaciones con plantaciones de sistemas agroforestales de cacao + laurel, debido a que tienen una fijación y almacenamiento de carbono similar al bosque secundario, con la finalidad de mitigar la contaminación ambiental, la conservación del recurso suelo y reducir las emisiones de gas del efecto invernadero.
2. Realizar estudios comparativos en diferentes zonas de vida evaluando diferentes edades en el sistema agroforestal cacao + laurel, con fin de poder generar un banco de datos y determinar la dinámica real del carbono en la biomasa vegetal y en el suelo que permitan elaborar una propuesta para incentivar sistemas agroforestales en la amazonia, con énfasis en la fijación y almacenamiento de carbono.
3. Ejecutar estudios de estimación económica para realizar la valorización por la fijación y almacenamiento de carbono a nivel de departamento, región y nacional, como propuesta de incentivo para la siembra y conservación del sistema agroforestal cacao + laurel, con la finalidad de poder mejorar el nivel de vida de los agricultores de la zona y tener mayores ingresos en la economía familiar.

## VI. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en cuatro zonas de la provincia de Leoncio Prado (Pumahuasi-Huamancoto, Km 51-Ricardo, Supte-San Jorge y en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva); departamento de Huánuco-Perú ejecutándose de agosto a diciembre del 2009, los objetivos fueron comparar el contenido de carbono almacenado en los diferentes componentes del SAF cacao + laurel y bosque secundario, comparar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea entre el SAF cacao + laurel y bosque, realizar una comparación de estimación de carbono almacenado en un SAF cacao + laurel versus un bosque secundario en las edades de 9,10 y 11 años y determinar la valoración económica del SAF con cacao y bosque secundario. La metodología utilizada para evaluar carbono almacenado fue la de ARÉVALO *et al.*, (2002). La biomasa de las plantas de cacao fue determinada por el diámetro a 30 cm del suelo ( $D_{30cm}$ ) y para el caso de carbono almacenado en el suelo, se realizó análisis de suelos. Los resultados obtenidos, establecen 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 ha<sup>-1</sup> y mayores en biomasa arbórea con 46.98, 62.59 y 79.98 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que en el bosque secundario fue de 0.85, 0.17, 0.41 y 5.24, 5.29, 6.93 t ha<sup>-1</sup> y biomasa arbórea con 21.62, 69.35 y 94.75 t C ha<sup>-1</sup> en las edades de 9,10 y 11 años respectivamente. Comparando el almacenamiento de carbono total, del sistema agroforestal cacao + laurel

respecto al bosque secundario a la prueba de T, fue de 114.51, 137.42, 152.34 y 110.56, 163.80, 198.25 t ha<sup>-1</sup> respectivamente; indicando 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/. 1077.69 y de menor rentabilidad el bosque secundario con S/. 330.91 respectivamente.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, M., QUEDNOW, K., ETCHEVERS, J. y MONREAL, C. 2001. un 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 al 20 de Octubre, 2001, Valdivia, Chile). 83p.*
2. 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).
3. ALEGRE J.; RICSE A.; ARÉVALO, L.; BARBARÁN, J. & PALM C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonia peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. Perú12: 8 – 9.
4. ANDERSON, J. y SPENCER, T. 1991. Carbon, nutrient and water balances of tropical rain forest ecosystems subject to disturbance. MAB – Digest/FAO - Unesco. 55p.
5. ANDRASKO, K. 1990. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. Unasyuva. Roma. 41p.

6. ARCE, N.; ORTIZ, E.; VILLALOBOS, M. y CORDERO, S. 2006. Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. (<http://www.worldcocoafoundation.org/scientificresearch/researchlibrary/documents/Arce2008.pdf>). 17/01/2010.
7. AREVALO, L.; ALEGRE, J.; RIOS, E; CALLO-CONCHA, D. y PALM, CH. 2002. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroforestais. Brasil. Pp 1-8.
8. ÁVILA, G.; JIMÉNEZ, F.; BEER, J.; GÓMEZ, M. y IBRAHIM, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales de Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas* 8(30): 32-35.
9. BARBARAN, G. 1998. Determinación de biomasa y carbón en los principales usos de la tierra en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. 54p.
10. BATET, S. y ROVIRA, S. 2002. Cambio climático. Departamento de Sostenibilidad del Centro UNESCO de Catalunya. [En línea]: One world, (<http://es.oneworld.net/article/archive/5728/>). 15/11/2009.
11. BOSHIER, D.H. y MESÉN, F. 1998. Breeding population of *Cordia alliodora* in Costa Rica. In Conference on Breeding Tropical

- Trees: Population Structure and Genetic Improvement Strategies in Clonal and Seedling Forestry (1988, Pattaya, Tailandia). Proceedings IUFRO Conference. Arlington, USA. Winrock International. p. 406-407.
12. BOSHIER, D.H. y LAMB, A.T. 1997. *Cordia alliodora* genética y mejoramiento de árboles. Oxford, UK, Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No 36. 100p.
  13. 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).
  14. BUENDÍA, B. 1996. Evaluación de la biodiversidad florística en un área del Parque Nacional de Tingo María. Tesis para optar Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Mención Forestal. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 98p.
  15. CALVO, G. y MELÉNDEZ L. 1999. Pseudoestacas de laurel para el enriquecimiento de cacaotales. *Agroforesteria en las Américas* 6(22):25-27.
  16. 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, BocaRaton. Pp 519-526.

17. CATIE. 1986. Sistemas agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 140p.
18. CATRIONA, P. 1998. Actualidad forestal tropical. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (Japón). Boletín. 6 (4): 32.
19. CENTRO HADLEY. 2002. El efecto invernadero. [En línea]: BBC, (<http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/reduced.html>, 18/06/ 2009).
20. CERRI, C., FELLER, C., BALESSENT, J., VICTORIA, R. y 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.
21. CHAMBI, P. 2001. Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicados a la Zona del Río Inambari y Madre de Dios- Perú. 103p.
22. CHIDIAK, M.; MOREYRA, A. y GRECO C. 2006. Captura de carbono y desarrollo forestal sustentable en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desafíos. CENIT-CEPAL-UDESA. LC/BUE/R.255. Buenos Aires, Argentina. 136p.
23. CIFUENTES, M.; JOBSE, J.; WATSON, V. y KAUFMAN, B. 2004. Determinación de carbono total en suelos de diferentes tipo de uso de tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. Centro Científico Tropical. Costa Rica. Pp.7-10.

24. CONCHAI, Y., ALEGRE, C. y POCOMUCHA. V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao l.* en el departamento de San Martín, Perú. Ecología aplicada, Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú. 1:1-8 disponibles en pdf. (<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v6n1-2/a09v6n1-2.pdf>). 16/06/2009.
25. CORDERO, J.; MESÉN, F.; MONTERO, M.; STEWART, J; BOSHIER, D; CHAMBERLAIN, J; PENNINGTON, T; HANDS, M; HUGHES. Y C. y DEFLETSEN, G. 2003. Descripciones de especies de árboles nativos de America Central. En Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Eds. Cordero, J; Boshier DH. OFI-CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 473-476.
26. DUPOUEY, J., SIGUAND, G., BATEAU, V., THIMONIER, A., DHOLE, J.F. y NEPVEU, G. 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. C.R. Acad. Agric. Francia. 310p.
27. FAO. 1998. Agroforestería para la producción animal en América Latina. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). [En línea]: ([www.fao.org/documentos](http://www.fao.org/documentos). 22 de Abril del 2009).
28. 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). Raris, Francia. 62p.

29. 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. 491p.
30. FINEGAN, B. 1992. Bases ecológicas para la silvicultura. In V curso intensivo internacional de silvicultura y manejo de bosques naturales tropicales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. s.p.
31. FINEGAN, B. 1997. Memorias del taller internacional sobre estado actual y potencial de manejo y desarrollo del bosque secundario tropical en América Latina: Bases ecológicas para el manejo de bosques secundarios de las zonas húmedas del trópico americano, recuperación de la biodiversidad y producción sostenible de madera. Pucallpa, Perú. GTZ, CTA. Pp. 106-109.
32. FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE (FONAM). 2005. Boletín de C02 en comercio. Dedicado a Informar Sobre las Oportunidades del Mercado de Carbono. FONAM/CONAM/Embajada de los Países Bajos/. [En línea]: FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guia%20MDL.pdf>, consultado el 18/ 06/ 2009).
33. FONSECA, G.W.; ALICE, F.E.; MONTERO, J.; TORUÑO, H. y LEBLANC, H. 2006. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia*

- guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3123E/A3123E.PDF>, 17/01/2010.
34. GRAVES, A.; y MAC CARTER, P.S. 1990. *Cordia alliodora* a promising tree for topical agroforestry. Oxford, UK, Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No 22. 37p.
  35. GUTIERREZ, P.H. y DE LA VARA, S.R. 2008. Análisis y diseños de experimentos. Editorial McGraw- Hill interamericana. México D.F. 545p.
  36. HERRERA, A. J. 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, Perú. 95p.
  37. HERRERA, B. y ALVARADO, A. 1998. Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. Agronomía Costarricense, Costa Rica 22 (1): Pp. 99-117.
  38. HOLDRIDGE, L.R. 1982. Ecología: basado en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 216p.
  39. IPCC. 1996. Directrices del Intergovernmental panel on climate change (IPCC) para los inventarios nacionales de gases de efecto

invernadero - versión revisada en 1996. Volumen 2. Reino Unido. 348p.

