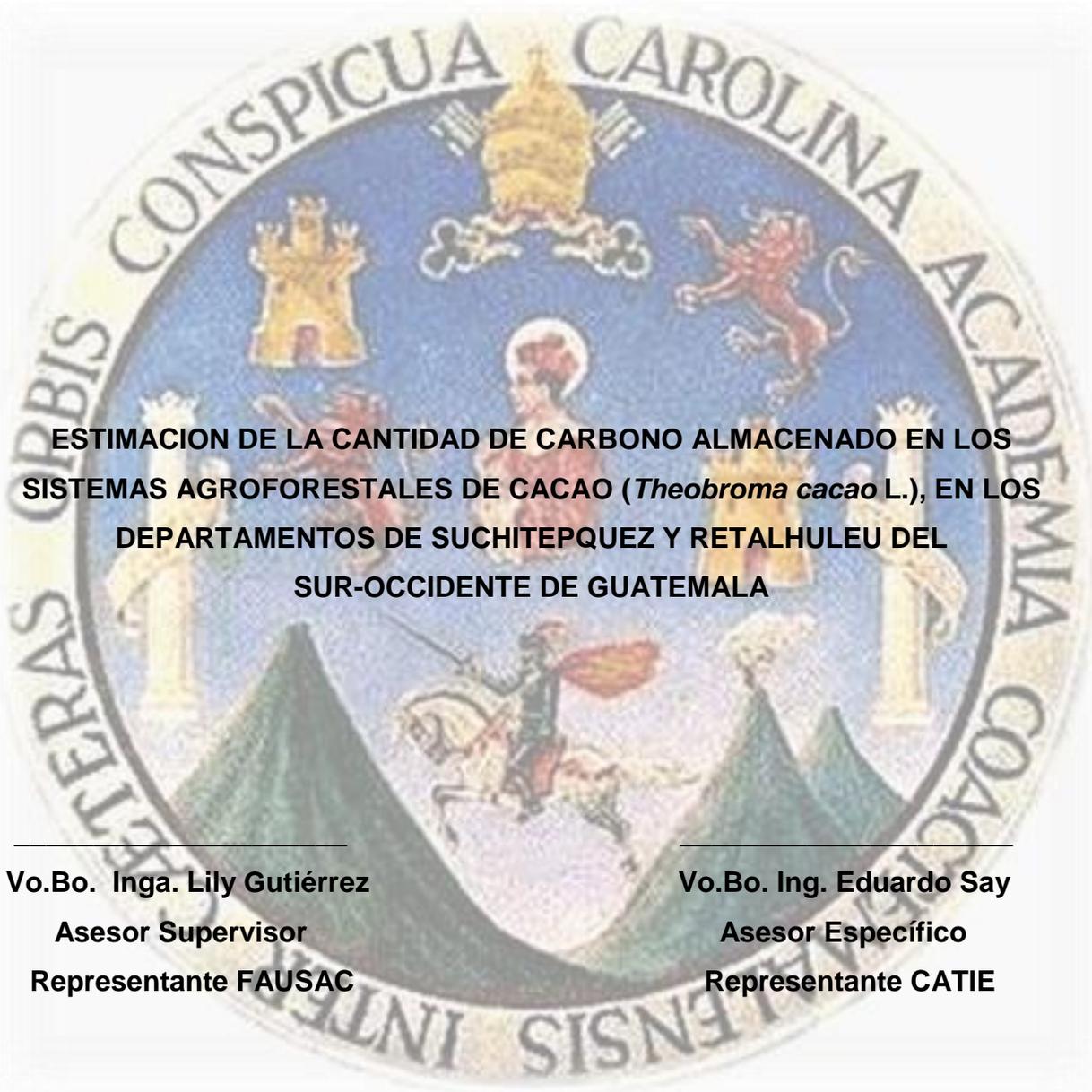


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**



**ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN LOS  
SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), EN LOS  
DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPQUEZ Y RETALHULEU DEL  
SUR-OCCIDENTE DE GUATEMALA**

---

**Vo.Bo. Inga. Lily Gutiérrez**  
**Asesor Supervisor**  
**Representante FAUSAC**

---

**Vo.Bo. Ing. Eduardo Say**  
**Asesor Específico**  
**Representante CATIE**

**HÉCTOR ALFREDO DAVILA ROMERO**

**Guatemala, noviembre del 2011**

# INDICE

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	3
<b>2.1 Marco Teórico</b> .....	3
2.1.1 Cambio climático.....	3
2.1.2 Efecto invernadero.....	3
2.1.3 Gases de efecto de invernadero.....	4
2.1.4 Principales gases de efecto invernadero.....	5
2.1.4.1 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	5
2.1.4.2 Metano (CH <sub>4</sub> ).....	6
2.1.4.3 Monóxido de Carbono (CO).....	6
2.1.4.4 Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	6
2.1.4.5 Clorofluorocarbonos (CFC's).....	7
2.1.5 Carbono (C).....	7
2.1.6 Almacenamiento y fijación de Carbono.....	7
2.1.7 Ciclo de Carbono.....	8
2.1.8 Sumideros de Carbono.....	9
2.1.9 Biomasa y Carbono.....	10
2.1.10 Sistemas Agroforestales y fijación de Carbono.....	12
2.1.10.1 Carbono fijado.....	13
2.1.10.2 Carbono no emitido.....	13
2.1.10.3 Captura unitaria de Carbono.....	14
2.1.11 Parámetros técnicos para inventarios de Carbono.....	16
2.1.11.1 Biomasa aérea.....	16
2.1.11.2 Biomasa abajo del suelo.....	16
2.1.11.3 Hojarasca y materia vegetal muerta.....	17
2.1.11.4 Suelos.....	17
2.1.12 Ecuaciones o modelos alométricos.....	18
<b>2.2 Marco Referencial</b> .....	20
2.2.1 Protocolo de Kyoto y mercado de Carbono.....	20
2.2.1.1 Comercio de emisiones (Ce).....	20
2.2.1.2 Implementación conjunta (Ic).....	20
2.2.1.3 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).....	21
2.2.2 Pago por Servicios Ambientales.....	22
2.2.3 Condiciones edafoclimáticas del área de estudio.....	23
2.2.4 Sistemas agroforestales de cacao.....	26
2.2.4.1 Descripción de la especie de cacao.....	27

2.2.5 Estudios similares realizados en Guatemala.....	28
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 General.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Específicos.....</b>	<b>30</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Fase de campo.....</b>	<b>31</b>
4.1.1 Toma de muestras.....	34
4.1.1.1 Muestreo de suelos.....	35
4.1.1.2 Muestreo de hojarasca.....	37
4.1.1.3 Muestreo de necromasa.....	39
4.1.1.4 Muestreo de biomasa.....	40
<b>4.2 Fase de Laboratorio.....</b>	<b>45</b>
4.2.1 Muestras de suelo.....	45
4.2.1.1 Análisis físico.....	45
4.2.1.2 Preparación de la muestra representativa de suelo	45
4.2.2 Muestras de hojarasca, necromasa y raíces finas.....	47
4.2.2.1 Preparación de las muestras para el envío al	
laboratorio.....	47
4.2.3 Análisis del laboratorio aplicado a las muestras.....	49
4.2.3.1 Método utilizado para la cantidad de carbono de las	
muestras de suelo, hojarasca, raíces finas y	
necromasa en el laboratorio.....	49
<b>4.3 Fase de Gabinete.....</b>	<b>50</b>
4.3.1 Análisis estadístico.....	50
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>51</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>71</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro No.1:</b> Resumen de las opciones para la captura de Carbono (C).....	13
<b>Cuadro No.2:</b> Almacenamiento de carbono ( $tCh^{-1}$ ) de 36 sistemas agroforestales de cacao en el Sur-Occidente de Guatemala.....	51
<b>Cuadro No.3:</b> Medias de las características de sitio y composición botánica de tres conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao	57
<b>Cuadro No.4:</b> Formulas alométricas utilizadas por especie, identificadas dentro de los 36 sistemas agroforestales de cacao muestreados.....	60
<b>Cuadro No.5:</b> Promedio de diámetro y altura de los diferentes tipos de especie leñosas en los tres conglomerados formados.....	64
<b>Cuadro No.6:</b> Análisis de varianza y prueba de Duncan para el almacenamiento de carbono ( $tCh^{-1}$ ) de tres conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao.....	67

## LISTA DE GRAFICAS

<b>Grafica No.1:</b> Temperatura Media Mensual del área de estudio.....	23
<b>Grafica No.2:</b> Temperatura Media Anual del área de estudio.....	24
<b>Grafica No.3:</b> Precipitación Mensual del área de estudio.....	24
<b>Grafica No.4:</b> Precipitación anual del área de estudio.....	25
<b>Grafica No.5:</b> Variables de paisaje y sitio de cada uno de los tres conglomerados que forman la red de muestreo.....	55
<b>Grafica No.6:</b> Abundancia de especies leñosas por hectárea en los tres conglomerados formados.....	62
<b>Grafica No.7:</b> Cantidad de carbono en biomasa aérea y raíces gruesas de especies leñosas en los 3 conglomerados formados.....	63
<b>Grafica No.8:</b> Cantidad de Materia Orgánica (%) de los conglomerados formados de los 36 sistemas agroforestales muestreados.....	65
<b>Grafica No.9:</b> Cantidad de biomasa y carbono almacenado en los componentes de hojarasca, raíces finas y necromasa en los tres conglomerados formados.....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura No.1:</b> Esquema representativo del Efecto Invernadero.....	4
<b>Figura No.2:</b> Concentración de dióxido de carbono en la atmosfera terrestre (azul) y la temperatura media global (rojo), en los últimos 1,000 años.....	5
<b>Figura No.3:</b> Componentes del almacenamiento de carbono.....	12
<b>Figura No.4:</b> Características de la red de estudio.....	33
<b>Figura No.5:</b> Diseño de la ubicación de la parcela de muestreo dentro del cacaotal seleccionado.....	34
<b>Figura No.6:</b> División de la parcela de muestreo en 10 celdas identificadas con códigos.....	35
<b>Figura No.7:</b> Toma de la submuestra de suelo en las parcelas de muestreo.....	36
<b>Figura No.8:</b> Ubicación de la toma de las submuestras de hojarasca en las parcelas de muestreo.....	38
<b>Figura No.9:</b> Diseño de toma de submuestras de raíces finas en las parcelas de muestreo.....	40
<b>Figura No.10:</b> Cálculos de las mediciones de altura y distancia.....	43
<b>Figura No.11:</b> Dendrograma de los conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao con base en variables de paisaje, sitio, composición botánica y carbono almacenado.....	54
<b>Figura No.12:</b> Biplot de componentes principales con todas las variables de estudio y tres conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao.....	58

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografía No.1:</b> Introducción del cilindro en el suelo.....	36
<b>Fotografía No.2:</b> Extracción del suelo del cilindro.....	36
<b>Fotografía No.3:</b> Submuestra de suelo.....	37
<b>Fotografía No.4:</b> Secado de las muestras a temperatura ambiente.....	37
<b>Fotografía No.5:</b> Cuadro de muestreo de 50 * 50 cm.....	38
<b>Fotografía No.6:</b> Recolección de la hojarasca en campo.....	38
<b>Fotografía No.7:</b> Registro de datos.....	39
<b>Fotografía No.8:</b> Secado de la muestra de hojarasca a temperatura ambiente.....	39
<b>Fotografía No.9:</b> Extracción de las raíces finas de 0-20 cm de profundidad.....	41

<b>Fotografía No.10:</b> Sub-muestra de raíces finas.....	41
<b>Fotografía No.11:</b> Toma de circunferencia de arboles de sombra a 1.3 m del suelo (DAP).....	42
<b>Fotografía No.12:</b> Toma de circunferencia de arboles de cacao a 0.30 m del suelo.....	42
<b>Fotografía No.13:</b> Medición de la altura de arboles de cacao utilizando cinta diamétrica y vara.....	42
<b>Fotografía No.14:</b> Medición de la altura de arboles de sombra utilizando un clinómetro.....	42

## 1. INTRODUCCION

En las últimas décadas, con el desarrollo acelerado de algunas economías, la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera ha aumentado considerablemente, dando como resultado una serie de alteraciones al planeta (Cambio Climático) causados generalmente por el hombre y fuerzas naturales (11), que incluyen el aumento en la temperatura (en los últimos 100 años la temperatura media anual del aire ha aumentado entre 0.3°C y 0.7°C) atribuido principalmente al aumento de las emisiones de GEI (6). El Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), es el segundo gas de importancia que interviene en el efecto invernadero del planeta y proviene del cambio de uso de la tierra, la deforestación en zonas tropicales, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en países desarrollados (4) (9).

Debido a esta problemática mundial y sus posibles efectos sobre presentes y próximas generaciones y recursos naturales, es que la mitigación del cambio climático se ha convertido en un reto primordial para la economía y la ciencia dedicada a la conservación del medio ambiente. Una forma de mitigar el cambio climático radica en reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> mediante la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) que son capaces de capturar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea y subterránea, y en el suelo, manteniéndolo por largos periodos de tiempo (14).

Los sistemas agroforestales (SAF), al asociar especies leñosas con cultivos agrícolas se convierten en una opción económica y ecológica para mitigar el cambio climático (Captura de Carbono) (Albrecht & Kandi/2003, Baer *et ál*, 2003, Swamy & Puri 2005, Andrade 2007). Estudios realizados recientemente indican que la ordenación local de los bosques con miras al secuestro de Carbono podría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en una proporción equivalente al 11-15% de las emisiones producidas por la quema de combustible fósil durante el mismo periodo (5).