40. IPCC. 2000. Land use, change and forestry. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [En línea]: EIA, (<http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html>, encontrado el 26 Feb. 2009).
41. IPCC. 2001. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Technical Summary. Cambridge: WMO-UNEP. Cambridge University Press. [En línea]: INE, (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/arvizu.html>; consultado el 26/02/2009).
42. 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).
43. JANDI, R. 2001. Medición de tenencias en el tiempo del Almacenamiento de carbono del suelo. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria. 48p.
44. JOHNSON, P. y MORALES, R. 1972. A review of *Cordia alliodora* [(RUIZ y PAVÓN) Oken]. Turrialba. 22:210-220.

45. KYRKLUND, B. 1990. Cómo puede contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasyuva* 41 (143): 2-15.
46. KSTATE. 2006. El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del Carbono. Kansas State University y Agricultural Experiment Station and Cooperative Extensión Service. Carbon series. Departamento of Agronomy. [En línea]: OZNET, (<http://www.oznet.ksu.edu>, 18/06/2009).
47. LAMA, D.D. 2002, Agroforestería con café y cacao, Contribución al alivio de la pobreza rural. ADEX. Desarrollo alternativo, Convenio ADEX-USAID. Pp. 21-23.
48. 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. Numero 1- 2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 44p.
49. LAPEYRE, Z.T. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú In: *Ecología Aplicada* 3(1, 2): 35-44.
50. LOPÉZ, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro del carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 50p.
51. LOPEZ, A.; SCHLÖNVOIGT, 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. 95p.

52. MARQUEZ, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. CO<sub>2</sub> en el uso del suelo. Fundación SOLAR. Guatemala, GU. 31p.
53. MINAG. 2004. Cultivo tecnológico del cacao. Ministerio de Agricultura. Programa para el desarrollo de la amazonia pro amazonia. Perú. 83p.
54. MONTENEGRO, J. y ABARCA, S. 1999. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nítrico en sistemas de producción bovina en Costa Rica. In: Seminario de Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE, Turrialba, Costa Rica 24-26 mayo. 334p.
55. MORAN, E.F; BRONDIZIO, E.S. y TUCKER, J.M. 2000. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. *Forest Ecology and Management*. Pp. 93-106.
56. NABUURS, G. J; GARZA, J. F; KARJALAINEN, T; LAPVETELAINE, T; LISKI, J; MASERA, O.; MOHREN, G. M; PUSSINEN, A. y SCHELHAAS, M.J. 2001. Manual de la comparación de incertidumbres en las estimaciones de secuestro de carbono para un bosque tropical y un bosque templado. *Ecological Modelling* 164 (2003). Bogor - Indonesia. Pp. 177-199.

57. ORTIZ, G. y RIASCOS, C. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* y laurel *Cordia alliodora* (ruiz & pavón) oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica. Universidad de Nariño facultad de ciencias agrícolas San Juan de pasto. 111 páginas disponibles en pdf. (<http://www.worldcocoafoundation.org/infocenter/documentresearchcenter/documents/ortizguerrero2006.pdf>). 26/04/2009.
58. PNUD. 1997. Protocolo de Kyoto para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Pp. 2 - 4.
59. RAMACHANDRAN, 1993. An Introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 125p.
60. 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.
61. REYNEL, C.; PENNINGTON, R.; PENNINGTON, T.; FLORES, C.; y DAZA, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonia Peruana. Lima, Perú. 509p.
62. SALISBURI, F.B. 1999. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamérica. México. 759p.
63. SANCHEZ, P.; BURESH, R. y LEAKEY, B. 1999. Trees soils and food security. Philosophical Transactions of the Royal Society of

London. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 29/02/ 2009).

64. SANTANA, A.C. 2005. Elementos de economía, agronegocio e desenvolvimento local. Serie Acadêmica 01. GTZ, TUD, UFRA, Belém. Brasil. Pp. 63-67.
65. SCHROEDER, P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 25/04/2009).
66. SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de la Salamanca, Costa Rica. Teis Lic. Cs. For herdia. UNA. Costa Rica. 127p.
67. SMITH, J.; SABOGAL, C.; JONG, W. y 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.
68. SOMARRIBA, E. 1994. Maderables como alternativa para la sustitución de sombra de cacaotales establecidos. El concepto. Turrialba, Costa Rica, CATIE 34 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 238).
69. SOMARRIBA, E. y BEER, J. 1999. Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6(22):7-11.

70. SOMARRIBA E.; BEER, J. y BONNEMANN, A. 1996. Árboles leguminosos y maderables como sombra para cacao. El concepto. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 51 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 266).
71. SOMARRIBA, E.; TRIVELATO, M.; VILLALOBOS, M.; SUÁREZ, A.; BENAVIDES, P.; MORÁN, K.; OROZCO, L. y LÓPEZ, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas finca cacaoteras orgánicas de Indígenas Bribri y Cábecar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38):24-30.
72. TAIZ, L. y ZEIGER, E. 1998. *Plant physiology*. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers. Brasil. 32 p.
73. UNEP, GENS. 1992. Los gases que producen el efecto Invernadero. Sánchez – Vélez y Gerón d. traductores. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 41p.
74. VIENA, V.H. 2009. 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 Informe de tesis no Publicado. 95p.
75. ZAVALA. W.S. 2007. Factores edáficos, nutrición mineral y fertilización del cacao. Diplomado en cultivos tropicales; Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo Maria, Perú. 163p.

## **X. ANEXO**

**Cuadro 9.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.

Parcela o transecto A: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.54	9.00	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	25.97	448.71	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.23	12.12	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	22.08	297.62	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.53	5.41	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	34.71	934.76	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.25	42.71	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	35.05	958.10	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.07	51.89	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	37.27	1119.16	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.09	79.29	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.14	181.01	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.38	83.81	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	50.75	2444.02	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.37	83.65	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.78	255.27	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.37	83.65	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	33.42	849.35	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.01	30.82	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	27.94	539.89	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.00	16.27	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.80	149.07	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.47	8.72	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	24.81	399.72	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.27	67.32	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.27	184.31	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.89	76.26	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	25.36	422.52	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.80	21.40	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.65	283.18	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.27	33.12	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	17.95	176.25	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.07	40.83	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.65	283.18	

18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.47	34.96	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.93	292.54
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.28	43.02	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	31.36	723.07
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.74	48.06	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.14	235.84
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.10	64.98	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.25	183.80
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.57	9.13	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.43	120.20
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.76	107.43	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	31.23	715.52
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.54	1.25	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	23.63	353.36
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.74	14.79	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.19	7.63
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.12	52.48	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		9.52	35.42
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.52	45.61	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		8.66	27.88
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.47	8.72	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		3.82	3.52
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.00	11.02	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.80	15.12
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.56	2.94	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.10	11.49
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.44	13.18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.26	4.63
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.94	15.92	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.69	5.91
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.92	22.24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.75	14.84
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.00	16.27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		7.00	16.27
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.12	23.69	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.77	9.98
36	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.48	26.44	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.68	14.46
Sub Total			1308.40						12717.6
Total								14026.0	238.44

**Cuadro 10.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.

Parcela o transecto B: 6 m x 100 m.

N°	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.62	5.69	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	30.15	654.56	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.72	6.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		9.89	39.01	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.69	20.64	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		17.37	162.20	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.89	6.57	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		11.22	53.68	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.96	10.83	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		11.45	56.51	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.93	22.31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		14.60	104.51	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.68	14.46	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.69	88.81	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.45	8.64	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		11.19	53.32	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.57	2.96	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		10.31	43.34	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.00	16.27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		11.13	52.60	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.29	4.71	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.60	87.34	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.95	15.98	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		16.97	152.91	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.38	4.97	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		9.20	32.49	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.80	1.60	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.68	88.64	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.72	3.29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		11.88	62.04	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.50	2.82	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		7.76	21.12	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.84	1.66	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		9.97	39.82	

18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.63	1.37	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.62	46.71
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.91	3.73	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.21	66.49
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.59	3.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.13	7.41
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.59	1.32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.52	26.75
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.91	6.63	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.52	35.42
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.78	1.57	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.76	9.94
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.86	1.69	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.82	48.97
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.70	3.24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.96	50.59
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.67	9.55	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.50	35.24
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.40	8.44	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.58	87.01
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.09	7.27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.79	10.07
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.53	13.65	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.40	8.44
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.95	10.79	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.34	12.67
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.27	7.93	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.23	17.66
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.44	13.18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.80	3.47
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.20	11.97	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.80	21.40
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.50	5.32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.41	8.48
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.77	3.40				
Sub Total			263.45				2289.62	
Total							2553.07	43.40

**Cuadro 11.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.

Parcela o transecto C: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.26	4.63	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.18	32.31	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.49	35.14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.77	21.19	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.65	27.80	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.34	25.35	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.11	11.54	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.63	20.24	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.40	25.81	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.34	55.15	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.02	7.02	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.25	7.86	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.87	21.89	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.64	9.42	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.94	22.38	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.50	2.82	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.18	115.34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.63	124.18	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.30	4.74	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.89	22.03	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.23	4.55	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.51	26.67	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.04	31.08	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.66	20.44	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.36	33.94	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.16	7.52	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.44	44.74	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.81	21.47	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.38	12.87	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.53	13.65	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.86	10.38	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.80	21.40	

17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.53	191.02	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.95	50.47
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.60	46.49	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.35	68.43
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.67	27.96	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.05	11.25
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.07	11.35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.85	10.33
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.77	28.78	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.50	45.39
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.94	15.92	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.38	18.60
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.99	50.94	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.95	22.45
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.82	21.54	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.24	12.17
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.38	18.60	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.04	4.05
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.66	3.15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.30	4.74
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.82	48.97	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.8	21.4
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.39	69.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.58	27.23
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.89	10.51	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.33	55.02
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.50	13.49	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.85	29.45
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.07	11.35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.88	6.53
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.85	29.45	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.72	6.00
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.62	1.35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.10	4.20
Sub Total			1013.72					829.41
Total								1843.13
								31.33

**Cuadro 12.** Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	674.27	31.32	6.34	1.36	1.39
	2	622.12	24.25	5.52	1.42	
B	1	210.64	22.66	5.30	0.49	0.86
	2	475.48	66.25	17.17	1.23	
C	1	521.77	42.24	10.95	1.35	1.29
	2	483.97	58.30	14.64	1.22	
Promedio					1.18	1.18

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

**Cuadro 13.** Determinación de la biomasa de la hojarasca del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	526.15	14.47	8.38	12.19	9.29
	2	256.78	9.57	5.96	6.40	
B	1	130.52	19.01	14.96	4.11	3.72
	2	125.49	29.95	19.84	3.33	
C	1	103.70	11.06	9.26	3.47	5.85
	2	300.24	11.68	8.01	8.24	
Promedio					6.29	6.29

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

**Cuadro 14.** Determinación del carbono almacenado en el suelo del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.

Trans.	H <sub>z</sub>	PROF (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g cc <sup>-1</sup> )	PVs (t ha <sup>-1</sup> )	C (%)	CS (t ha <sup>-1</sup> )	CS (lm prof)
B	O	0-2	0.02	95.43	88.52	0.93	185.53	1.74	3.23	64.17
B	A	2-11	0.09	95.43	117.80	1.23	1111.02	1.19	13.22	
B	C <sub>1</sub>	11-46	0.35	95.43	109.60	1.15	4019.86	0.67	26.93	
B	C <sub>2</sub>	46-73	0.27	95.43	107.50	1.13	3041.62	0.42	12.77	
B	C <sub>3</sub>	73-100	0.27	95.43	101.10	1.06	2861.39	0.28	8.01	

**Cuadro 15.** Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.

Transecto	Arbórea DAP > de 2,5	Arbustiva/ Herbácea	Hojarasca	BVT (t ha <sup>-1</sup> )
A	238.44	1.39	9.29	249.12
B	43.40	0.86	3.72	47.98
C	31.33	1.29	5.85	38.47
Promedio	104.39	1.18	6.29	111.86
C t ha <sup>-1</sup>	46.98	0.53	2.83	50.34

**Cuadro 16.** Carbono almacenado total en el SUT del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 9 años.

Carbono	CBV (t ha <sup>-1</sup> )	CS (t ha <sup>-1</sup> )	C t ha <sup>-1</sup>
Total	50.34	64.17	114.51

CBV: Carbono en la biomasa vegetal, CS: Carbono en el suelo

**Cuadro 17.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.

Parcela o transecto A: 6 m x 100 m.

Nº	N. Común	N. Científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. Común	N. Científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.56	86.69	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	26.33	464.61	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.22	183.04	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.82	198.67	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.63	221.02	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.16	114.95	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.33	241.51	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	22.86	324.95	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	22.33	306.22	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	22.37	307.61	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.71	47.72	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	13.01	78.07	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.09	113.61	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	17.08	155.43	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.58	123.18	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	13.14	80.06	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.60	123.58	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.79	255.58	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.82	75.22	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	22.27	304.15	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.15	96.55	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	32.63	799.47	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.83	198.94	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	26.02	450.90	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.66	59.17	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	14.94	110.78	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.64	124.39	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.58	280.87	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.91	50.01	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	4.77	6.17	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	23.06	332.19	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.87	150.64	

17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.86	75.81	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	13.88	91.96	
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.70	125.60	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	35.04	957.41	
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.64	193.90	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	17.83	173.29	
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.90	92.30	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	12.99	77.76	
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.74	107.07	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	11.70	59.68	
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.78	60.72	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.32	4.80	
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.94	152.23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.46	5.20	
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.64	105.24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.37	8.32	
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.88	62.04	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.16	7.52	
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.25	42.71	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.90	10.56	
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.87	150.64	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.89	6.57	
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.77	60.59	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.05	11.25	
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.24	42.60	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.09	7.27	
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.59	5.59	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		3.79	3.45	
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.44	5.14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		7.39	18.66	
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.27	4.66	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		8.18	24.13	
Sub Total			3669.88						5550.74	
Total									9220.62	156.75

**Cuadro 18.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.

Parcela o transecto B: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.86	1.69	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.41	275.30	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.50	2.82	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.76	254.65	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.90	10.56	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.94	130.51	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.16	11.78	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	19.86	227.64	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.07	16.69	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	33.38	846.78	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.00	16.27	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.46	141.55	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.15	11.73	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	25.84	443.05	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.67	14.40	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.49	121.39	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.59	3.00	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.70	195.48	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.92	6.67	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	36.15	1036.01	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.21	7.71	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	39.08	1261.82	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.83	38.42	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	33.08	827.66	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.53	35.52	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.76	197.07	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.96	39.71	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	24.98	406.69	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.28	24.89	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.17	236.73	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.67	9.55	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.33	272.71	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.64	9.42	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.87	150.64	

18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.29	8.01	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	19.31	212.02
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.37	8.32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.64	87.99
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.33	12.62	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		15.46	120.80
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.21	182.78	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.35	12.72
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.03	178.25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.11	11.54
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.38	68.85	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.46	85.08
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.62	145.06	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		12.96	77.31
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.02	178.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		21.62	282.19
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.39	69.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		10.89	49.78
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.83	173.29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		18.03	178.25
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.65	72.72	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.74	89.63
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.74	107.07	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		16.91	151.55
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.16	52.96	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		15.36	118.83
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.95	39.61	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		14.32	99.51
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.63	87.83	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		10.69	47.50
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.51	121.79	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		17.28	160.08
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.11	11.54	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		6.89	15.63
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.31	12.51					
Sub-total			1791.04					8826.09	
Total								10617.10 180.49	

**Cuadro 19.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.

Parcela o transecto C: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.22	97.77	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.47	45.06	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.60	123.58	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.43	69.56	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.49	57.01	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.67	124.99	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.19	42.08	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.95	39.61	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.02	78.22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.61	46.60	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.39	69.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.57	86.85	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.62	20.17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.89	49.78	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.06	113.04	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.35	118.63	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.05	78.68	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.41	56.01	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.75	89.80	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.62	46.71	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.81	61.11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.98	93.65	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.46	56.64	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.11	11.54	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.50	13.49	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.03	78.37	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.06	113.04	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.80	48.74	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.45	101.82	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.56	57.89	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.65	88.15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.06	154.97	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.68	14.46	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.32	99.51	

18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.35	43.77	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.84	49.20
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.92	22.24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.99	22.74
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.41	187.90	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.33	55.02
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.92	22.24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.22	81.30
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.41	187.90	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.11	95.86
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.57	13.86	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.55	86.53
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.96	22.52	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.93	39.41
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.19	157.98	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.02	30.90
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.14	52.72	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.14	52.72
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.60	58.40	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.04	1.97
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.96	30.39	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.76	3.38
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.95	50.47	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.73	73.89
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.03	154.29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.62	3.07
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.67	36.85	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.81	149.29
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.05	78.68	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.03	40.42
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.39	140.03	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.57	86.85
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.92	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.45	13.23
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.79	38.02				
Sub-total			2591.24					2114.25
Total								4705.49 79.99

**Cuadro 20.** Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	2146.32	41.59	7.08	3.65	3.65
	2	3215.23	41.56	4.70	3.64	
B	1	4983.59	51.05	6.23	6.08	4.68
	2	2300.10	32.52	4.64	3.28	
C	1	3309.08	64.32	7.07	3.64	3.24
	2	2523.93	49.22	5.51	2.83	
Promedio					3.85	3.85

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

**Cuadro 21.** Determinación de la biomasa de la hojarasca del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	720.92	10.02	7.56	21.76	18.55
	2	656.23	35.65	20.82	15.33	
B	1	266.58	12.77	6.18	5.16	10.42
	2	583.26	11.68	7.85	15.68	
C	1	237.47	14.69	6.80	4.40	5.28
	2	269.17	12.66	7.24	6.16	
Promedio					11.42	11.42

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

**Cuadro 22.** Determinación del carbono almacenado en el suelo del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.