En el caso particular de Guatemala, existe poca información en cuanto a estimación de biomasa y cuantificación de Carbono en los sistemas agroforestales, solamente existe información sobre algunas especies forestales, tal es el caso de los estudios realizados por Montepeque Sierra, Cordón y Lee Pinto por parte de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) y estimaciones de Carbono en el sistema agroforestal de Café por parte de Fundación Solar (13).

En el Sur-Occidente de Guatemala (departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu), existen diferentes usos de tierra dedicadas a la producción de café, tubérculos, plátano, banano, granos básicos y cacao. De lo anterior se destacan los Sistemas Agroforestales de Cacao, ya que además de producir cacao, producen otros bienes como madera, frutas, entre otras, y principalmente proveen servicios ambientales, tales como secuestro de Carbono y conservación de la biodiversidad.

La presente investigación pretende contribuir con la generación de datos y análisis específicos sobre la captura de Carbono en los sistemas agroforestales de cacao del Sur-Occidente de Guatemala (Suchitepéquez y Retalhuleu) como parte de estudio del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE-Costa Rica-). Por ende se realizó una estimación del Carbono almacenado en los diferentes componentes del sistema: Suelo, raíces finas y gruesas, hojarasca, necromasa y biomasa aérea, para tener una estimación completa y confiable del Carbono almacenado. Además se analizó las diferentes correlaciones que existen con respecto a las condiciones de paisaje, sitio y composición botánica del dosel de sombra del cacao, dentro del Carbono total y en diferentes componentes del sistema.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Marco Teórico**

#### **2.1.1 Cambio Climático**

El Cambio Climático Global o Calentamiento Global, es un proceso de origen antrópico, que resulta de la aceleración del efecto invernadero natural de la tierra. La importancia de este proceso radica en las consecuencias catastróficas que está generando en todo el mundo como el derretimiento de los polos, incremento del nivel de mar, sequías, huracanes, tormentas, desplazamiento de áreas agrícolas, migración de enfermedades, extinción de especies, entre otras (39).

#### **2.1.2 Efecto Invernadero**

El efecto invernadero, es un fenómeno natural que ha permitido mantener la temperatura de la tierra a niveles constantes y apropiados. Este fenómeno ocurre, cuando la radiación solar visible penetra hasta la superficie de la tierra y la calienta, y ésta a su vez emite radiación térmica, parte de la cual es retenida por los denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI) entre los que se destacan: el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Metano (CH<sub>4</sub>), Clorofluorocarbonos (CFC's) y Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O). Cuando el sistema climático se encuentra equilibrado, la radiación solar absorbida está en armonía con la radiación emitida al espacio por la tierra, pero cuando la concentración de GEI en la atmósfera aumenta, este equilibrio se rompe y se provoca un aumento artificial en la temperatura media global del planeta (34).

Según el tercer informe del grupo I del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel On Climate Change -IPCC 2001-) (IPCC por sus siglas en inglés), desde finales del siglo XIX la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado 0.6°C y las temperaturas mínimas tienden a duplicarse por década en comparación con las máximas (0.2°C y 0.1°C, respectivamente). La superficie de los hielos en el hemisferio Norte desde finales

de los 60s, se ha reducido entre un 10-15%, así como también se ha observado un aumento ligero (uno a dos centímetros por década) del nivel del mar a lo largo del siglo XX.

### 2.1.3 Gases de efecto invernadero

La tierra de forma natural está cubierta por gases que permiten la entrada de la energía solar, la cual calienta su superficie. Este es un efecto natural que mantiene a la tierra con una temperatura promedio arriba del punto de congelación y permite la vida tal como la conocemos. Sin embargo, algunos de los gases en la atmósfera, llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), impiden el escape de este calor hacia el espacio, incrementando la concentración de radiación calórica en la atmósfera baja y calentando la tierra (Figura 1). Las actividades humanas de los últimos tiempos (sobre la segunda mitad del siglo pasado), han incrementado la producción de GEI (principalmente de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), lo que acelera y agrava el problema de calentamiento de la tierra (2).



Fuente: Encarta 2009

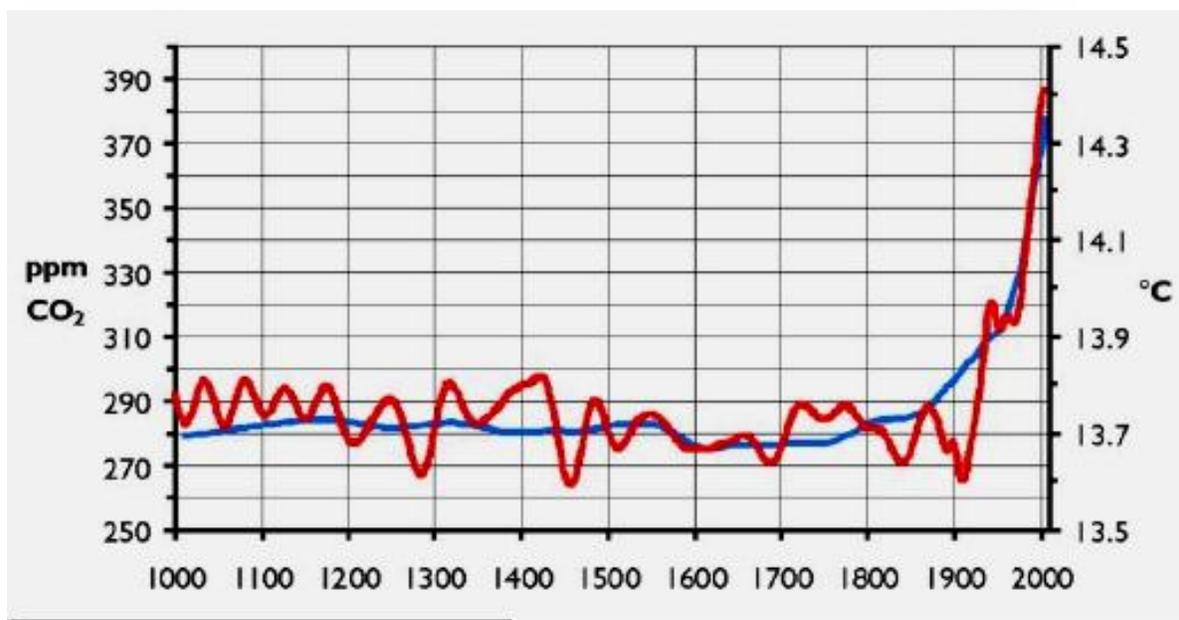
Figura No.1: Esquema representativo del Efecto Invernadero.

## 2.1.4 Principales Gases de Efecto Invernadero

### 2.1.4.1 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

Se estima que el GEI que más influye en el calentamiento climático mundial, es el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y que la mayor parte del incremento en las concentraciones atmosféricas de este gas, provienen del uso de combustibles fósiles, mientras que el 20-25% proviene de la extensión de la frontera agrícola, la explotación comercial de bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos (Erickson, J. 1992).

Desde la revolución industrial, la concentración de gases de efecto invernadero se ha incrementado rápidamente; la concentración de 360 ppm del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en 1990, resultó 25% mayor que en la etapa preindustrial (antes de 1750), cuyo valor era de alrededor de 280 ppm (15).



Fuente: Wikipedia 2007

Figura No.2: Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre (azul) y la temperatura media global (rojo), en los últimos 1000 años.

#### 2.1.4.2 Metano (CH<sub>4</sub>)

El metano, producido mayormente por la degradación microbiana de compuestos orgánicos bajo condiciones anaeróbicas, es el tercer gas de importancia que interviene en el efecto invernadero del planeta. Su potencial de absorción de rayos infrarrojos procedentes de la tierra es 11 veces superior a la del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Por este motivo, a pesar de su baja concentración en la atmósfera (1.7 ppm frente a 334 ppm de CO<sub>2</sub>), el CH<sub>4</sub>, contribuye en aproximadamente 17% al calentamiento actual del planeta (19). Trabajos recientes muestran que el incremento de este gas en la atmósfera, se tornó al 1% anual, esto puede estar parcialmente producido por un descenso de la capacidad de oxidación en los suelos. (33)

#### 2.1.4.3 Monóxido de Carbono (CO)

Se obtiene por combustión incompleta de combustibles y se acumula en las urbes metropolitanas por ausencia de corrientes de aire, por alta concentración de fuentes emisoras y por la baja densidad de vegetación y suelo descubierto. Es un gas venenoso, incoloro, inodoro e insípido, que al ser inhalado obstaculiza la capacidad de la sangre para absorber el Oxígeno, lo cual afecta la facultad de ver, percibir y pensar, los reflejos se tornan más lentos, causa somnolencia e incluso inconsciencia y a veces puede causar la muerte a los humanos cuando son expuestos a concentraciones mayores a 750 ppm, ya que la sangre tiene una afinidad por el CO de 210-240 veces mayor que por el Oxígeno. (42).

#### 2.1.4.4 Oxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)

Es otro gas implicado en el efecto invernadero del globo. Se encuentra en la atmósfera con una concentración media de 350ppm (que aumenta en 0.2-0.3% al año) y tiene un potencial de absorción de rayos infrarrojos 180 veces superior a la del CO<sub>2</sub>. Pero además, este gas también contribuye a la destrucción de la capa de

ozono de la estratosfera (19). El Óxido Nitroso se produce de forma natural en los suelos a través de la nitrificación y la desnitrificación. Aunque el conocimiento sobre las emisiones de Oxido Nitroso desde el suelo es todavía incompleto, diferentes estudios muestran que el manejo intensivo de los suelos es uno de los motivos del actual aumento del nivel de Oxido Nitroso en la atmósfera (33).

#### 2.1.4.5 Clorofluorocarbonos (CFC's)

Es otra forma de gases que incluso se utilizan como sustitutos al HFC's (Hidrofluorocarbonos), que es otro gas de menor efecto. No existe como fuente natural, pero como fuente artificial, proviene de productos para la refrigeración, propelentes de envases pulverizadores (aerosoles) (7).

#### 2.1.5 Carbono (C)

En la naturaleza el Carbono se halla en; el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos); en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico; en los organismos vivos, quienes se constituyen por compuestos de Carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento desarrollo, y son liberados cuando se mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo se constituye de Carbono, por lo que es uno de los más importantes de la vida (18).

#### 2.1.6 Almacenamiento y fijación de Carbono

El almacenamiento y la fijación de Carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales. La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan Carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles.

La fijación de Carbono en especies leñosas perennes se basa en dos premisas; **Primero**, el CO<sub>2</sub> es un gas atmosférico que circula en el planeta, por lo tanto, las actividades dirigidas a eliminar GEI de la atmósfera tendrán la misma eficacia tanto si se realiza cerca de las fuentes de emisiones, como en el extremo opuesto del globo terrestre; **Segundo**, las plantas absorben CO<sub>2</sub> de la atmósfera en el proceso de fotosíntesis y la utilizan para sintetizar azúcares y otros compuestos orgánicos utilizados en el crecimiento y el metabolismo (27).

### 2.1.7 Ciclo de Carbono

El ciclo del Carbono comienza con la fijación del Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el CO<sub>2</sub> y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO<sub>2</sub> así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO<sub>2</sub>. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultado que el Carbono de sus tejidos se oxide en CO<sub>2</sub> y regrese a la atmósfera (30).

La velocidad de absorción del CO<sub>2</sub> es directamente proporcional al crecimiento de los árboles, preservar los bosques naturales es una manera poco eficaz de fijar CO<sub>2</sub>, de lo contrario, una ordenación de especies leñosas perennes aprovechadas en el mejor momento, convertir la madera en productos duraderos y promover la regeneración, permite fijar el máximo posible de Carbono; evidentemente esta medida de aprovechamiento tiene límites, pues la utilización industrial de los bosques no es factible desde el punto de vista de conservación del ecosistema, de la biodiversidad y del fondo genético (23).

De esta forma, el manejo de plantaciones de especies leñosas perennes con diferentes enfoques de manejo permiten generar servicios ambientales, paisaje, control del clima y conservación de agua, variabilidad genética, biomasa, etc. Además, la producción de especies leñosas perennes es un sistema de múltiples entradas y salidas, desde el punto de vista de la fijación de Carbono, se asume que generan un proceso de producción multi-entrada/doble-salida, donde se analiza el manejo del bosque con respecto a la producción de dos servicios principales: Madera y Carbono Orgánico (17).

En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de "Sumideros de Carbono" (8).

#### 2.1.8 Sumideros de Carbono

Entre los sumideros de Carbono, se encuentran los propios suelos agrícolas, cuya capacidad de almacenar Carbono está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los mismos (35).

Una parte del Carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración. Los bosques del mundo absorben 110 Gt Carbono/año, mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt Carbono/año y por medio de la descomposición emiten de 54 a 55 Gt Carbono/año (30).

Investigaciones recientes sugieren que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución significativa en controlar los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera; actividades de uso de la tierra que pueden contribuir a este fin son: La conservación de bosque en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación y agroforestería. La alternativa más viable de ampliación de sumideros de GEI es la forestación de nuevas áreas de tierra que presentan características favorables para ello. Las variables a considerar para elevar al

máximo la fijación de Carbono incluyen: Las especies de árboles a plantar, las tasas de crecimiento y la longevidad de las mismas, las características del sitio a forestar, los períodos de rotación y la duración y uso de los productos forestales a extraer (12).

Por otro lado, los bosques en crecimiento se convierten en sumideros de Carbono al registrar una absorción neta de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, en la biomasa y en el suelo. El hombre puede, mediante la ordenación forestal, modificar la magnitud de las reservas de Carbono e inducir cambios en la circulación de este elemento, alterando así la función de tales reservas en el ciclo del Carbono y posiblemente afectando el clima en forma positiva (3).

La deforestación contribuye al aumento del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera de dos formas: Disminuyendo la cobertura vegetal (capaz de fijar Carbono atmosférico) y por la liberación de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida parte de la materia orgánica en el suelo (16).

#### 2.1.9 Biomasa y Carbono

La biomasa se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen (32). Los estudios de biomasa son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que explican la distribución de la materia orgánica en el sistema y permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio en el ecosistema (40).

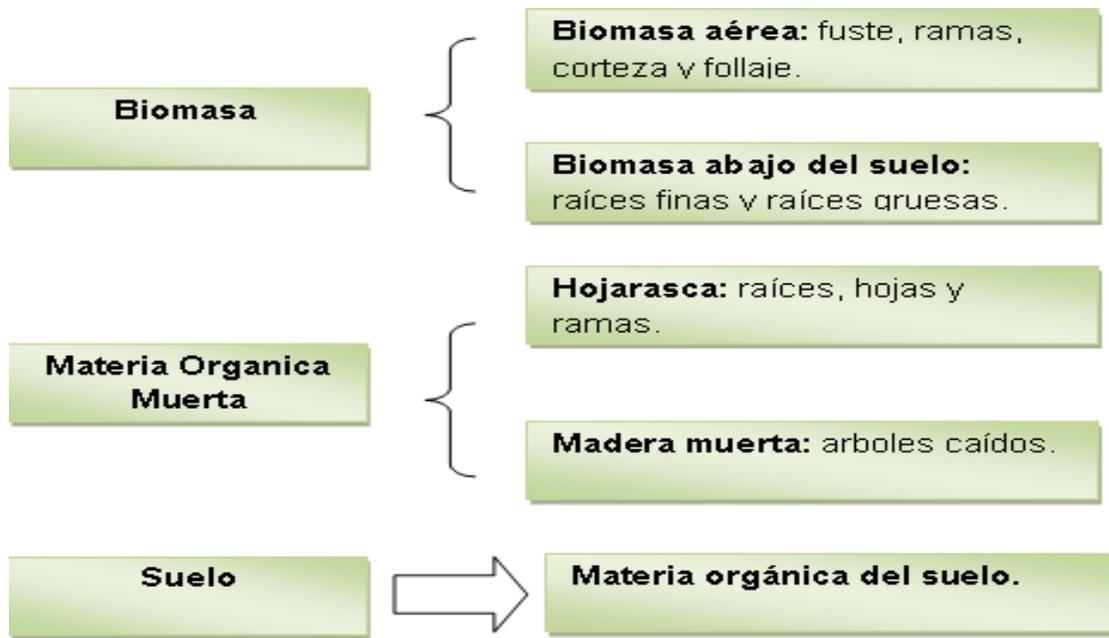
Existen diferentes métodos para estimar la biomasa, los utilizados más frecuentemente son: **a)** Aplicación de una ecuación de regresión específica a especies de árboles individuales a diámetro y/o otras medidas de los árboles, **b)** Aplicación de una ecuación de regresión genérica a diámetro y otras medias de árboles, **c)** Estimación de tablas de biomasa específicas para especies o genéricas basadas en diámetro y/o altura, **d)** Uso de tablas de rendimiento estándar para estimar el volumen de fuste y aplicando la gravedad específica se

convierte a biomasa de fuste, posteriormente se aplica un factor de expansión para estimar biomasa total del árbol, e) Uso de la técnica del árbol promedio (MacDicken 1997 y Snowdon et al. 2001, citados por Andrade s.f).

Estudios realizados tanto en Norteamérica como en Europa y Asia, concuerdan en que la evaluación de la biomasa arbórea debe contemplar la separación de componentes en fuste, hojas y ramas, debería separarse también corteza y raíces (24).

En términos porcentuales el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representado entre 55 al 77% del total, luego están las ramas, de 5 a 37%; seguido por las hojas entre 1 a 15% y finalmente la corteza del fuste entre 5 a 16% respectivamente (32). La contribución porcentual de los diferentes componentes (fuste, corteza, ramas, hojas y raíces) en la biomasa total de un árbol varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento del agro-ecosistema (32).

Los ecosistemas forestales se pueden identificar diferentes compartimientos en los cuales se almacena el Carbono. En términos generales se habla de la biomasa aérea, necromasa, biomasa subterránea, Carbono en el suelo, productos derivados de la madera en el caso de aprovechamiento forestal y otros productos no maderables (31).



Fuente: IPCC, 2003.

Figura No.3: Componentes del almacenamiento de carbono.

#### 2.1.10 Sistemas Agroforestales y fijación 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 (Cuadro 1). Asimismo, la cantidad de Carbono acumulada en el suelo aumenta en los sistemas agroforestales (39).

Los sistemas agroforestales no son sólo una alternativa de producción sostenible, sino una oportunidad para diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos con la posible venta de servicios ambientales por reducción del CO<sub>2</sub> atmosférico. El establecimiento de mercados de servicios ambientales puede contribuir de distintas maneras al desarrollo sostenible en el medio rural y en algunos casos sus beneficios trascienden el nivel local y adquiere una dimensión regional y hasta global. El desarrollo de estos mercados puede conducir al

surgimiento de nuevas actividades económicas, generación de empleo y de ingresos a los propietarios de recursos generadores de servicios ambientales. También, permite la transferencia de conocimientos y de recursos de otros sectores nacionales e internacionales al medio rural (36).

El almacenamiento de Carbono depende: de la especie arbórea y densidad de siembra, la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y el manejo agroforestal al que se vea sometido (38).

Cuadro 1: Resumen de las opciones para la captura de Carbono (C).

Opción	Densidad de Carbono	Secuestro (Corto plazo)	Costo de C
Reducir deforestación y protección de bosques	Alta	Bajo	Bajo
Reforestación	Moderada	Alto	Moderado
Silvicultura	Alta	Moderado	Bajo
Agroforestería	Baja	Moderado	Moderado
Plantaciones de Madera para Leña	Moderada	Alto	Alto
Productos Forestales	Baja	Bajo	Bajo

Fuente: KANINEN, 1997.

#### 2.1.10.1 Carbono fijado

Se refiere al flujo de Carbono de la atmósfera a la tierra producto de la recuperación de zonas (regeneración) previamente taladas, desde pastizales, bosques secundarios hasta llegar al bosque clímax. El cálculo por lo tanto está definido por el crecimiento de la biomasa convertida a Carbono (1).

#### 2.1.10.2 Carbono no emitido

Se refiere al carbono salvado de emitirse a la atmósfera por un cambio de cobertura. Se fundamenta en un supuesto riesgo que se tiene de eliminación de

las plantas y por ende de emisión de Carbono. El valor estimado considerando el Carbono real y una tasa de podas (1).

### 2.1.10.3 Captura unitaria de carbono

Para definir la captura unitaria de carbono se estima el carbono contenido en diferentes almacenes (que pueden ser emitidos o ahorrados). Estos almacenes incluyen (18):

- $C_v$  = Carbono contenido en la vegetación
- $C_d$  = Carbono contenido en la materia orgánica en descomposición
- $C_s$  = Carbono contenido en los suelos
- $C_p$  = Carbono contenido en productos forestales (muebles, papel)
- $C_r$  = Carbono ahorrado por no utilizar combustibles fósiles (proyectos bio-energéticos).

#### a) Carbono en vegetación ( $C_v$ )

El Carbono en vegetación es la suma del contenido en la biomasa aérea y la que se halla en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, las hojas, las ramas y el follaje, mientras que el Carbono contenido en las raíces es definido como biomasa de las raíces (18).

#### b) Carbono en descomposición ( $C_d$ )

Es el contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición es originada cuando las estructuras de vegetales como las hojas, las ramas o el tronco son depositadas en el suelo (18).

c) Carbono en suelos (Cs)

Es el Carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal. Se origina por la fragmentación de la roca madre meteorizada por el establecimiento de un organismo vegetal que con el tiempo forma capas por depósitos de materiales. Al irse acumulando éstas capas y compactando, almacenan una cierta cantidad de Carbono, misma que aumentará por la continuidad del proceso de formación del suelo (18).

d) Carbono potencial (Cp)

Se refiere al Carbono máximo o Carbono real que pudiera contener un determinado tipo de vegetación, asumiendo una cobertura total y original (1).

e) Carbono real (Cr)

Se refiere al Carbono almacenado considerando las condiciones actuales de cobertura en cuando al área y el estado de sucesión: Bosque primario, bosque secundario, potreros (1).

- Bosques primarios: Ecosistema caracterizado por la abundancia de árboles maduros relativamente no afectados por actividades humanas. Los impactos humanos en estas áreas han sido normalmente limitados a niveles bajos de caza artesanal, pesca y agricultura migratoria con periodos de descanso prolongados (1).
- Bosques secundarios: Ecosistemas que se regeneran luego de disturbios sustanciales (inundaciones, fuegos, cambios en el uso del suelo o extracciones de madera extensivos e intensivas), caracterizados por la escasez de árboles, maduros y por la abundancia de especies pioneras, al igual que por rebrotes en el sub-piso densos y plantas herbáceas. Aunque

los bosques secundarios generalmente llegan a su punto máximo de acumulación de biomasa dentro de un ciclo de aprovechamiento, la transición hacia un bosque primario usualmente requiere de varias rotaciones de distintas duraciones, dependiendo de la severidad del disturbio original. La transformación irreversible de los suelos subyacentes y del ciclo de nutrientes ocasionados por el uso crónico o intenso pueden hacer imposible el retorno al bosque primario original (1).

## 2.1.11 Parámetros técnicos para inventarios de Carbono

### 2.1.11.1 Biomasa aérea

Está compuesta por los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea (13). Estos componentes de la biomasa se muestrean en parcelas de proporciones acordes a cada tipo de vegetación. Es muy importante hacer notar que el componente más importante de esta fuente son los árboles. En las experiencias de Fundación Solar, la maleza, por su muy baja contribución en términos de fijación, pueden dejar de muestrearse. Esto es una decisión del equipo técnico, pero como una recomendación, a menos que el sistema a evaluar tenga un componente fuerte de vegetación herbácea, no es necesario muestrear este componente.

### 2.1.11.2 Biomasa abajo del suelo

La biomasa abajo del suelo hace referencia a las raíces de la vegetación del ecosistema estudiado. Un método sencillo es realizar una estimación conservadora de este valor, basado en valores ya existentes o calculando un porcentaje de la biomasa arriba del suelo. Sin embargo hay varias situaciones en la que es posible medirla y resulta importante (13)

Existe una variedad de métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de raíces. Entre ellos, los más usados son los métodos directos (destructivos y no

destruictivos), es decir, la excavación de raíces o el muestreo de cilindros del suelo. También, existen métodos indirectos, que se han venido desarrollando en los últimos años como son: uso de cámaras de video, radar, o modelos tridimensionales, pero que presentan limitaciones tanto económicas como de su aplicabilidad práctica (Schlönvoigt et al. 2000, Snowdon *et al.* 2001, citado por Nieto *et al.* 2005).

#### 2.1.11.3 Hojarasca y materia vegetal muerta

La hojarasca y otra materia vegetal muerta se refieren a vegetación que se encuentra en proceso de descomposición esta fuente de biomasa se mide de dos maneras. La hojarasca en sí, se colecta del suelo, en el área de la parcela donde se midió la vegetación herbácea, teniendo cuidado de coleccionar toda la capa de materia en descomposición incluyendo el humus y materia vegetal muerta que no esté en proceso de descomposición aún. La otra materia vegetal muerta se refiere, más que todo, a árboles muertos ya sea en pie o caídos. Los árboles muertos en pie o caídos se deben medir en las parcelas correspondientes a los diámetros respectivos de árboles vivos. A estos árboles se les debe medir el DAP y la altura. Si están caídos se deben medir dos diámetros en el tronco (en los extremos) y la longitud. Estos valores después se utilizan para calcular biomasa usando la ecuación de volumen de un cilindro y la densidad de la madera. De esta fuente de carbono, los troncos son el mayor contribuyente a los sumideros y por lo tanto se debe poner mucho cuidado en estas mediciones (13).

#### 2.1.11.4 Suelos

Los suelos son a menudo grandes almacenes de Carbono orgánico e inorgánico. El Carbono edáfico puede ser determinado efectivamente usando muestras compuestas que representan múltiples parcelas. Esto ayuda a reducir los costos y provee estimados razonables (24).

No hay un acuerdo internacional sobre el método de monitorear cambios en Carbono del suelo. La acumulación en el suelo es función de la densidad

aparente, la cual está en función de otros parámetros, tales como las tasas de deposición, descomposición y traslocación. El cambio en el Carbono orgánico del suelo necesita ser medido a lo largo del sitio del proyecto, a una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso del suelo tiene mayor efecto en las capas superiores (IPCC, 1996).

Los suelos son importantes fijadores a largo plazo. Se ha encontrado que el cambio de uso de la tierra de bosque a agricultura puede reducir a la mitad el Carbono fijado en esta fuente en tan sólo 10 años de cultivos continuos (13).

#### 2.1.12 Ecuaciones o modelos alométricos

Un modelo alométrico es una relación matemática entre una variable independiente y una dependiente, que tiene por objeto explicar las relaciones existentes entre los atributos y dimensiones del árbol y el peso seco de sus componentes (biomasa). La variable independiente puede ser estimada a partir de métodos destructivos (peso de componentes de individuos) o partir de parámetros biométricos estimados en campo directamente (DAP, altura) (28).

La ventaja de esta técnica es que las prácticas destructivas se realizan una sola vez, y a partir de las ecuaciones generadas, se puede estimar la variable independiente basándose en datos de inventarios forestales. Las desventajas giran en torno a que: las ecuaciones son basadas en un mínimo grupo de individuos o especies; no se puede generalizar una ecuación estimada a otro tipo de vegetación, y su aplicación es restringida para los árboles con parámetros de medición directa en campo (28).