Trans.	H <sub>z</sub>	Prof. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g cc <sup>-1</sup> )	PVs (t ha <sup>-1</sup> )	C (%)	CS (t ha <sup>-1</sup> )	CS (lm prof)
B	O	0-2	0.02	95.43	87.88	0.92	184.18	1.78	3.28	67.96
B	A	2-13	0.11	95.43	116.19	1.22	1339.35	1.27	17.01	
B	C <sub>1</sub>	13-51	0.38	95.43	108.99	1.14	4340.13	0.69	29.95	
B	C <sub>2</sub>	51-72	0.21	95.43	107.00	1.12	2354.70	0.40	9.42	
B	C <sub>3</sub>	72-100	0.28	95.43	101.07	1.06	2965.60	0.28	8.30	

**Cuadro 23.** Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.

Transecto	Arbórea DAP > de 2,5	Arbustiva/ Herbácea	Hojarasca	BVT(t ha <sup>-1</sup> )
A	156.75	3.65	18.55	178.95
B	180.49	4.68	10.42	195.59
C	79.99	3.24	5.28	88.51
Promedio	139.08	3.85	11.42	154.35
C t ha <sup>-1</sup>	62.59	1.73	5.14	69.46

**Cuadro 24.** Carbono almacenado total en el SUT del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 10 años.

Carbono	CBV (t ha <sup>-1</sup> )	CS (t ha <sup>-1</sup> )	C t ha <sup>-1</sup>
Total	69.46	67.96	137.42

CBV: Carbono en la biomasa vegetal, CS: Carbono en el suelo

**Cuadro 25.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.

Parcela o transecto A: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.51	165.53	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.60	144.62	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.55	86.53	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.07	113.23	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.56	166.72	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	18.23	183.29	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.27	184.31	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.54	143.30	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.90	62.30	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	23.39	344.35	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.41	69.28	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	16.69	146.61	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.74	89.63	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	23.48	347.71	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.42	84.44	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	13.36	83.49	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.92	130.10	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.54	122.38	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.28	82.23	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	35.01	955.34	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	22.07	297.28	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.40	243.62	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.25	98.29	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	31.80	749.02	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.95	176.25	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.60	249.71	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.37	139.60	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	26.69	480.85	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.54	35.61	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		12.47	70.13	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.90	92.30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.62	87.66	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.08	52.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		15.28	117.27	
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.59	192.59	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		16.55	143.52	
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.92	175.51	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		17.04	154.51	

20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.30	160.55	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.57	5.53
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.02	232.30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	21.91	291.86
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.19	157.98	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.79	148.84
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.69	252.48	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.92
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.73	106.88	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.84	149.97
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.90	259.01	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.72	59.94
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.94	152.23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.03	30.99
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.23	32.76	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.74	196.54
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.72	89.30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.71	47.72
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.48	189.72	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.13	114.38
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.87	91.79	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.61	104.69
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.86	75.81	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.39	187.39
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.19	80.83	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.51	102.89
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.65	194.16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.54	122.38
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.22	209.53	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	23.74	357.53
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.17	96.90	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.79	90.46
36	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.57	122.98	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	21.20	268.52
37	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.45	84.92	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.02	22.96
38	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.86	91.62	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.83	173.29
39	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.87	129.07				
Sub-total			5191.32					7431.41
Total								12622.73
								214.59

**Cuadro 26.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.

Parcela o transecto B: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.33	55.02	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	15.50	121.59	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.51	26.67	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.47	277.26	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.64	105.24	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	19.77	225.03	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.76	3.38	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.80	255.89	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.45	8.64	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	25.15	413.73	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.18	80.67	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	13.41(M.P)	84.28	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.89	76.26	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.57	248.79	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.81	48.86	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	20.80	255.89	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.67	59.30	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.19	268.20	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.01	94.15	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	17.17	157.21	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	22.51	312.51	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	17.01	153.83	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.73	106.88	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	22.63	316.74	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.41	119.81	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		14.28	98.81	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.82	61.25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		20.10	234.66	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.25	183.80	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		25.22	416.65	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	24.25	377.29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		10.24	42.60	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.14	156.82	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		12.73	73.89	
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.32	185.59	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		14.40	100.93	
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.11	180.25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		19.11	206.51	

20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.03	178.25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.10	206.24
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.96	152.69	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	21.09	265.01
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.60	192.85	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.51	246.96
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.49	121.39	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.46	189.20
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.79	225.61	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.68	28.04
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.60	144.62	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	21.52	278.90
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.56	166.72	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.63	193.64
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.32	99.51	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.90	228.80
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.95	93.14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.14	235.84
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.62	14.13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.05	233.19
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.31	117.85	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	22.09	297.97
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	23.72	356.77	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	24.26	377.68
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.14	2.14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.29	160.31
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.50	190.24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	24.61	391.62
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	18.28	184.57	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	20.63	250.63
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.07	113.23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.15	65.66
36	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.41	119.81	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.49	217.06
37	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.29	160.31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.71	89.14
38	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.26	159.61				
Sub Total			5035.83					7908.38
Total								12944.21 220.05

M.P: Muerto en pie

**Cuadro 27.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.  
parcela o transecto C: 6 m x 100 m.

Nº	N. común	N. científico	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.12	7.38	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	21.43	275.95	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.38	119.22	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	32.27	777.34	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.44	44.74	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	22.28	304.49	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.39	214.25	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	14.32 (M.P)	99.51	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.17	115.15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		21.72	285.50	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.53	86.21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		14.48	102.35	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.29	98.99	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		13.62	87.66	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.04	64.17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.09	7.27	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.72	126.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		19.10	206.24	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.26	210.64	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.31	4.77	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.76	126.81	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		5.43	8.56	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.22	209.53	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4.00	3.95	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.98	177.00	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		2.81	1.62	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.23	136.60	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		2.82	1.63	

15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	15.12	114.19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.28	2.39
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	19.42	215.09	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.77	6.17
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.03	154.29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.54	2.90
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.19	157.98	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.28	2.39
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.41	8.48	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.99	1.89
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.39	162.67	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.94	1.81
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.87	150.64	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.55	1.26
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.15	80.21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.69	1.45
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.06	154.97	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	4.23	4.55
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.07	133.22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.49	2.80
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	17.39	162.67	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.94	1.81
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.87	109.47	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.67	3.18
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.55	103.61	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	3.50	2.82
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	16.55	143.52	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	5.59	9.21
Sub Total			3587.70					2211.47
TOTAL							5799.17	98.59

M.P: Muerto en pie

**Cuadro 28.** Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	1149.18	36.41	4.64	1.46	1.53
	2	764.89	36.07	7.48	1.59	
B	1	1475.24	34.76	5.83	2.47	1.82
	2	862.85	52.07	6.99	1.16	
C	1	1403.42	32.56	7.81	3.37	3.07
	2	1255.64	33.65	7.43	2.77	
Promedio					2.14	2.14

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

**Cuadro 29.** Determinación de la biomasa de la hojarasca del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	222.24	12.03	8.77	6.48	6.27
	2	220.86	13.36	9.16	6.06	
B	1	226.55	13.42	9.90	6.69	8.35
	2	323.64	8.24	6.37	10.01	
C	1	106.74	16.54	10.31	2.66	3.00
	2	143.61	11.66	6.77	3.34	
Promedio					5.87	5.87

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

**Cuadro 30.** Determinación del carbono almacenado en el suelo del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.

Trans.	Hz	Prof. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g cc <sup>-1</sup> )	PVs (t ha <sup>-1</sup> )	C (%)	CS (t ha <sup>-1</sup> )	CS (lm prof)
B	O	0-2	0.02	95.43	86.94	0.91	182.21	1.84	3.35	68.75
B	A	2-14	0.12	95.43	115.42	1.21	1451.43	1.35	19.59	
B	C <sub>1</sub>	14-54	0.40	95.43	108.00	1.13	4527.06	0.67	30.33	
B	C <sub>2</sub>	54-79	0.25	95.43	107.00	1.12	2803.22	0.41	11.49	
B	C <sub>3</sub>	79-100	0.21	95.43	100.46	1.05	2210.78	0.18	3.98	

**Cuadro 31.** Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.

Transecto	Arbórea DAP > de 2,5	Arbustiva/ Herbácea	Hojarasca	BVT(t ha <sup>-1</sup> )
A	214.59	1.53	6.27	222.39
B	220.05	1.82	8.35	230.22
C	98.59	3.07	3.00	104.66
Promedio	177.74	2.14	5.87	185.75
C t ha <sup>-1</sup>	79.98	0.96	2.64	83.58

**Cuadro 32.** Carbono almacenado total en el SUT del SAF cacao + laurel (9 años), en la edad de 11 años.

Carbono	CBV (t ha <sup>-1</sup> )	CS (t ha <sup>-1</sup> )	C t ha <sup>-1</sup>
Total	83.59	68.75	152.34

CBV: Carbono en la biomasa vegetal, CS: Carbono en el suelo

**Cuadro 33.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 9 años. Parcela o transecto A: 4 m x 25 m.

Nº	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	3	2.96	1.84	
2	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	4.87	6.50	
3	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	3	2.84	1.66	
4	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	14	11.21	53.56	
5	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	5	4.01	3.97	
6	Yanabarilla	<i>Acalypha</i> sp.	4	3.76	3.38	
7	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	3.96	3.85	
8	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	7	5.06	7.16	
9	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	4	3.40	2.62	
10	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	6	6.95	15.98	
11	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	3	2.81	1.62	
12	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	3	2.93	1.80	
13	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	10	8.77	28.78	
14	Pata de buey	<i>Bahuinia</i> sp.	3	3.75	3.35	
15	Shimbillo	<i>Inga</i> sp.	4	2.86	1.69	
16	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	10	8.91	29.96	
17	Matico	<i>Piper</i> sp.	4	2.55	1.26	
18	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	4	2.80	1.60	
19	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	14	27.19	503.97	
Sub-total					674.55	
Total						67.46

**Cuadro 34.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 9 años. Parcela o transecto B: 4 m x 25 m.

Nº	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	4.46	5.20	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.22	2.28	
2	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	3	2.55	1.26	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	2.91	1.77	
3	Shimbillo	<i>Inga</i> sp.	8	3.69	3.22	Anonilla	<i>Annona</i> sp.	4	2.52	1.23	
4	Shimbillo	<i>Inga</i> sp.	9	3.37	2.56	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	3	2.55	1.26	
5	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	3	2.55	1.26	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	7	4.01	3.97	
6	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	3	3.22	2.28	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	4	2.61	1.34	
7	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	7	5.02	7.02	Quillosa	<i>Vochysia vismiifolia</i>	5	2.53	1.24	
8	Atadijo	<i>Trema micrantha</i>	6	6.75	14.84	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	4.11	4.23	
9	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.92	3.75	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	3	2.58	1.30	
10	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	3	2.58	1.30	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	2.83	1.65	
11	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	5	4.52	5.38	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	3.48	2.78	
12	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.69	3.22	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	3	2.93	1.80	
13	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	3	2.84	1.66	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	3.31	2.45	
14	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	3	2.91	1.77	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.66	3.15	
15	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	5	4.46	5.20	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.34	2.50	
16	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	6	3.82	3.52	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.01	1.92	
17	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	2.93	1.80	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	4.33	4.83	
18	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	6	3.45	2.72	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	5	6.02	11.11	
19	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	2.99	1.89	Quillosa	<i>Vochysia vismiifolia</i>	5	2.97	1.86	
20	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	2.67	1.42	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	7	11.43	56.26	
21	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	2.86	1.69	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	3	2.67	1.42	
22	Ocuera	<i>Vernonia patens</i>	4	3.37	2.56						
Sub-total					75.52						110.35
Total										185.87	18.59

**Cuadro 35.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del Bosque secundario en la edad de 9 años.

Parcela o transecto C: 4 m x 25 m.