Los estudios de biomasa son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de Carbono almacenado, ya que de acuerdo a varios autores la relación de la biomasa seca total con el Carbono es de aproximadamente 2:1 (Cielsa 1996 y Snowdon et al. 2001). Por ello, las evaluaciones más recientes utilizan métodos estadísticos que permiten tomar en cuenta la diversidad de especies y sus dimensiones.

La cuantificación de Carbono almacenado en un bosque o una especie forestal específica, se realiza a través de la estimación de biomasa, conociendo como tal a la cantidad total de materia orgánica viva de la parte aérea de las plantas, expresada como toneladas en peso seco al horno por unidad de área (3). Dicha estimación se puede realizar por el método destructivo que consiste en cortar los árboles y realizar las mediciones respectivas, o por el método no destructivo, el cual estima la biomasa por medio de análisis de regresión (Araujo et al. 1999). MacDiken (1997) (24) señala que lo ideal para realizar análisis de regresión es tener una muestra con 30 o más individuos.

Brown et al. (1989) indican que se han desarrollado modelos generales como herramienta para estimar el contenido de biomasa aérea en inventarios forestales. Estos pueden ser utilizados, en forma general, cuando no existen modelos específicos para zonas o condiciones particulares. Por su parte, Segura (1997) (38) manifiesta que luego de muchos estudios en campo y laboratorio se han generado modelos alométricos específicos para algunas especies forestales de uso comercial, los mismos que para estimar biomasa únicamente requieren de valores tomados en campo como DAP y altura del árbol y por simple aplicación del modelo se obtiene la biomasa. De esta forma las ecuaciones alométricas se convierten en herramientas muy útiles de uso fácil y de aplicación inmediata con solo disponer un juego de datos de campo tomados en árboles en pie sin necesidad de destruirlos.

## 2.2 Marco Referencial

### 2.2.1 Protocolo de Kyoto y mercado de Carbono

El Protocolo de Kyoto (PK) es el instrumento legal a través del cual se regulan límites y reducciones de emisiones de GEI mandatarias y vinculantes a los países industrializados con obligaciones ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés). Los países industrializados se comprometieron en Kyoto a reducir sus emisiones de GEI en al menos un 5.2% con respecto al nivel de emisiones de 1990 y a evaluar resultados durante el período 2008-2012 (Oficina Costarricense de Implementación Conjunta -OCIC-).

En el PK también se establecieron los mecanismos que facilitarían el cumplimiento de las reducciones de emisiones de GEI en los países industrializados de un modo costo-efectivo. Estos mecanismos son: **1)** Comercio de Emisiones (CE), **2)** Implementación Conjunta (IC) y **3)** Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (CASTRO, R.; CORDERO, S. y ACEVEDO, C. 2002).

#### 2.2.1.1 Comercio de Emisiones (CE)

Este mecanismo permite la transferencia de reducciones de Carbono “no usadas”, entre países industrializados que tengan sus derechos de emisión por debajo de los límites permitidos, con aquellos que han excedido sus niveles en un período de cumplimiento dado. Las unidades de venta se denominan Assigned Amount Units (AAU's por sus siglas en inglés) (IPCC. 1995).

#### 2.2.1.2 Implementación Conjunta (IC)

Como su nombre lo indica, este mecanismo permite la reducción de emisiones de Carbono de manera conjunta entre los países. En este caso, se acreditan unidades de reducción de emisiones a favor del o los países que financian

proyectos de mitigación de cambio climático. Las unidades de venta se denominan Emission Reduction Units (ERU's por sus siglas en inglés) (10).

Un país desarrollado que para el 2012 tenga emisiones que superen los límites previstos por el Protocolo, puede asociarse con otro país desarrollado que para ese período cuente con emisiones por debajo de los límites para él establecidos, siempre y cuando en conjunto, no superen los niveles sumados de ambos (34).

#### 2.2.1.3 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El MDL es uno de tres mecanismos de mercado que permite que proyectos encaminados a fijar, reducir o evitar emisiones de gases de efecto invernadero en países en desarrollo, obtengan beneficios económicos adicionales a través de la venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER's). Este es el único de los tres mecanismos al que pueden acceder estos países, entre ellos, los de América Latina (OCIC).

Este Protocolo entró en vigencia en febrero de 2005, después de la ratificación de Rusia en septiembre de 2004, con un total de 127 países que suman el 61.6% de la emisión global (GURUS. S.t. 2004). Con la aprobación del PK, en la tercera Conferencia de las Partes (COP-3) en 1997, se sentaron las bases para desarrollar el Mercado del Carbono a nivel internacional. Este mercado, es un conjunto de transacciones donde se intercambian cantidades de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (ECOS CORPORATION 2005).

Según Eguren, América Latina se ha convertido en la región de países en desarrollo más activa en este mercado emergente, con alrededor de US\$210,6 millones de créditos de Carbono en negociación en el marco del MDL, basada en la convicción de que este mercado puede significar una herramienta útil para promover el desarrollo sostenible de la región.

Aunque el valor de estos certificados aún no es claro en este mercado, se pueden distinguir dos grandes escenarios en donde se están negociando. Uno, definido por las transacciones de Carbono que buscan cumplir con el marco establecido por el Protocolo de Kioto y otro, por las iniciativas paralelas de comercio de emisiones fuera del protocolo, como son las iniciativas voluntarias de restricción de emisiones y las decisiones federales y estatales de EE.UU. para mitigar GEI, con países que no forman parte del Protocolo de Kyoto.

### 2.2.2 Pago por Servicios Ambientales (PSA)

En los últimos años, el Pago por Servicios Ambientales (PSA) ha permitido promover un uso más eficiente de los recursos naturales, a través del fortalecimiento de la conciencia ambiental y la revaloración del sector forestal en el desarrollo de varios países de América Latina (Camacho, M. 2002).

Los esquemas de PSA vigentes a nivel mundial, se han desarrollado teniendo en cuenta las condiciones naturales, sociales y económicas propias de cada país y las condiciones específicas de mercado. Algunos Servicios Ambientales (SA) que están en discusión mundial son: la protección de biodiversidad, el almacenamiento de Carbono, la protección de la belleza del paisaje natural y los servicios hidrológicos (Mayrand, K. y Paquín, M. 2006).

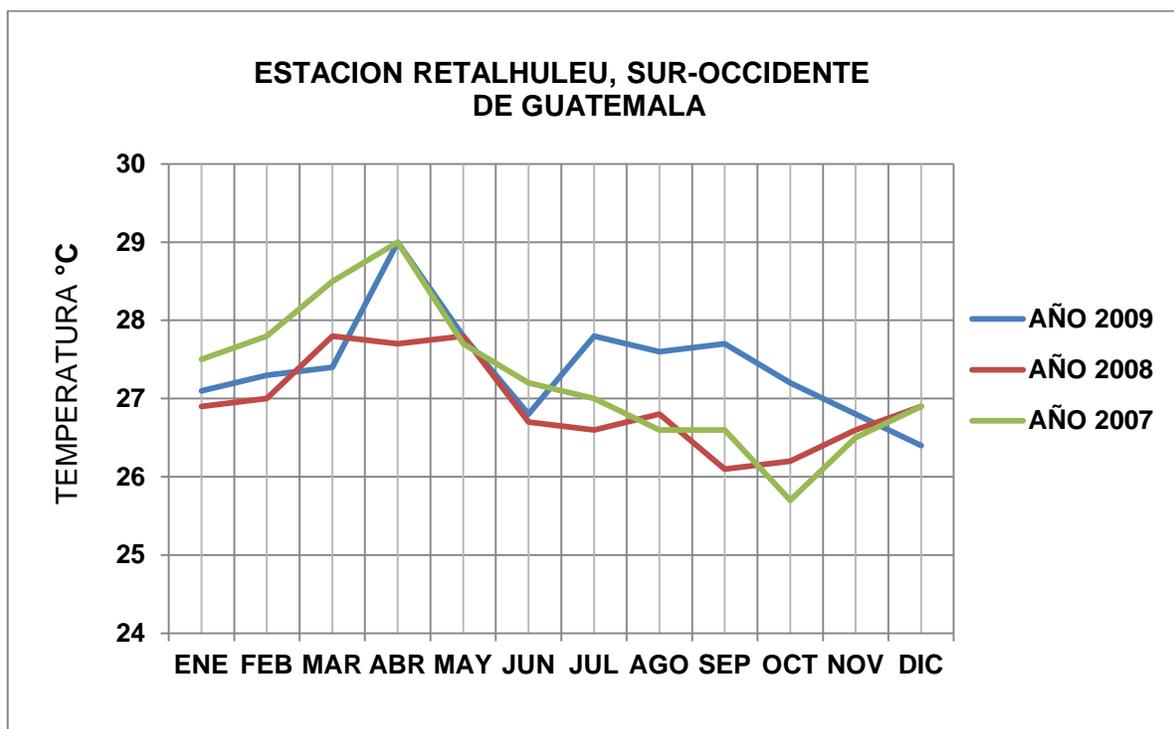
Existen diferentes metodologías para valorar económicamente estos servicios, como el costo de oportunidad de la tierra y los costos de producción forestal, pero que aún no reflejan su verdadero valor en el mercado internacional. Algunos valores oscilan entre los US\$16 y US\$2.671 por tonelada por hectárea por año (Araya, V. 2005).

### 2.2.3 Condiciones edafoclimáticas del área de estudio

Las áreas seleccionadas para la presente investigación corresponden a la ubicación de una red de 36 parcelas de sistemas agroforestales de cacao, localizadas en los municipios de Chicacao, San Miguel Panán, San Antonio Suchitepéquez (departamento de Suchitepéquez), San Sebastián y el Asíntal Retalhuleu (departamento de Retalhuleu), del Sur-Occidente de Guatemala.

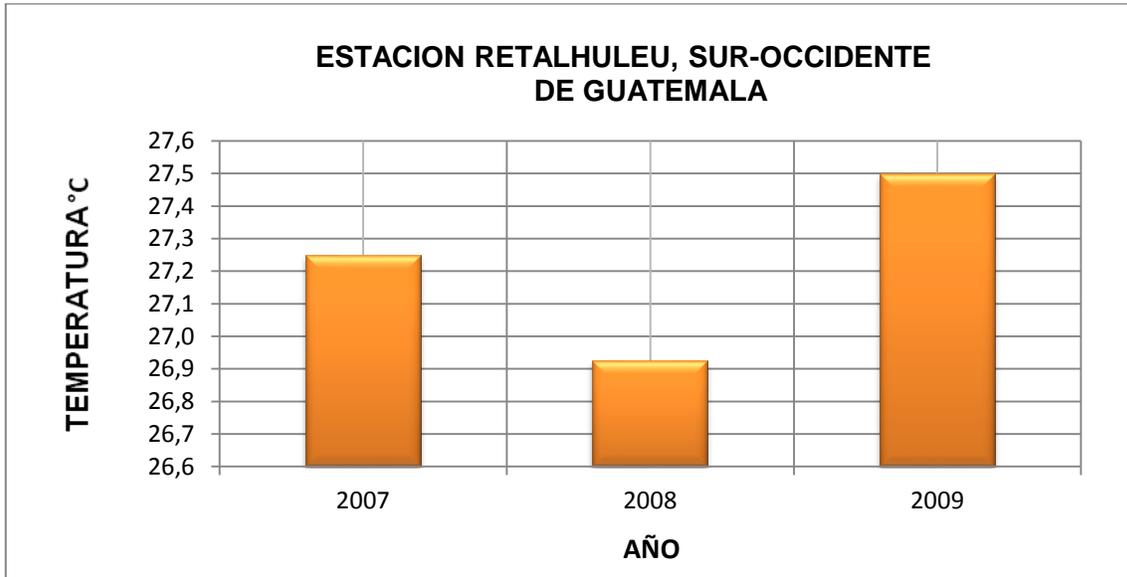
El clima es cálido, con temperatura promedio de 24°C a 28°C, y se presentan dos temporadas: La lluviosa que por lo general se presenta en los meses de mayo a octubre y la seca que va de noviembre a abril; de estos los meses más calurosos son marzo y abril, el promedio de precipitación anual es entre 2,500mm y 4,000mm.

Grafica No.1: Temperatura Media Mensual del área de estudio.



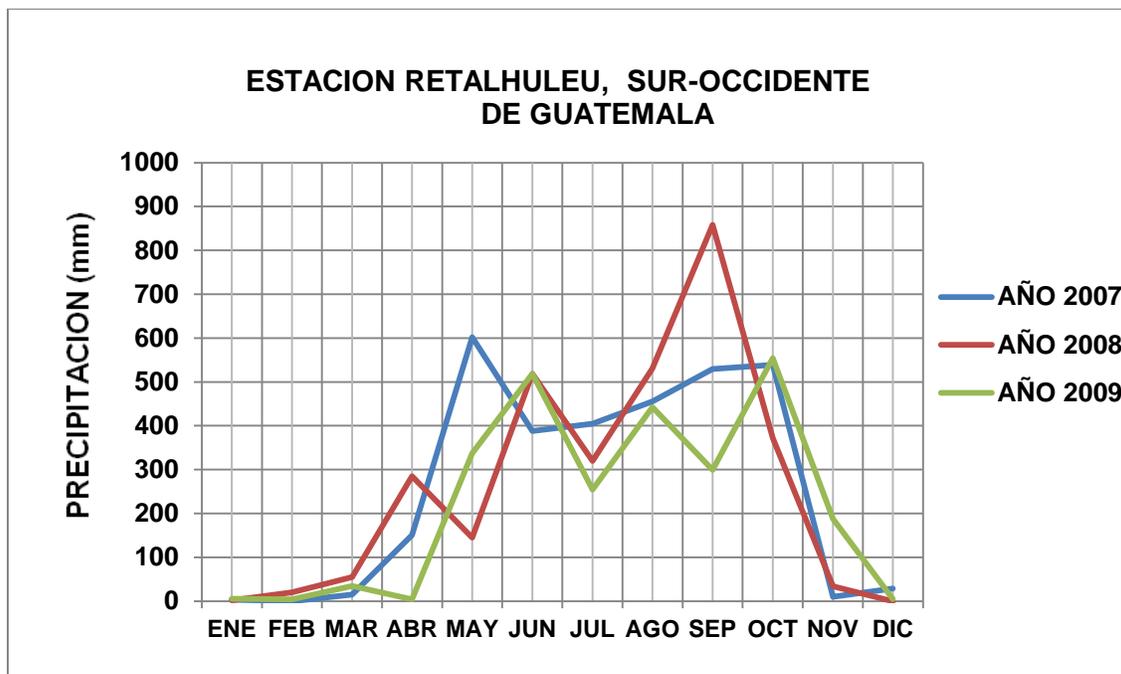
Fuente: INSIVUMEH

Grafica No.2: Temperatura media anual del área de estudio.



Fuente: INSIVUMEH

Grafica No.3: Precipitación Mensual del área de estudio.



Fuente: INSIVUMEH

Grafica No.4: Precipitación anual del área de estudio.



Fuente: INSIVUMEH

Dentro de las áreas de estudio los suelos que se presentan, se encuentran comprendidos dentro de la división fisiográfica que corresponde a los suelos de Declive del Pacífico, que se extiende desde el pie de monte de las montañas volcánicas, hasta la orilla del litoral del Pacífico. Son suelos jóvenes y profundos, desarrollados sobre material fluvio y volcánico; el área está formada por abanicos fluviales traslapados de material arrojado por los volcanes en época relativamente reciente.

Los suelos se caracterizan por ser profundos y con inclinaciones medias (7-12% de pendiente), localizándose inclinaciones planas (1-5% de pendiente) en las áreas de San Antonio Suchitepéquez y San Sebastián Retalhuleu, e inclinaciones pronunciadas (>15% pendiente) en las áreas de Chicacao, San Miguel Panán y El Asíntal.

La fertilidad natural de estos suelos es alta, con un promedio de 8% de materia orgánica, lo cual es ideal para el cultivo de cacao y otros cultivos como: Café, hule, caña de azúcar, palma africana, granos básicos y producción de tubérculos.

#### 2.2.4 Sistemas agroforestales de cacao

Según Montagini este tipo de sistema agroforestal (SAF), se clasifica como un SAF simultánea, donde especies arbóreas (*Scheelea preussii*, *Terminalia oblonga*, *Enterolubium cyclocarpum*, *Sickingia salvadorensis*, *Triplaris melaenodendrum*, *Cybistax donnell-smithii*, *Andira inermis*, especies indicadoras del área de estudio) se encuentran asociadas con cultivos perennes (cacao).

En este sistema, se pueden encontrar algunos árboles de sombra naturales del bosque que incluyen frutas como mango (*Mangífera indica*), aguacate (*Persea americana*), naranja (*Citrus reticulata*), así como árboles maderables. A medida que el cacao y los otros componentes maduran, se desarrolla un sistema de estratos múltiples de dosel serrado y con la mayoría de cualidades positivas del bosque natural.

El asocio de árboles y cultivos (bananos, cítricos, entre otros) en la plantación de cacao, da lugar a numerosas interacciones ecológicas, agronómicas y económicas, que incluyen la conservación de biodiversidad, suelos, agua y la generación de servicios ambientales como el secuestro de Carbono. Además, cultivos como maíz, plátano o yuca, permite aprovechar mejor los nutrientes del suelo y proveer sombra temporal a las plantas jóvenes de cacao.

El establecimiento de maderables en los cacaotales, es una alternativa simple y barata para remplazar la sombra improductiva y difícil de manejar. Los maderables se benefician de la fertilidad de los suelos donde se siembra cacao y de la disponibilidad de agua durante todo el año en la zona.

#### 2.2.4.1 Descripción de la especie de cacao

Género: *Theobroma*

Especie: *Theobroma cacao* L.

Nombre común: Cacao

El cacao es una planta originaria de los trópicos húmedos de América y pertenece a la familia Sterculiaceae. Es una especie umbrófila que requiere de 60 a 70% de sombra en los primeros cuatro años y de 30 a 40% en plantaciones adultas o en áreas con una estación seca mayor de dos meses (37).

Cuando se buscan altos rendimientos se deben mantener buenos niveles de radiación solar y elevada fertilidad del suelo. En suelos de baja fertilidad se recomienda cultivar el cacao bajo sombra para amortiguar las demandas nutricionales del cultivo (37). Los árboles comienzan a fructificar después de los 5 años de edad; sin embargo el material híbrido es muy precoz y puede comenzar a fructificar a los 2 años de establecido en el campo (37).

El árbol de cacao generalmente, tiene un tronco recto que puede desarrollar su primer molinillo u horqueta entre los 80 y 120 cm. La raíz principal es pivotante y tiene muchas secundarias, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 30 cm del suelo. Las hojas son simples y enteras, las flores y frutos se producen en cojines sobre el tejido maduro (37). En condiciones de cultivo, el follaje se limita con la densidad de siembra y las podas.

El cacao crece, se desarrolla y produce en diferentes pisos térmicos, desde el nivel del mar hasta 1.300 m de altura, como sucede en Colombia. En América Central se cultiva hasta los 650 msnm; sin embargo, en Honduras se han observado pequeñas plantaciones a una altura de 800m (37). Esta especie requiere temperaturas que van de 20°C a 30°C, una precipitación de 1.200 a 2.500 mm año<sup>-1</sup> y una humedad relativa de 70 a 90%. Los suelos deben ser sueltos, con

contenidos mayores del 5% de materia orgánica y provistos de fósforo y potasio, con buen drenaje y profundidad efectiva superior a 1.2 m (37).

### 2.2.5 Estudios similares realizados en Guatemala

En Guatemala, se han hecho estudios sobre la fijación y la cuantificación de carbono en diferentes bosques naturales. Entre los inventarios de carbono se pueden mencionar, el realizado por Fundación Solar en 1998, 1999 y 2000. Con la colaboración de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), PROARCA/CPAS donde se reportan valores de fijación de carbono en toneladas por hectárea, en doce sistemas del uso del suelo. “La recopilación del Potencial de carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en bosques de la república de Guatemala” (López 1998).

Morales (2000), realizó un estudio para generar una ecuación de biomasa en hule (*Hevea brasiliensis*), trabajo en plantaciones de la Costa Sur de Guatemala. Además se cuenta con otros estudios con “El inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero” junto con la Primera Comisión Nacional sobre el Cambio Climático”.

Según Córdova (2002), en el estudio realizado sobre estimación de biomasa y carbono para *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus maximinoi* H.E Moore y *Pinus caribea* Morelet var hondurensis en algunos bosques naturales de Guatemala, se creó un modelo general para la estimación de biomasa en coníferas ( $Biomasa = e^{(1.737076 + 0.147573 \text{ DAP} + 0.082182 \text{ Altura}^2 - 0.00115 \text{ DAP}^2)}$ ), es el primer modelo creado con especies y condiciones de Guatemala, y presenta un coeficiente de determinación alto (95%) es un modelo confiable para estimar biomasa.

Lee (2002), estimó la biomasa total por encima del suelo en tres especies latifoliadas: *Vochysia guatemalensis*, *Calopyllum brasilense* y *Cybistax donnell-smithii* en bosques naturales de Guatemala. Los modelos generados son exponenciales, estos modelos son: *Cybistax donnell-smithii* ( $Biomasa = e^{(1.469255 + 0.0009 \text{ DAP} + 0.470835 \text{ Altura} - 0.013751 \text{ Altura}^2 + 0.000676 \text{ DAP}^2)}$ ), *Vochysia guatemalensis*

(Biomasa =  $e^{(4.420177 + 0.061182 \text{ DAP} + 0.134815 \text{ Altura} - 0.004806 \text{ Altura}^2)}$  ), *Calophyllum brasiliense* (Biomasa =  $e^{(3.8926 + 0.0325 \text{ DAP} + 0.06518 \text{ Altura})}$  ), y Latifoliadas (Biomasa =  $e^{(3.852749 + 0.086911 \text{ DAP} + 0.042662 \text{ Altura} - 0.00406 \text{ D} + 0.002021 \text{ DAP}^2 + \text{Altura}^2)}$  ).

Además, Aguilar (2004) estimó el carbono fijado en plantaciones *Pinus Caribaea* Var. *Hondurensis* en función de su edad, en Livingston, Izábal Guatemala. Donde obtuvo una biomasa de 7.78 a 535.48 Kg., y un factor de expansión de biomasa de 1.2622. Se obtuvieron dos ecuaciones de biomasa, Ecuación 1:  $y = 0.07035D^{2.56}$   $R^2 = 0.93$  y Ecuación 2:  $y = 0.02314 D^2H - 3.3042R^2 = 0.98$ , respectivamente. El contenido de carbono total en las plantaciones fue de 99 t C/ha, 112 t C/ha, 104 t C/ha, 118 t C/ha, 110 t C/a, en las fincas de edades 8, 12, 13, 15, 16 años respectivamente.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 General**

- Contribuir con la generación de información de los servicios ambientales que brindan los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.), del Sur-Occidente de Guatemala.

#### **3.2 Específicos**

- Determinar la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en toneladas de Carbono por hectárea (tC/ha), mediante análisis de biomasa arriba y abajo del suelo, hojarasca/materia muerta, necromasa y suelo, en una red de 36 parcelas de muestreo en el Sur-Occidente de Guatemala.
- Determinar el tipo de capacidad de almacenamiento (alta, media, baja) que poseen los SAF de cacao del área de estudio.
- Determinar los componentes más importantes en la estimación de la cantidad de Carbono almacenado en los SAF de cacao.
- Mencionar la importancia de la diversidad de especies maderables y frutales dentro del dosel de sombra en los SAF de cacao en estudio.
- Determinar el aporte de Carbono almacenado en los suelos de los SAF de cacao del área de estudio.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Fase de campo**

Para el proceso de muestreo en campo de suelo, raíces, necromasa, hojarasca y toma de diámetros y altura de árboles de cacao y sombra, en los sistemas agroforestales de cacao, fue necesario establecer una red de estudio de 36 parcelas de cacao y tres bosques naturales en los municipios de Chicacao, San Miguel Panán, San Antonio Suchitepéquez (del departamento de Suchitepéquez), San Sebastián y el Asíntal (del departamento de Retalhuleu), donde se buscó la mayor heterogeneidad de las fincas, en función de la estructura vegetal, utilizando los siguientes criterios de selección.

#### **a) Dos rangos de altitud**

- **Zona Alta:** Sistemas agroforestales ubicados a más de 350 metros sobre el nivel del mar.
- **Zona Baja:** Sistemas agroforestales ubicados a menos de 330 metros sobre el nivel del mar.

En la zona alta, se seleccionaron en total 18 SAF de cacao, de igual forma que en la zona baja, en función de la información proporcionada por las organizaciones de productores de cacao de la zona de estudio (Asociación de Sembradores de Cacao de la Cuenca del Nahualate –ASECAN- y Asociación de Productores de Cacao –APROCA-), y la observación directa en campo.

#### **b) Dos condiciones de macro-paisaje**

Según el protocolo de investigación para el estudio de Carbono realizado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el estudio de macro-paisaje consistió en el análisis de la estructura de la vegetación en un

diámetro de 2 km (esta condición fue definida por un disco cuyo centro, es el centro geo-referenciado del cacaotal de estudio), las áreas de la zona donde se localizaban las parcelas de muestreo fue identificado como un paisaje abierto, debido a ésta característica se consideró seleccionar cacaotales con un mayor y menor dosel de sombra. Para ello se utilizaron los siguientes criterios:

- **Cacaotal abierto:** Cacaotal con una cobertura de sombra muy escasa y/o esparcida de menos del 40%.
- **Cacaotal cerrado:** Cacaotal con una cobertura de sombra densa y/o continua de más del 60%.