Nº	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	3.92	3.75	
2	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	4.75	6.10	
3	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	3	2.74	1.52	
4	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	3	2.93	1.80	
5	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	4	4.14	4.31	
6	Yanabarilla	<i>Acalypha</i> sp.	5	4.20	4.47	
7	Shimbillo	<i>Inga</i> sp.	3	2.51	1.21	
8	Anonilla	<i>Annona</i> sp.	5	2.58	1.30	
9	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	4	2.94	1.81	
10	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	5	3.22	2.28	
11	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	4	4.46	5.20	
12	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	4	3.57	2.96	
13	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	4	2.61	1.34	
14	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	4	2.62	1.35	
15	Ocuera	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.	4	3.34	2.50	
16	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	4	2.71	1.47	
17	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	11	9.51	35.33	
18	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	4	4.00	3.95	
19	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	5	3.89	3.68	
20	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	6	5.54	9.00	
21	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	15	26.52	473.14	
22	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	7	6.27	12.32	
Sub-total					580.79	
Total						58.08

**Cuadro 36.** Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del bosque secundario en la edad de 9 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	877.29	26.38	8.39	2.79	2.23
	2	701.44	45.09	10.75	1.67	
B	1	955.37	52.91	13.04	2.35	1.45
	2	260.20	52.15	10.93	0.55	
C	1	417.12	44.24	19.48	1.84	1.95
	2	945.16	69.44	15.05	2.05	
Promedio					1.88	1.88

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

**Cuadro 37.** Determinación de la biomasa de la hojarasca del bosque secundario en la edad de 9 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	574.45	13.18	11.75	20.48	15.78
	2	441.84	19.19	12.02	11.07	
B	1	179.44	27.26	24.40	6.42	10.01
	2	533.73	33.27	21.20	13.60	
C	1	387.95	25.39	17.96	10.98	9.17
	2	214.26	18.55	15.92	7.36	
Promedio					11.65	11.65

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

**Cuadro 38.** Determinación del carbono almacenado en el suelo del bosque secundario en la edad de 9 años.

Trans.	Hz	Pro. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g cc <sup>-1</sup> )	PVs (t ha <sup>-1</sup> )	C (%)	CS (t ha <sup>-1</sup> )	CS (lm prof)
B	O	0-11	0.11	95.43	74.03	0.78	853.36	1.97	16.81	82.85
B	E	11-30	0.19	95.43	115.41	1.21	2297.89	0.33	7.58	
B	A	30-65	0.35	95.43	109.89	1.15	4030.50	1.05	42.32	
B	B	65-100	0.35	95.43	100.00	1.05	3667.76	0.44	16.14	

**Cuadro 39.** Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del bosque secundario en la edad de 9 años.

Transecto	Arbórea DAP > de 2,5	Arbustiva/ Herbácea	Hojarasca	BVT(t ha <sup>-1</sup> )
A	67.46	2.23	15.78	85.47
B	18.59	1.45	10.01	30.05
C	58.08	1.95	9.17	69.20
Promedio	48.04	1.88	11.65	61.57
C t ha <sup>-1</sup>	21.62	0.85	5.24	27.71

**Cuadro 40.** Carbono almacenado total en el SUT del bosque secundario en la edad de 9 años.

Carbono	CBV (t ha <sup>-1</sup> )	CS (t ha <sup>-1</sup> )	C t ha <sup>-1</sup>
Total	27.71	82.85	110.56

CBV: Carbono en la biomasa vegetal, CS: Carbono en el suelo

**Cuadro 41.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 10 años.

Parcela o transecto A: 4 m x 25 m.

Nº	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA ( t ha <sup>-1</sup> )
1	Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>	11	14.96	111.15	
2	Shimbillo	<i>Inga</i> sp.	13	21.54	279.55	
3	Yanabarilla	<i>Acalypha</i> sp.	5	5.27	7.93	
4	Atadijo	<i>Trema micrantha</i> L. Blume	6	6.85	15.4	
5	Yanahuasca	<i>G. chlorntha</i> Diles	7	7.00	16.27	
6	Guayabilla	<i>Psidium</i> sp.	6	5.25	7.86	
7	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i> C. Martius	7	4.13	4.28	
8	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i> C. Martius	12	14.62	104.87	
9	Atadijo	<i>Trema micrantha</i> L. Blume	8	(MP)18.68	194.96	
10	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i> C. Martius	8	9.52	35.42	
11	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	8	9.43	34.58	
12	Moena amarilla	<i>Aniba amazonica</i> (Meiz Mez)	4	5.45	8.64	
13	Matico	<i>Piper</i> sp.	4	2.55	1.26	
14	Anonilla	<i>Annona</i> sp.	6	6.71	14.62	
15	Moracea	<i>Moraceae</i>	6	6.47	13.33	
16	Retama	<i>Senna reticulata</i> (Willd)	5	8.15	23.91	
17	Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	5	4.38	4.97	
18	Anonilla	<i>Annona</i> sp.	7	7.24	17.72	
Sub-total					896.72	
Total						89.67

M.P: Muerto en pie

**Cuadro 42.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 10 años. Parcela o transecto B: 4 m x 25 m.

N°	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	20	21.86	290.18	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	4	4.65	5.78	
2	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	15	11.70	59.68	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	14	9.39	34.21	
3	Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>	14	17.64	168.65	Huampo	<i>Croton lechleri</i>	16	23.78	359.06	
4	Yanabarilla	<i>Acalypha</i> sp.	5	4.30	4.74	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	9	7.14	17.11	
5	Pata de buey	<i>Bahuinia</i> sp.	3	3.72	3.29	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	12	8.28	24.89	
6	Yanabarilla	<i>Acalypha</i> sp.	3	18.02	178.00	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	3	5.41	8.48	
7	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	23	12.14	65.53	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	18	15.93	130.30	
8	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	18	12.08	64.71	Huicungo	<i>Astrocaryum</i> sp.	8	22.28	304.49	
9	Pata de buey	<i>Bahuinia</i> sp.	4	5.28	7.97	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	10	10.32	43.45	
10	Anonilla	<i>Annona</i> sp.	6	4.77	6.17	NN	NN	4	9.07	31.34	
11	Moracea	<i>Moraceae</i>	7	5.62	9.34	Atadijo	<i>Trema micrantha</i>	10	12.65	72.72	
12	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	8	5.54	9.00	Shimbillo	<i>Inga</i> sp.	3	3.69	3.22	
13	Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	15	12.73	73.89	Achiotillo	<i>Bixa</i> sp.	7	5.29	8.01	
14	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	16	9.16	32.13						
Sub-total					973.28						1043.06
Total										2016.34	201.63

**Cuadro 43.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 10 años.

Parcela o transecto C: 4 m x 25 m.

N°	N. común	N. científico	HT	DAP	BA	N. común	N. científico	HT	DAP	BA	BA (t ha <sup>-1</sup> )
			(m)	(cm)	(kg árbol <sup>-1</sup> )			(m)	(cm)	(kg árbol <sup>-1</sup> )	
1	Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>	11	10.38	44.09	Matico	<i>Piper sp.</i>	5	3.21	2.26	
2	Cetico	<i>Cecropia sp.</i>	23	23.55	350.34	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	6	5.55	9.05	
3	Cetico	<i>Cecropia sp.</i>	24	22.95	328.19	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	7	5.04	7.09	
4	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	7	5.22	7.75	Matico	<i>Piper sp.</i>	4	2.55	1.26	
5	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	6	4.48	5.26	Cetico	<i>Cecropia sp.</i>	18	14.97	111.34	
6	Yanabarilla	<i>Acalypha sp.</i>	2	2.67	1.42	Yanabarilla	<i>Acalypha sp.</i>	5	4.91	6.63	
7	Cetico	<i>Cecropia sp.</i>	9	7.70	20.71	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	4	3.03	1.96	
8	Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>	15	19.00	203.52	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	8	7.04	16.51	
9	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	9	7.97	22.60	Yanabarilla	<i>Acalypha sp.</i>	3	3.38	2.58	
10	Atadijo	<i>Trema micrantha</i>	14	19.48	216.78	Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>	14	18.96	202.43	
11	Yanabarilla	<i>Acalypha sp.</i>	5	3.50	2.82	Matico	<i>Piper sp.</i>	2	3.95	3.83	
12	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	8	7.07	16.69	Yanabarilla	<i>Acalypha sp.</i>	7	15.60	123.58	
13	Yanabarilla	<i>Acalypha sp.</i>	3	2.90	1.75						
Sub -total					1221.92						488.52
Total									1710.44	171	

**Cuadro 44.** Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del bosque secundario en la edad de 10 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	89.51	33.80	7.13	0.19	0.36
	2	281.66	25.51	4.75	0.52	
B	1	267.37	35.23	7.75	0.59	0.49
	2	117.90	14.52	4.78	0.39	
C	1	117.00	14.83	4.18	0.33	0.28
	2	87.74	13.36	3.49	0.23	
Promedio					0.38	0.38

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

**Cuadro 45.** Determinación de la biomasa de la hojarasca del bosque secundario en la edad de 10 años. Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	401.51	38.07	15.69	6.62	7.31
	2	491.48	24.62	10.01	7.99	
B	1	944.75	76.10	35.60	17.68	17.15
	2	1153.72	27.79	10.01	16.62	
C	1	580.25	30.10	11.10	8.56	10.79
	2	546.94	19.56	11.63	13.01	
Promedio					11.75	11.75

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

**Cuadro 46.** Determinación del carbono almacenado en el suelo del bosque secundario en la edad de 10 años.

Trans.	Hz	Prof. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g cc <sup>-1</sup> )	PVs (t ha <sup>-1</sup> )	C (%)	CS (t ha <sup>-1</sup> )	CS (lm prof)
B	O	0-5	0.05	95.43	79.97	0.84	419.02	2.56	10.73	88.99
B	A	5-25	0.20	95.43	109.66	1.15	2298.32	1.31	30.11	
B	AB	25-50	0.25	95.43	103.21	1.08	2703.92	0.83	22.44	
B	B <sub>1</sub>	50-85	0.35	95.43	97.53	1.02	3577.17	0.57	20.39	
B	B <sub>2</sub>	85-100	0.15	95.43	94.05	0.99	1478.37	0.36	5.32	

**Cuadro 47.** Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del bosque secundario en la edad de 10 años.

Transecto	Arbórea DAP > de 2,5	Arbustiva/ Herbácea	Hojarasca	BVT (t ha <sup>-1</sup> )
A	89.67	0.36	7.31	97.34
B	201.63	0.49	17.15	219.27
C	171.04	0.28	10.79	182.11
Promedio	154.11	0.38	11.75	166.24
C t ha <sup>-1</sup>	69.35	0.17	5.29	74.81

**Cuadro 48.** Carbono almacenado total en el SUT del bosque secundario en la edad de 10 años.

Carbono	CBV (t ha <sup>-1</sup> )	CS (t ha <sup>-1</sup> )	C t ha <sup>-1</sup>
Total	74.81	88.99	163.80

CBV: Carbono en la biomasa vegetal, CS: Carbono en el suelo

**Cuadro 49.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 11 años. parcela o transecto A: 4 m x 25 m.

N°	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )
1	Aceite caspi	<i>Caraipa tereticaulis</i>	13	15.53	122.18	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	4	2.95	1.83	
2	Uvilla	<i>Pourouma</i> sp.	7	2.55	1.26	Papelillo caspi	<i>Courataria macrosperma</i>	6	3.76	3.38	
3	Huangana caspi	<i>Histeria</i> sp.	15	9.89	39.01	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	11.88	62.04	
4	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	6	5.13	7.41	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	5	4.33	4.83	
5	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	6	3.15	2.16	Papelillo caspi	<i>Courataria macrosperma</i>	5	2.61	1.34	
6	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	9.10	31.6	Huangana caspi	<i>Histeria</i> sp.	7	4.00	3.95	
7	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	12	19.81	226.19	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	11.22	53.68	
8	Huangana caspi	<i>Histeria</i> sp.	14	8.38	25.65	Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	6	9.14	31.96	
9	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	11	11.40	55.89	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	3	2.73	1.5	
10	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	6	3.15	2.16	NN	NN	10	10.23	42.49	
11	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	10	12.89	76.26	Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	4	3.02	1.94	
12	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	6	3.64	3.11	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	5	4.77	6.17	
13	NN	NN	4	2.54	1.25	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	9	9.39	34.21	
14	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	6	3.85	3.59	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	6	7.35	18.41	
15	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	3	3.32	2.47	Huangana caspi	<i>Histeria</i> sp.	15	11.30	54.66	
16	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	12	12.54	71.13	Cetico	<i>Cecropia utcubambana</i>	8	7.11	16.93	
17	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	12	12.73	73.89	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	15	23.87	362.51	
Sub-total					745.21						701.83
Total										1447.04	144.70

**Cuadro 50.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del Bosque secundario en la edad de 11 años.

Parcela o transecto B: 4 m x 25 m.

N°	N. Común	N. Científico	HT	DAP	BA	N. Común	N. Científico	HT	DAP	BA	BA (t ha <sup>-1</sup> )	
			(m)	(cm)	(Kg árbol <sup>-1</sup> )			(m)	(cm)	(Kg árbol <sup>-1</sup> )		
1	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	6	5.47	8.72	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	4	2.58	1.30		
2	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	6	7.51	19.44	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	5	4.62	5.69		
3	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	8.79	28.95	Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	4	2.99	1.89		
4	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	4	2.53	1.24	Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	4	2.58	1.30		
5	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	10.61	46.6	Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	4	3.63	3.09		
6	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	5	4.41	5.06	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	12	13.53	86.21		
7	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	11.19	53.32	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	8.91	29.96		
8	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	18	24.57	390.01	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	9	8.41	25.89		
9	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	12	14.44	101.64	Huangana caspi	<i>Histeria sp</i>	10	6.50	13.49		
10	Huangana caspi	<i>Histeria sp.</i>	6	4.34	4.86	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	17	18.56	191.8		
11	Huangana caspi	<i>Histeria sp.</i>	16	17.38	162.43	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	5	4.55	5.47		
12	Huangana caspi	<i>Histeria sp.</i>	10	7.44	18.99	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	4	3.25	2.34		
13	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	8.98	30.56	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	11	13.87	91.79		
14	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	16	22.89	326.03	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	4	2.93	1.80		
15	Uvilla	<i>Pouruma sp.</i>	6	2.90	1.75	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	18	26.74	483.14		
16	Uvilla	<i>Pouruma sp.</i>	6	2.96	1.84							
Sub Total			1201.44						945.16			
Total									2146.60			214.66

**Cuadro 51.** Diámetro y determinación de la biomasa arbórea (BA) del bosque secundario en la edad de 11 años.

Parcela o transecto C: 4 m x 25 m.

Nº	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg árbol <sup>-1</sup> )	N. común	N. científico	HT (m)	DAP (cm)	BA (kg/árbol <sup>-1</sup> )	BA (t ha <sup>-1</sup> )	
1	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	9.74	37.53	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	7	6.53	13.65		
2	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	9.93	39.41	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	13	12.67	73.01		
3	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	12	11.63	58.79	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	15	16.81	149.29		
4	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	5	3.05	1.99	Uvilla	<i>Pourouma</i> sp.	7	3.95	3.83		
5	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	12	12.26	67.18	Carahuasca	<i>Guateria melosma</i>	7	3.12	2.11		
6	Papelillo caspi	<i>Courataria macrosperma</i>	15	28.52	568.70	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	9.05	31.17		
7	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	5	4.11	4.23	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	8	7.52	19.51		
8	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	12	18.33	185.85	Carahuasca	<i>Guateria melosma</i>	8	3.37	2.56		
9	Cetico	<i>Cecropia sciadophylla</i>	4	2.58	1.30	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	6	5.12	7.38		
10	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	19	22.83	323.87	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	15	15.47	120.99		
11	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	8.75	28.62	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	4	2.58	1.30		
12	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	9.52	35.42	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	4	2.79	1.59		
13	Paliperro	<i>Vitex trifolia</i>	10	8.53	26.83	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	6	3.24	2.32		
14	Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	4	2.86	1.69	Rubiaceae	<i>Rubiaceae</i>	7	6.51	13.54		
15	NN	NN	12	9.28	33.21	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	10	9.54	35.61		
16	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	15	17.83	173.29	Carahuasca	<i>Guateria melosma</i>	15	12.46	69.99		
17	Sachauvilla	<i>Pourouma minor</i>	8	7.64	20.30	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	17	28.49	567.18		
Sub-total					1608.21						1115.03	
Total											2723.24	272.32

**Cuadro 52.** Determinación de la biomasa arbustiva/herbácea del bosque secundario en la edad de 11 años. Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	398.52	20.78	7.96	1.53	1.23
	2	316.09	20.73	6.03	0.92	
B	1	183.93	31.49	11.16	0.65	0.82
	2	235.87	26.52	11.12	0.99	
C	1	160.35	8.73	3.82	0.70	0.69
	2	211.38	18.54	5.90	0.67	
Promedio					0.91	0.91

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

**Cuadro 53.** Determinación de la biomasa de la hojarasca del bosque secundario en la edad de 11 años. Área de muestreo: 0.5 x 0.5 m.

Transecto	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio/ transecto
A	1	296.20	13.46	6.32	5.56	9.61
	2	740.60	15.71	7.24	13.65	
B	1	794.08	15.00	8.12	17.19	18.80
	2	805.74	13.62	8.62	20.40	
C	1	803.84	16.96	11.27	21.37	17.83
	2	552.28	19.26	12.46	14.29	
Promedio					15.41	15.41

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

**Cuadro 54.** Determinación del carbono almacenado en el suelo del bosque secundario en la edad de 11 años.

Trans.	Hz	Prof. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g cc <sup>-1</sup> )	PVs (t ha <sup>-1</sup> )	C (%)	CS (t ha <sup>-1</sup> )	CS (lm prof)
B	O	0-5	0.05	95.43	71.00	0.74	372.02	4.09	15.22	96.15
B	A	5-17	0.12	95.43	104.79	1.10	1317.75	2.06	27.15	
B	B <sub>1</sub>	17-37	0.20	95.43	101.99	1.07	2137.57	0.89	19.02	
B	B <sub>2</sub>	37-56	0.19	95.43	105.96	1.11	2109.74	0.65	13.71	
B	B <sub>3</sub>	56-100	0.44	95.43	106.15	1.11	4894.47	0.43	21.05	

**Cuadro 55.** Determinación del carbono almacenado en la biomasa vegetal total (BVT) del bosque secundario en la edad de 11 años.