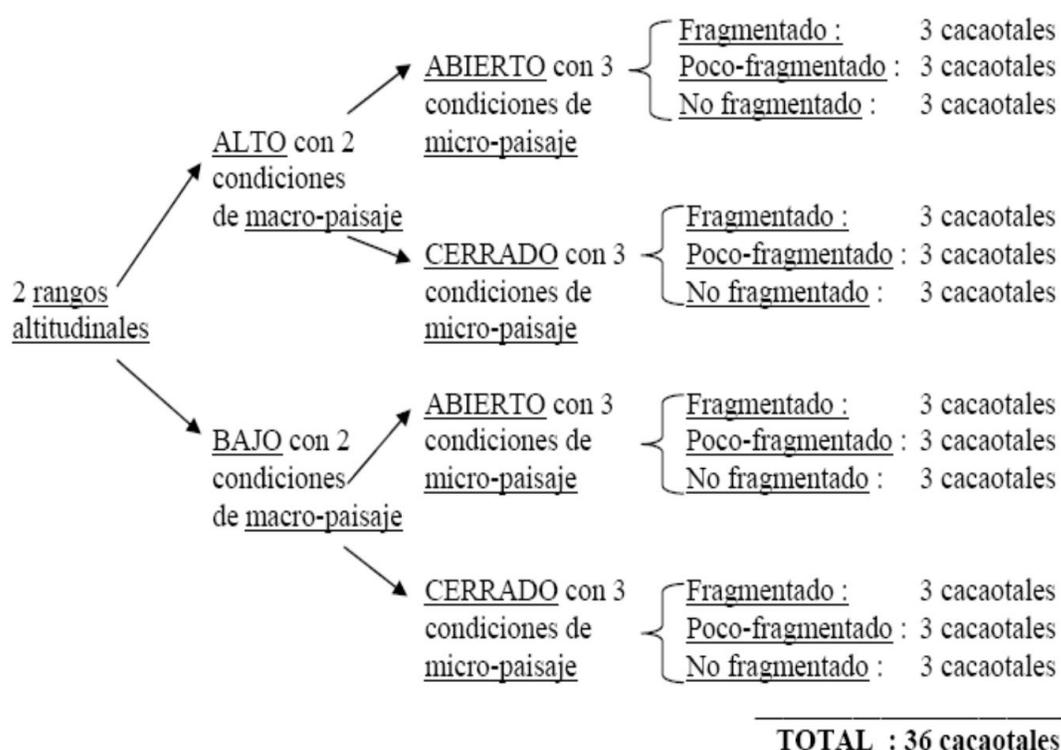
### c) Tres condiciones de micro-paisaje

Esta clasificación se basó en el tipo de colindante, para ello se realizó un caminamiento geo-referenciando el perímetro de la parcela (tomando una serie de puntos con GPS, colocando una marca en cada cambio de colindante –Anexo No.1-), con lo cual se determinó el porcentaje de cacao que rodea cada parcela de estudio de acuerdo al perímetro total ( $[\text{perímetro de la parcela rodeado de cacao} / \text{perímetro total de la parcela}] * 100$ ). Se clasificaron los cacaotales en tres tipos:

- **Fragmentado:** Sistema de cultivo de cacao rodeado por 0 a 25% de cacao.
- **Poco-fragmentado:** Sistema de cultivo de cacao rodeado por 26 a 75% de cacao.
- **No-fragmentado:** Sistema de cultivo de cacao rodeado por 76 a 100% de cacao.

Un micro-paisaje no fragmentado es un sistema agroforestal de cacao rodeado por el 100% de cultivo de cacao y al contrario, un micro-paisaje fragmentado es un sistema agroforestal de cacao ubicado en una matriz de sistemas de otros tipos naturales o cultivados.

Considerando las variables anteriores para el establecimiento de la red de parcelas con características heterogéneas, a continuación se presenta una grafica que muestra la cantidad de parcelas de muestreo (cacaotales) seleccionadas.



Fuente: Protocolo investigaciones CATIE

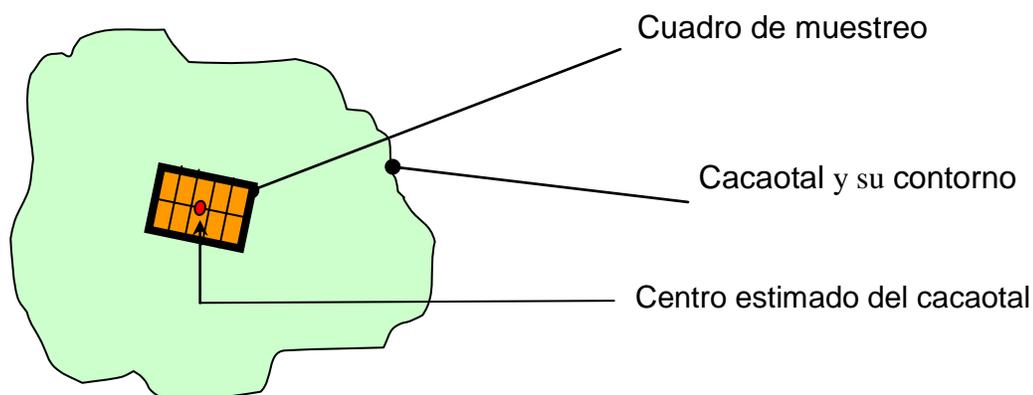
Figura No.4: Características de la red de parcelas.

Los 36 cacaotales de la red de parcelas de muestreo, se localizan en las comunidades de Chicacao (3 parcelas), San Miguel Panán (10 parcelas), San Antonio Suchitepéquez (14 parcelas) estas ubicadas en el departamento de

Suchitepéquez, San Sebastián (5 parcelas) y el Asíntal (4 parcelas) estas ubicadas en el departamento de Retalhuleu, a estas se les atribuyó sencillo siguiendo un orden numérico con dos cifras (01, 02, 03,.....hasta 36). De la misma forma se indicó la ubicación del cacaotal seleccionado con respecto al relieve (parte plana, pie de loma, media loma o cumbre) –Anexo No.2- Formulario utilizado para este procedimiento.

#### 4.1.1 Toma de muestras

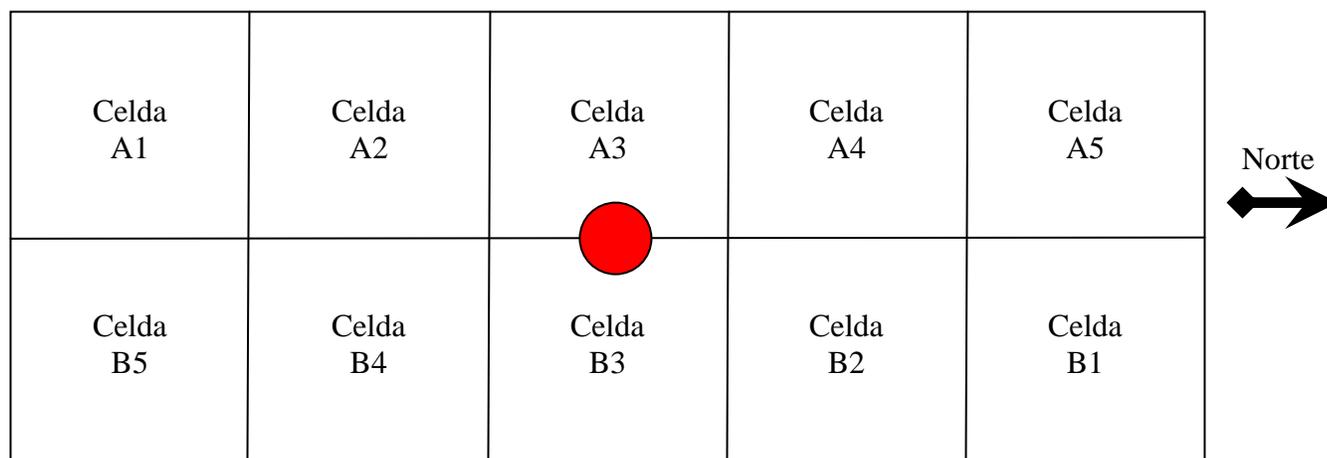
Para realizar los muestreos dentro de cada uno de los cacaotales seleccionados, se trazo un cuadro (parcela de muestreo) de 50 \* 20 m (1,000 m<sup>2</sup>) en el centro del cacaotal, con el objetivo de disminuir el error de muestreo por los efectos de borde. El centro de la parcela de muestreo fue geo-posicionado, y por este paso la recta de 50 m que correspondió a la línea larga de división central de la parcela de muestreo. Esta recta fue orientada de acuerdo a la forma de cada cacaotal, siguiendo siempre la dirección de la distancia más larga que se presentaba en el cacaotal.



Fuente: Protocolo investigaciones CATIE

Figura No.5: Diseño de la ubicación de la parcela de muestreo dentro del cacaotal seleccionado.

Luego la parcela de muestreo fue dividida en 10 sub-parcelas o celdas de 10 \* 10 m (100 m<sup>2</sup>), donde se tomaron las muestras y mediciones de árboles de sombra y cacao.



Fuente: Protocolo investigaciones CATIE

Figura No.6: División de la parcela de muestreo en 10 celdas identificadas con códigos.

#### 4.1.1.1 Muestreo de suelos

Para este proceso se utilizó un cilindro cuyas dimensiones fueron 10 cm de altura y 5.4 cm de diámetro (volumen 229.02 cm<sup>3</sup>). Se tomaron dos sub-muestras por cada sub-parcela (a 10 y 20 cm de profundidad), estas sub-muestras fueron colocadas en diferentes bolsas de plástico identificadas y selladas, con el numero de celda y profundidad en que se tomo la muestra (ejemplo A2 de 0-10 cm y A2 de 10-20 cm). Por cada parcela de muestreo fueron tomadas 10 sub-muestras (5 sub-muestras a profundidad de 0-10 cm y 5 sub-muestras a profundidad de 10-20 cm), luego fueron pesadas y secadas en condiciones ambientales, posteriormente se homogenizó y extrajo la muestra representativa de cada parcela de muestreo (muestra de 0-20 cm de profundidad), obteniendo un total de 39 muestras de suelo

(36 muestras de cacaotales y 3 muestras de bosques naturales), que luego fueron analizadas en el laboratorio de la sede del CATIE en Costa Rica. (Anexo No.3 – Formato utilizado para el pesaje las sub-muestras de suelo-).

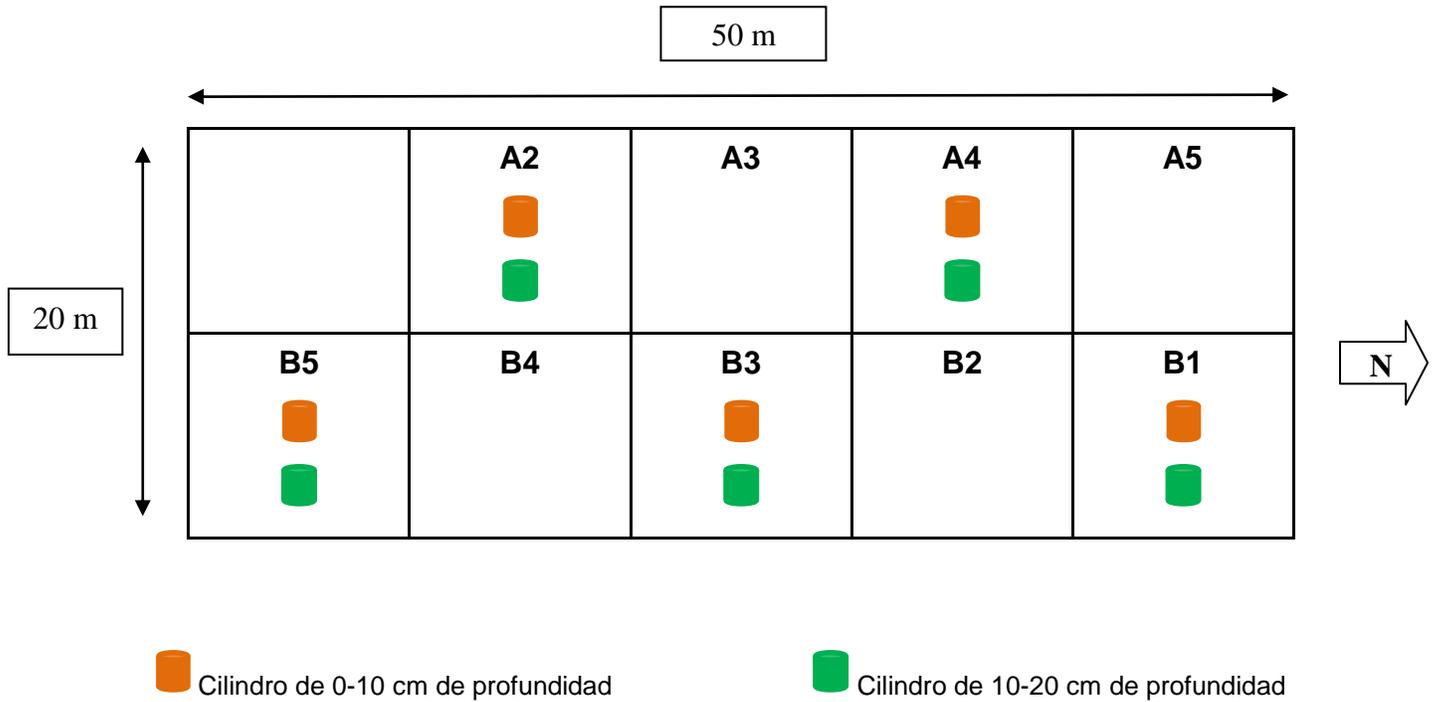


Figura No.7: Toma de las sub-muestras de suelos en las parcelas de muestreo.



Fotografía No.1: Introducción del cilindro en el suelo.



Fotografía No.2: Extracción del suelo del cilindro.



Fotografía No.3: Submuestra de suelo.



Fotografía No.4: Secado de las muestras de suelo a temperatura ambiente.

#### 4.1.1.2 Muestreo de hojarasca

Hojarasca: Hojas secas y ramas secas con diámetro igual o menor a 1 cm. En cada una de las sub-parcelas, se seleccionó un sitio dentro de cada celda, en esos sitios se colocó un marco de 50 \* 50 cm (0.25 m<sup>2</sup>) y se recolectó toda la hojarasca. En total, se obtuvieron 10 sub-muestras de hojarasca por parcela de muestreo, las cuales fueron pesadas en campo (Anexo No.4 –Formato utilizado para el registro de peso en campo-) obteniendo el peso húmedo, luego se mezclaron todas las sub-muestras (homogenizado) y se obtuvo una muestra compuesta de 400 g de hojarasca, la cual fue secada a temperatura ambiente y luego fue enviada al laboratorio para determinar el peso seco a 65°C.