Transecto	Arbórea DAP > de 2,5	Arbustiva/ herbácea	Hojarasca	BVT(t ha <sup>-1</sup> )
A	144.70	1.23	9.61	155.54
B	214.66	0.82	18.80	234.28
C	272.32	0.69	17.83	290.84
Promedio	210.56	0.91	15.41	226.89
C t ha <sup>-1</sup>	94.75	0.41	6.94	102.10

**Cuadro 56.** Carbono almacenado total en el SUT del bosque secundario en la edad de 11 años.

Transecto	CBV (t ha <sup>-1</sup> )	CS (t ha <sup>-1</sup> )	C t ha <sup>-1</sup>
Promedio	102.10	96.15	198.25

CBV: Carbono en la biomasa vegetal, CS: Carbono en el suelo

**Cuadro 57.** Análisis de varianza del almacenamiento de carbono total (biomasa aérea + suelo) en un sistema agroforestal cacao + laurel comparado con un bosque secundario en tres edades.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F.cal	F. tab	SIG
Tratamientos	5	16227.10	3245.42	2.99	3.11 - 5.06	NS
Error experimental	12	13027.52	1085.63			
Total	17	29254.62				

NS: No significativo, \*: Significativo, C.V : Coeficiente de variación

C.V (%) 22.55

**Cuadro 58.** Prueba de T (comparación de medias) en un sistema agroforestal cacao + laurel vs. un Bosque secundario para las tres edades.

Edad	Tratamientos	Sistema de uso de tierra	Carbono en la biomasa aérea		Carbono en el suelo		Carbono Total	
					(t ha <sup>-1</sup> )			
9	T <sub>1</sub>	SAF cacao + laurel		<b>50.34</b>		<b>64.17</b>		<b>114.51</b>
10	T <sub>2</sub>	SAF cacao + laurel	69.46	NS	67.96	NS	137.42	NS
11	T <sub>3</sub>	SAF cacao + laurel	83.59	NS	68.75	NS	152.42	NS
9	T <sub>4</sub>	Bosque secundario	27.71	NS	82.85	*	110.56	NS
10	T <sub>5</sub>	Bosque secundario	74.81	NS	88.99	*	163.80	NS
11	T <sub>6</sub>	Bosque secundario	102.10	NS	96.15	*	198.25	*
10	T <sub>2</sub>	SAF cacao + laurel		<b>69.46</b>		<b>67.96</b>		<b>137.42</b>
11	T <sub>3</sub>	SAF cacao + laurel	83.59	NS	68.75	NS	152.42	NS
9	T <sub>4</sub>	Bosque secundario	27.71	NS	82.85	*	110.56	NS
10	T <sub>5</sub>	Bosque secundario	74.81	NS	88.99	*	163.80	NS
11	T <sub>6</sub>	Bosque secundario	102.10	NS	96.15	*	198.25	*
11	T <sub>3</sub>	SAF cacao + laurel		<b>83.59</b>		<b>68.75</b>		<b>152.34</b>
9	T <sub>4</sub>	Bosque secundario	27.71	NS	82.85	*	110.56	NS
10	T <sub>5</sub>	Bosque secundario	74.81	NS	88.99	*	163.80	NS
11	T <sub>6</sub>	Bosque secundario	102.10	NS	96.15	*	198.25	NS
9	T <sub>4</sub>	Bosque secundario		<b>27.71</b>		<b>82.85</b>		<b>110.56</b>
10	T <sub>5</sub>	Bosque secundario	74.81	NS	88.99	*	163.80	NS
11	T <sub>6</sub>	Bosque secundario	102.10	*	96.15	*	198.25	*
10	T <sub>5</sub>	Bosque secundario		<b>74.81</b>		<b>88.99</b>		<b>163.80</b>
11	T <sub>6</sub>	Bosque secundario	102.10	NS	96.15	*	198.25	NS

NS = No significativo,

\* = Significativo



Compra de semilla de arboles	Kg.	0.40	349	139.60								
Compra de plantones de hijuel	Unid.	0.50	525	262.50								
Guano de isla	kg.	1.20	444	532.80	333	399.60	333	399.60	333	399.60	333	399.60
Roca fosfórica	kg.	0.80	444	355.20	222	177.60	222	177.60	222	177.60	222	177.60
Sulfomak	kg.	1.90	88	167.20	111	210.90	333	632.70	333	632.70	333	632.70
Dolomita	kg.	0.30	333	99.90	333	99.90	333	99.90	333	99.90	333	99.90
Cupravit	kg.	45.00	1	45.00								
Abono foliar	Lt	15.00	2	30.00								
Transporte de insumos	Kg.	0.10	888	88.80	444	44.40	333	33.30	333	33.30	333	33.30
Transporte de plantones	Unid.	0.10	1411	141.10								
Agrotin	Lt	18.00					1	18.00	1	18.00	1	18.00
Compost	kg.	0.20	4500	900.00	4500	900.00	4500	900.00	4500	900.00	4500	900.00
<b>Gastos generales</b>				981.62		981.62		981.62		981.62		981.62
Imprevistos	5 %			327.21		327.21		327.21		327.21		327.21
Asistencia Técnica	5 %			327.21		327.21		327.21		327.21		327.21
Administración	5 %			327.21		327.21		327.21		327.21		327.21
<b>Total</b>				<b>7525.72</b>		<b>3309.02</b>		<b>4082.72</b>		<b>4142.72</b>		<b>4142.72</b>

**Cuadro 60.** Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal cacao + laurel.

Años	Producción de cacao kgs.	Precio kgs.	Producción de plátano racimo	Precio racimo	Ing. bruto plátano (s/.ha <sup>-1</sup> )	Ing. bruto cacao (s/.ha <sup>-1</sup> )	Costos (s/.ha <sup>-1</sup> )	Ing. neto (s/.ha <sup>-1</sup> )
1							7525.72	-7525.72
2			600.00	6.00	3600.00		3309.02	290.99
3	400.00	3.50	1000.00	6.00	6000.00	1400.00	4082.72	3317.29
4	800.00	4.00	600.00	6.00	3600.00	3200.00	4142.72	2657.29
5	900.00	4.00	400.00	6.00	2400.00	3600.00	4142.72	1857.29
6	950.00	4.50				4275.00	4142.72	132.29
7	958.00	4.50				4311.00	4142.72	168.29
8	980.00	5.00				4900.00	4142.72	757.29
9	1043.00	6.40				6675.20	4142.72	2532.49
10	1052.00	6.50				6838.00	4142.72	2695.29
11	1110.00	6.70				7437.00	4142.72	3294.29
Ingreso promedio neto								1770.28
VAN		14%	Anual				1077.69	
TIR								17.81%
B/C								1.16

**Cuadro 61.** Proyección económica del laurel a partir de los quince años en un SAF de cacao.

Años	Pies tablares Árbol <sup>-1</sup>	Cantidad de árboles	Precio pie tablar	Ingreso bruto madera de laurel (s/.ha <sup>-1</sup> )	Costos (s/.ha <sup>-1</sup> )	Ingreso neto (s/.ha <sup>-1</sup> )
15	630	333	2.84	595803.6	4142.72	599097.86

**Cuadro 62.** Costos de producción para el Bosque secundario en 1 hectárea.

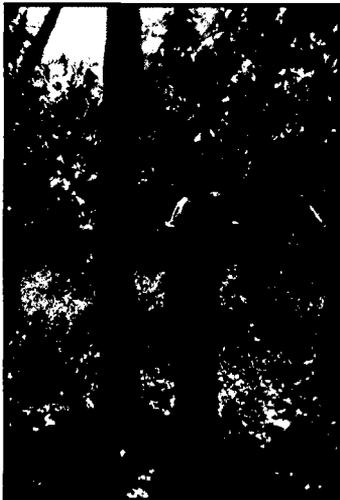
Labores agronómicas	Precio		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5-11	
	Unid.	Unit.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.	Cant.	Tot.
<b>A. Gastos del cultivo</b>				225.00		150.00		225.00		150.00		150.00
Manejo y conservación de la purma	Jor.	15.00	15	225.00	10	150.00	15	225.00	10	150.00	10.00	150.00
<b>B. Gastos especiales</b>				210.00		70.00		210.00		46.00		80.00
Machete	Unidad	12.00	15	180.00	5	60.00	15	180.00	3	36.00	5	60.00
Lima		10.00	3	30.00	1	10.00	3	30.00	1	10.00	2	20.00
<b>C. Gastos generales</b>				43.50		43.50		43.50		43.50		43.50
Imprevistos (Asistencia Técnica)	10%			43.50		43.50		43.50		43.50		43.50
<b>T o t a l</b>				478.50		263.50		478.50		239.50		273.50
VAN 14%				Anual 330.91				TIR 19.77				B/C 1.79