El peso seco de la muestra compuesta sirvió para determinar el peso seco del total de la hojarasca recolectada en la parcela utilizando la siguiente fórmula (extrapolar):

- $C.H. = [Phs - Pss / Phs] * 100$  en donde:

C.H. = Contenido de Humedad  
Phs = Peso húmedo de la submuestra  
Pss = Peso seco de la submuestra

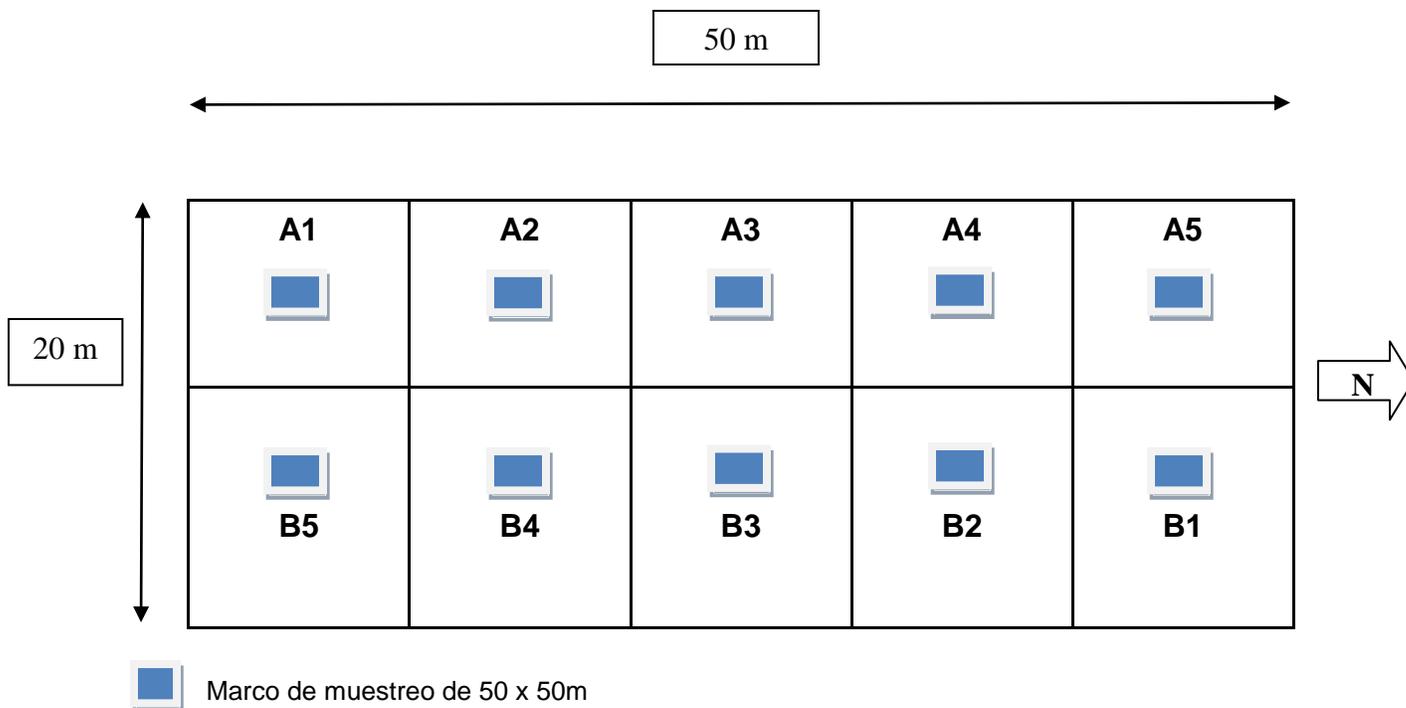


Figura No.8: Ubicación de la toma de las submuestras de hojarasca en las parcelas de muestreo.



Fotografía No.5: Cuadro de muestreo de 50 \* 50 cm.



Fotografía No.6: Recolección de la hojarasca en campo.



Fotografía No.7: Registro de datos.



Fotografía No.8: Secado de la muestra a temperatura ambiente.

#### 4.1.1.3 Muestreo de necromasa

Necromasa: Ramas, frutos o otras partes de los árboles que estén secos o en proceso de pudrición, con un diámetro mayor a 1 cm.

Se recolectó toda la necromasa de cada sub-parcela (10 x 10 metros de cada sub parcela) y se peso en campo (Anexo No.5 –Formato utilizado para el registro de peso en campo-) obteniendo así el peso húmedo. Luego se mezcló toda la necromasa (homogenizado) y se tomó una muestra representativa, se secó a temperatura ambiente y se llevó al laboratorio en donde se determinó el peso seco, el contenido de carbono y se extrapolo a la muestra total. En los casos donde se encontró necromasa de troncos muy grandes que no se pudieron pesar en campo entonces se procedió a medirlos para estimar el volumen y se tomó una muestra con el cilindro de volumen conocido y así se determinó la cantidad de materia seca que estos poseían, y luego se analizaron estas muestras en el laboratorio para obtener la cantidad de carbono que estas poseían.

#### 4.1.1.4 Muestreo de biomasa

##### a) Biomasa abajo del suelo

Muestreo de Raíces Finas, para este muestreo se utilizó el mismo cilindro utilizado para la extracción de las sub-muestras de suelo, extrayendo a una profundidad de 0-20 cm de suelo, tomando 5 puntos de sub-muestras en el centro del la parcela de muestreo (sobre la línea divisoria de los 20 m de ancho), luego cada sub-muestra era identificada y sellada, luego se realizó el lavado del suelo y la extracción de las raíces, posteriormente las sub-muestras eran homogenizadas, pesadas (Anexo No.6 –Formato utilizado para el registro del peso de las raíces finas-) y secadas, para realizar la extracción de la muestra representativa por cada parcela de estudio, obteniendo un total de 39 muestras de raíces finas que fueron enviadas a laboratorios de la sede del CATIE en Costa Rica para su análisis.

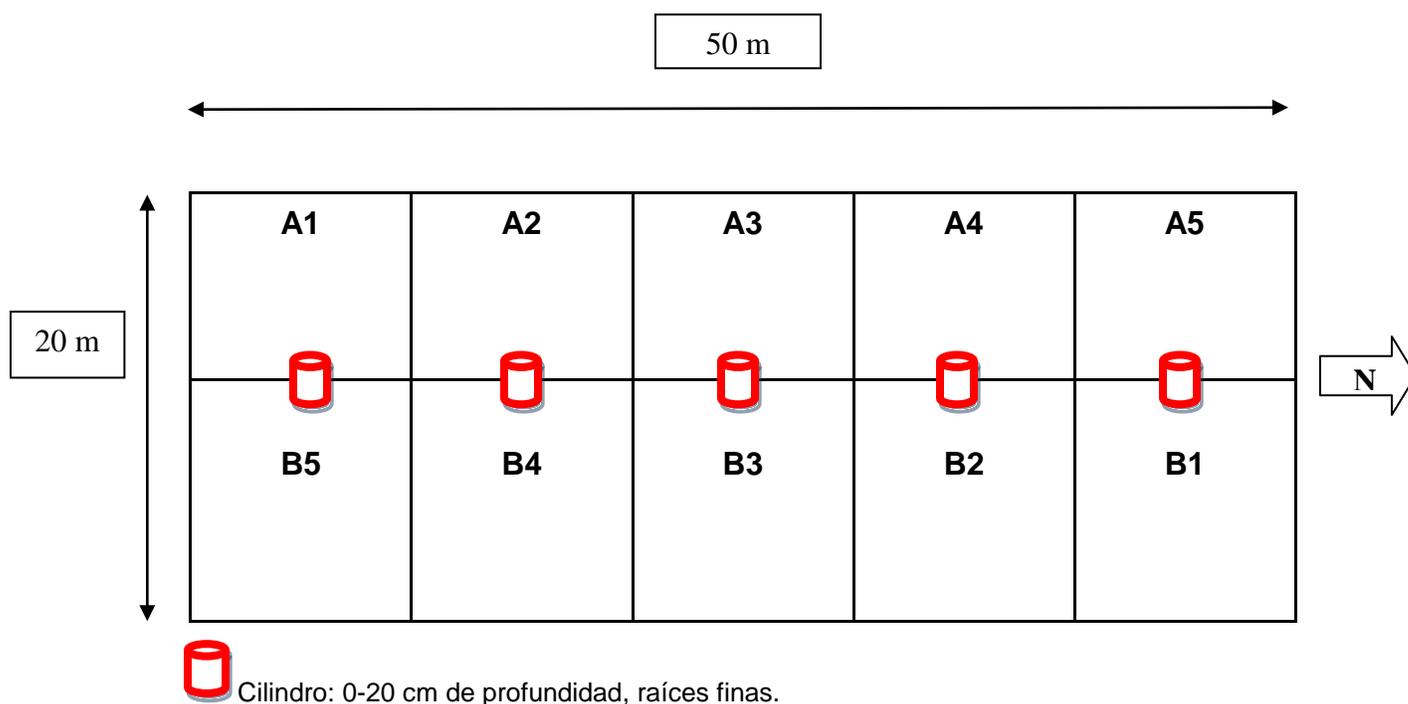


Figura No.9: Diseño de toma de las sub-muestras de raíces finas en las parcelas de muestreo



Fotografía No.9: Extracción de las raíces finas de 0-20 cm de profundidad.



Fotografía No.10: Submuestra de raíces finas.

#### b) Biomasa arriba del suelo

Medición de altura y circunferencia de árboles de sombra y cacao, la circunferencia de los árboles de sombra fue medido con la corteza, a la altura al pecho (1.3 m) (Anexo No.7 –Medición correcta de los diámetros de las especies arbóreas utilizadas como sombra en los SAF de cacao-), y los arboles de cacao a una altura de 0.30 m del suelo, la medición fue realizada con una cinta métrica, luego fue tomada la altura de cada árbol de sombra y cacao, la altura de los arboles de sombra fue medida por medio de un clinómetro y una cinta diamétrica (obteniendo ángulos y distancia), y la altura del los arboles de cacao fue medida directamente utilizando una cinta diamétrica y una barra larga, estas mediciones fueron realizadas en cada una de las 10 celdas de las 39 sub-parcelas de la red de estudio (Anexo No.8 Formato utilizado para el registro de circunferencias y alturas de los arboles de cacao y sombra de la red de estudio).



Fotografía No.11: Toma de circunferencia de arboles de sombra a 1.3 m del suelo (dap).



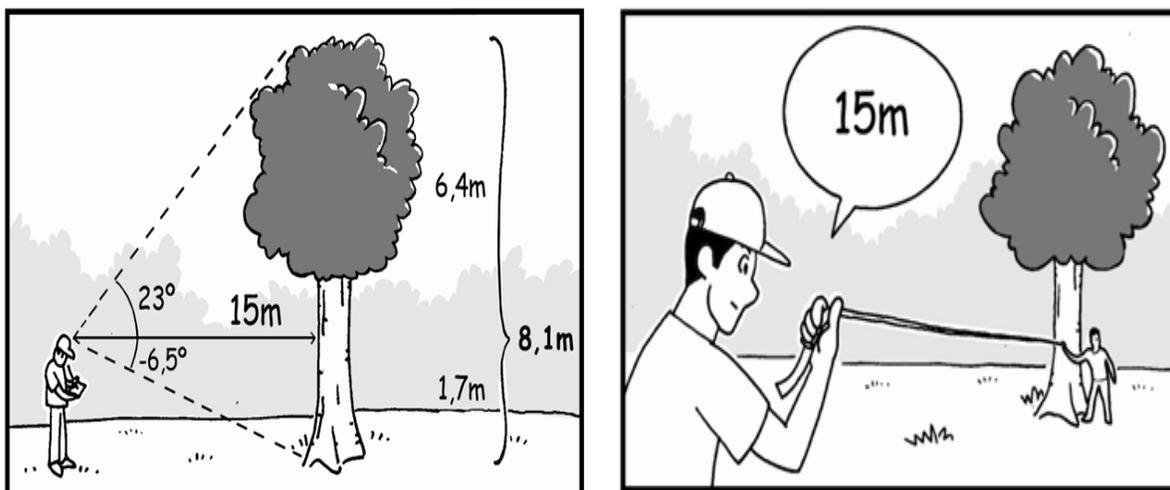
Fotografía No.12: Toma de circunferencia de arboles de cacao a 0.30 m del suelo.



Fotografía No.13: Medición de la altura de arboles de cacao utilizando cinta diamétrica y vara



Fotografía No.14: Medición de la altura de arboles de sombra utilizando un clinómetro.



Fuente: Manual ICRAF, propuesta protocolo muestreo de carbono

Figura No.10: Cálculo de las mediciones de altura y distancia

Para determinar la altura de cada árbol se utilizó la siguiente fórmula:

- $H = \text{Tang.}(X) * D$

**Donde:**

**H** = Altura (m)

**Tang. (X)** = Tangente del ángulo en grados

**D** = Distancia (m) o separación dentro de la persona que toma la medida y el árbol medido.

#### b.1) Método indirecto para determinar la biomasa aérea

Luego de que se obtuvieron las medidas de circunferencia y altura de los arboles de sombra y cacao que se encontraban en las parcelas de muestreo de la red experimental de estudio, se procedió a determinar el diámetro por medio de la medición obtenida en la circunferencia ( $\text{Circunferencia}/\text{Pi} = \text{Diámetro}$ ) y cuando se presentaba el caso donde existían dos o más tallos por árbol medido el diámetro real era determinado por medio de la fórmula de Diámetro Cuadrático Medio ( $\text{DCM} = \sqrt{(\text{D1})^2 + (\text{D2})^2 + (\text{D3})^2 + \dots + (\text{Dn})^2}$ ).

Cuando se obtuvo el diámetro de todos los árboles de cada parcela de muestreo, se procedió a estimar la biomasa aérea por especie, utilizando el método indirecto el cual consta en la utilización de una serie de ecuaciones alométricas, las cuales se basan en las dimensiones básicas de un árbol (dap y altura) y que fueron elaboradas en función del tipo de vegetación y especie de estudio.