**Cuadro 63.** Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del Bosque secundario.

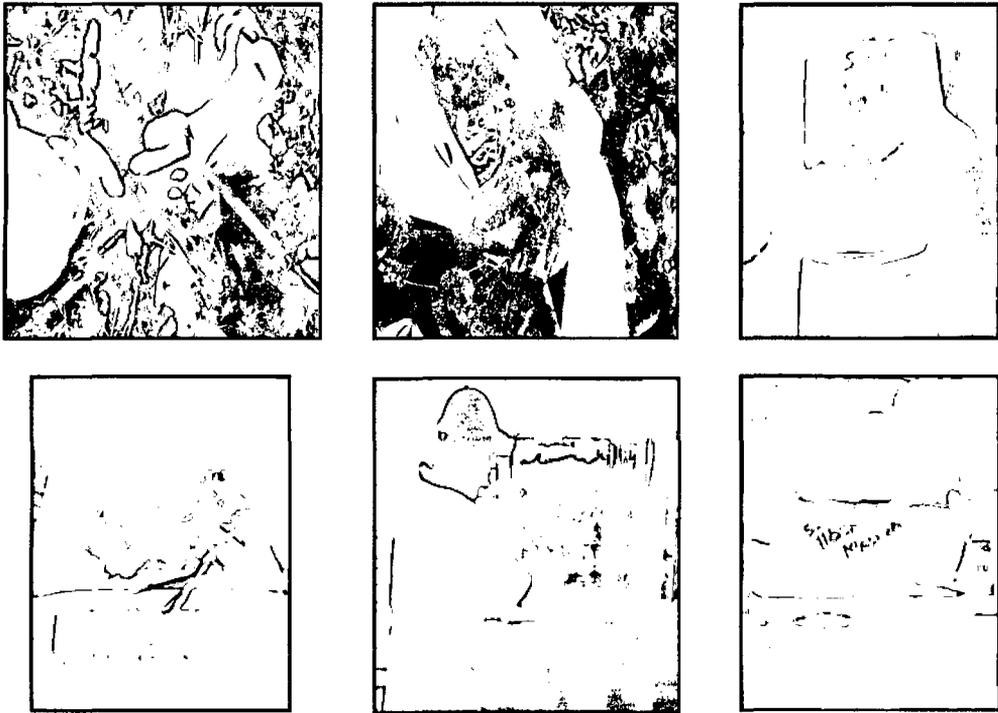
Años	Precio unidad	Ingreso bruto (s/.ha <sup>-1</sup> )	Costos (s/.ha <sup>-1</sup> )	Ingreso neto (s/.ha <sup>-1</sup> )
1			478.50	-478.50
2			263.50	-263.50
3			478.50	-478.50
4			239.50	239.50
5	20.00	800.00	273.50	526.50
6	20.00	800.00	273.50	526.50
7	20.00	800.00	273.50	526.50
8	20.00	800.00	273.50	526.50
9	20.00	900.00	273.50	626.50
10	20.00	900.00	273.50	626.50
11	20.00	900.00	273.50	626.50
Ingreso promedio neto				569.36



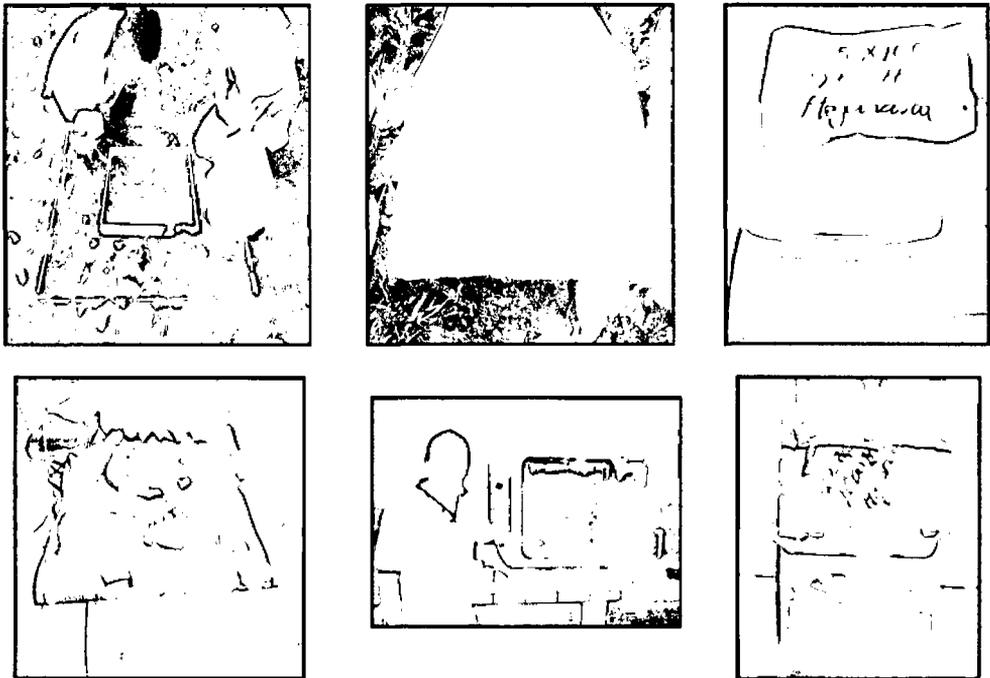
**Figura 9.** Delimitación del área en estudio del SAF cacao + laurel



**Figura 10.** Midición del DAP del SAF laurel (izquierda), cacao (centro) y bosque secundario (derecha)



**Figura 11.** Determinación de la biomasa de plantas arbustivas y herbáceas



**Figura 12.** Determinación de la biomasa seca (hojarasca)

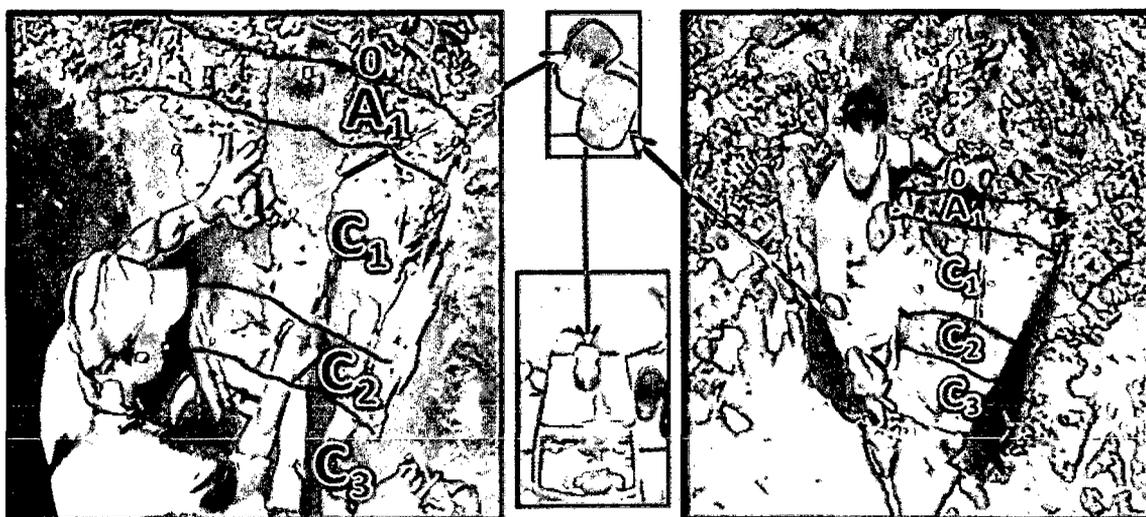


Figura 13. Determinación de los horizontes del SAF de 9 y 11 años y, cálculo la densidad aparente.

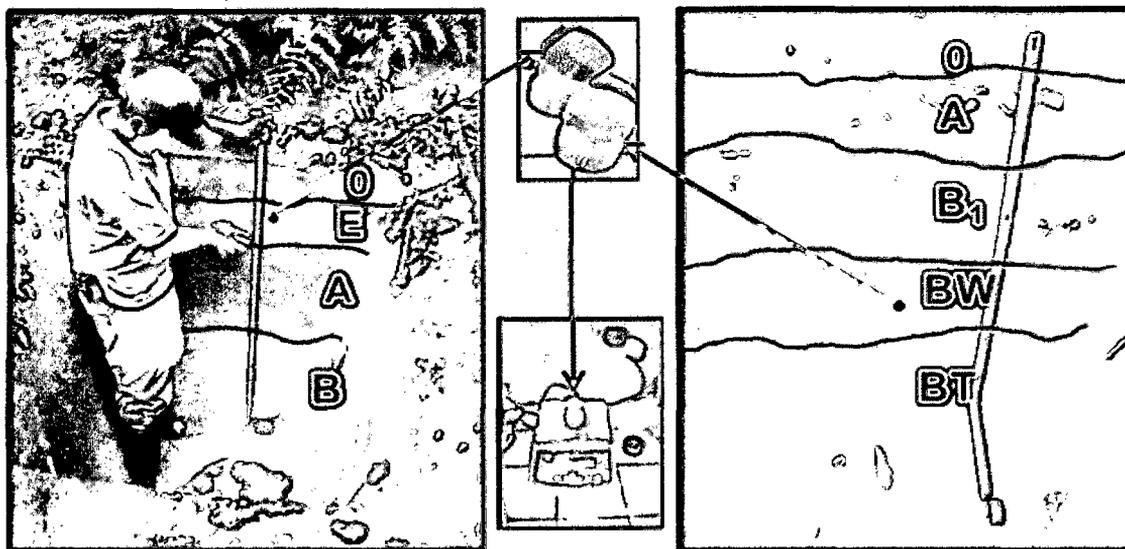


Figura 14. Determinación de los horizontes del bosque secundario de 9 y 11 años y, cálculo la densidad aparente.