El valor total de la biomasa obtenida en kilogramos por parcela se dividió dentro de 1,000 kilogramos para obtener la cantidad en toneladas.

El total de toneladas de biomasa aérea por parcela, se multiplicó por 0.5 para obtener la cantidad de carbono por parcela (el factor 0.5 utilizado para obtener carbono se debe a que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono, una vez se ha removido el agua (MacDicken, 1997)).

Para estimar la cantidad de carbono por metro cuadrado, se utilizó el total de carbono estimado por parcela, dividido 1,000 metros cuadrados, posteriormente, la cantidad de carbono por metro cuadrado se multiplicó por 10,000 m<sup>2</sup> para obtener la cantidad de carbono por hectárea.

La cantidad de carbono estimada por cada parcela de muestreo (1,000 m<sup>2</sup>) de donde se obtuvo tC/m<sup>2</sup>. Luego se multiplicó por 10,000 m<sup>2</sup>/ha dando como resultado total tC/ha de árboles de sombra y cacao.

## **4.2 Fase de laboratorio**

### **4.2.1 Muestras de suelos**

#### **4.2.1.1 Análisis físico**

En este análisis se estimó la densidad aparente de cada una de las sub-muestras de suelo tomadas por cada parcela de muestreo (10 sub-muestras/parcela de muestreo), cada sub-muestra fue homogenizada durante 2 minutos, luego se extrajo una alícuota de 40 gr/sub-muestra, las alícuotas (390) fueron secadas al horno durante 48 horas a 105°C y pesadas nuevamente, a partir del peso seco de cada una de las alícuotas se determinó la humedad del suelo/sub-muestra, la humedad que presentó cada una de las sub-muestras se utilizó para extrapolar el peso total de la sub-muestra, esto para realizar el cálculo total de la densidad aparente promedio por parcela de muestreo.

#### **4.2.1.2 Preparación de la muestra representativa de suelo**

Para realizar el análisis químico del suelo, fue necesaria la preparación de una muestra representativa por parcela de muestreo (39 muestras representativas en total), realizando una serie de pasos que a continuación se presentan (Anexo No.9 –Representación gráfica del procedimiento necesario para la preparación de la muestra representativa del suelo, para su envío al laboratorio-):

- a) Tamizado: Se tomaron las 10 sub-muestras de suelo por parcela de muestreo (5 sub-muestras de profundidad de 0-10 cm y 5 sub-muestras de profundidad de 10-20 cm) e individualmente se tamizaron (utilizando un tamiz de 2 mm y un mortero –este para romper partículas muy grandes de suelo-).
- b) Homogenizado: Posteriormente el suelo ya tamizado de cada una de las sub-muestras/parcela de muestreo, fue homogenizado e introducido en un

recipiente plástico. El suelo total de la parcela de muestreo introducido en el recipiente fue mezclado durante 1 minuto hasta que se obtuvo una adecuada homogenización.

- c) Identificación de la muestra representativa: Del total del suelo por parcela de muestreo, ya tamizado y homogenizado, se tomó una muestra representativa de 500 gr (el material tamizado y homogenizado/parcela de muestreo restante fue almacenado con la finalidad de conservarlo), la cual posteriormente fue rotulada de la siguiente manera:

Código de la parcela: _____
Fecha de muestreo: _____
Lugar de muestreo: _____
Nombre del técnico: _____
Proyecto Cacao Centroamérica (CATIE)

## 4.2.2 Muestras de hojarasca, raíces finas y necromasa

### 4.2.2.1 Preparación de las muestras para el envío al laboratorio

Para realizar el análisis químico de las muestras en el laboratorio, fue necesario secar las muestras en condiciones ambientales durante un mes (26°C temperatura media anual presente en el área de estudio).

Luego del proceso de secado al ambiente, se procedió a preparar la muestra representativa /parcela de muestreo, donde:

- a) Muestra representativa de hojarasca: 250 gramos.
- b) Muestra representativa de raíces finas: 30 gramos.
- c) Muestra representativa de necromasa: El total de material que se obtuvo de la extracción de la muestra tomada con el cilindro, de los troncos y árboles caídos o en procesos de descomposición.

Posteriormente la cantidad de material que constituía la muestra representativa fue introducida en bolsas de nylon, creando de esta forma un ambiente hermético a la muestra, con el objetivo de evitar que la humedad perdida durante el proceso de secado al ambiente se vuelva a recuperar.

En el laboratorio las muestras fueron secadas al horno durante 48 horas a una temperatura de 65°C, con lo cual se determinó la humedad total de cada una de las muestras representativas/parcela de muestreo.

Para obtener el valor de la biomasa de las muestras, se determinó el valor del contenido de humedad de la siguiente manera:

- $C.H = ( P_{hs} - P_{ss} ) / P_{hs}$ , donde:

C.H = Contenido de Humedad.

$P_{hs}$  = Peso húmedo del suelo.

$P_{ss}$  = Peso seco del suelo.

Con el valor del contenido de humedad se procedió a calcular la proporción del peso húmedo, que correspondía a la biomasa de las muestras:

- $Y = P_{ht} - ( P_{ht} * CH )$ , donde:

Y = Biomasa en gramos.

$P_{ht}$  = Peso húmedo total en gramos.

CH = Contenido de Humedad.

Los valores obtenidos se dividieron dentro de 1,000,000 para obtener toneladas. Este valor en toneladas se multiplicó por el contenido de carbono (%) de cada una de las muestras, lo que dio como resultado toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono se dividieron dentro del total de metros muestreados (1000 m<sup>2</sup>). Esta operación dio tC/m<sup>2</sup> y luego al multiplicarlo por 10,000 m<sup>2</sup> se obtuvo como resultado final tC/ha.

### 4.2.3 Análisis de laboratorio aplicado a las muestras

#### 4.2.3.1 Método utilizado para determinar la cantidad de Carbono de las muestras de suelo, hojarasca, raíces finas y necromasa en el laboratorio.

Para el análisis en el laboratorio de las muestras tomadas en las parcelas de muestreo del Sur-Occidente de Guatemala, se utilizó el aparato denominado Auto-analizador Thermo-Finigan FlashEA 1112, el cual permite determinar simultáneamente Carbono y Nitrógeno en muestras de suelos, sedimentos y material vegetal.

Su funcionamiento se basa en una oxidación completa de la muestra dentro de un reactor de alta temperatura (aprox. 1800°C), transformando la muestra en una mezcla de gases. Los gases se separan a través de una columna cromatográfica la cual está conectada a un detector de Conductividad Térmica.

El rango de sensibilidad es de 100 ppm a 100%, para ambas determinaciones, carbono y nitrógeno. El tiempo de análisis de una muestra es de 465 segundos.

##### a) Características del auto-analizador thermo-Finigan FlashEA 1112:

- El equipo es automático operándose por medio Software Eager 300.
- Kit de reactivos de relleno para las columnas de oxidación y reducción.
- Desecante.
- Capsula de estaño para contener la muestra.

Luego el contenido de carbono en los suelos (en tC/ha), fue calculado a partir de los valores generados por el Auto-analizador (% de carbono/muestra), densidad aparente del suelo ( $\text{g/cm}^3$ ) y la profundidad de muestreo (20 cm).

Carbono en el suelo (tC/ha) = CC \* Da \* P, donde:

- P = Profundidad de muestreo (cm)
- CC = Contenido de Carbono (%)
- Da = Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

### **4.3 Fase de gabinete**

#### 4.3.1 Análisis estadístico

A los resultados obtenidos del análisis de laboratorio (cantidad de Carbono) a las muestras de suelo, hojarasca, necromasa y raíces finas, y al contenido de carbono de la biomasa aérea y biomasa abajo del suelo (raíces gruesas), se les aplicó un análisis múlti-variado (conglomerados, componentes principales y discriminante canónico) con la ayuda del programa estadístico INFOSTAT.

También se aplicó un análisis múlti-variado de la varianza y prueba de significancia DUNKAN con el objetivo de detectar diferencias significativas dentro los sistemas agroforestales de cacao y los conglomerados que se formaron con el análisis múlti-variado.

Con todos estos análisis se pudo identificar la influencia de diferentes condiciones de paisaje como la altura, topografía, usos de suelo colindantes, composición botánica y otros sobre los contenidos de carbono.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

El Carbono almacenado en cada componente de estudio (biomasa aérea, suelo, raíces finas, raíces gruesas, hojarasca y necromasa >10cm) y la proporción del total que representan fueron muy diferentes.

Los componentes de los SAF de cacao que almacenan la mayor cantidad de carbono fueron el suelo (64.15 ton/ha) y la biomasa aérea (72.02 ton/ha), que corresponde al 41% y 46% respectivamente del carbono total almacenado.

El aporte de las raíces gruesas fue importante, ya que esta supero el 5% del total. Las raíces finas, la necromasa >10cm y la hojarasca fueron las que menos cantidad de carbono aportaron pues en conjunto almacenaron menos del 4% del total (Cuadro No.2)

Cuadro No.2: Almacenamiento de Carbono (tonC ha<sup>-1</sup>) de 36 sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) en el Sur-Occidente de Guatemala.

<b>Componente</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>C.V.</b>	<b>Mediana</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>% Por Componente</b>
Suelo	64.15	13.45	20.97	62.97	94.86	45.37	41.36
Raíces finas	1.63	0.83	50.71	1.5	4.67	0.61	1.05
Raíces gruesas	13.69	8.18	59.74	12.13	32.24	0.83	8.83
Necromasa >10cm	0.04	0.21	498.45	0	1.24	0	0.03
Hojarasca	3.58	1.82	50.75	3.31	11.02	1.07	2.31
Biomasa aérea	72.02	47.59	66.08	61.17	184.96	2.96	46.43
<b>Carbono total</b>	<b>155.11</b>	<b>59.29</b>	<b>38.22</b>	<b>146.72</b>	<b>275.59</b>	<b>57.83</b>	<b>100</b>

Los SAF de cacao de Suchitepéquez y Retalhuleu del Sur-Occidente de Guatemala, almacenan en promedio 155.11tonCha<sup>-1</sup>. Los componentes que presentaron mayor variación en los datos fueron la necromasa >10cm y biomasa aérea, lo cual explica que existen SAF de cacao que pueden almacenar cerca de 280 tonCha<sup>-1</sup> y otros con poco carbono alrededor de 58 tonCha<sup>-1</sup> (Cuadro No.2).

De acuerdo con Andrade y Somarriba (2005), se considera que entre 80 y 120  $\text{tonCha}^{-1}$ , la capacidad de almacenar carbono por el sistema es media, y por encima de 120  $\text{tonCha}^{-1}$ , la capacidad es alta. En este estudio la mediana demuestra que la mitad de los SAF de cacao del estudio almacenan más de 146  $\text{tonCha}^{-1}$ , con lo que se puede constatar que los SAF de cacao de Suchitepéquez y Retalhuleu del Sur-Occidente de Guatemala, poseen una capacidad de almacenamiento de carbono alta (Cuadro No.2).

En estudios realizados en la zona de Talamanca, Costa Rica existe diferencia entre el carbono total almacenado de los SAF de cacao que se encuentran ubicados en valles (zonas planas) y en lomas (zonas con pendientes). Segura (2005), indicó que cacaotales ubicados en las lomas almacenan en promedio 132.8  $\text{tonCha}^{-1}$  y en valle 112.5  $\text{tonCha}^{-1}$ . Por otro lado Ortiz *ét al* (2006), reportaron un almacenamiento promedio de 126.4  $\text{tonCha}^{-1}$  en valles y 114.5  $\text{tonCha}^{-1}$  en lomas.

En la presente investigación, según los datos obtenidos de acuerdo a la estimación de la cantidad de carbono almacenado, se muestra que en la zona del Sur-Occidente de Guatemala, existe una mayor tendencia a almacenar mayores cantidades de carbono  $\text{ha}^{-1}$  en los SAF de cacao que se encuentran ubicados en los valles con terrenos generalmente planos o con poca pendiente (<5%), sin embargo, hay que destacar que el carbono total almacenado se encuentra influenciado directamente de la biomasa aérea.

De los resultados obtenidos del trabajo de campo (análisis de paisaje, sitio y composición botánica) y de los resultados del laboratorio del análisis de las muestras (suelo, raíces finas, hojarasca y necromasa >10 cm), se realizó un primer análisis multí-variado (conglomerados) para determinar la relación que existe entre las diferentes variables ó características observadas presentes en las parcelas de muestreo de los Sistemas Agroforestales de cacao seleccionados (Anexo No.10 –SAF de cacao seleccionados que conforman la red de estudio del Sur-Occidente de Guatemala-). Las parcelas de muestreo que presentaron similitud con respecto a las variables de estudio, fueron aisladas dentro de grupos denominados conglomerados.

En los Sistemas Agroforestales (SAF) de cacao del Sur-Occidente de Guatemala, se formaron 3 conglomerados (Figura No.11), en función a la similitud de las variables o características observadas. El conglomerado No.3 fue el que aisló la mayor cantidad de parcelas de muestreo (n=20), seguido por el conglomerado No.1 (n=11) y siendo el conglomerado No.2 el que posee la menor cantidad SAF de cacao con características similares (n=5).

Dentro del conglomerado No.1 se aislaron las parcelas de muestreo G01, G02, G03, G05, G06, G07, G09, G33, G34, G35 y G36.

Dentro del conglomerado No. 2 se encuentran las parcelas de muestreo G14, G15, G18, G19 y G20.

Y por ultimo dentro del conglomerado No.3 se encuentran las parcelas de muestreo G04, G08, G10, G11, G12, G13, G16, G17, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G28, G29, G30, G31 y G32. Como se muestra en la siguiente figura.

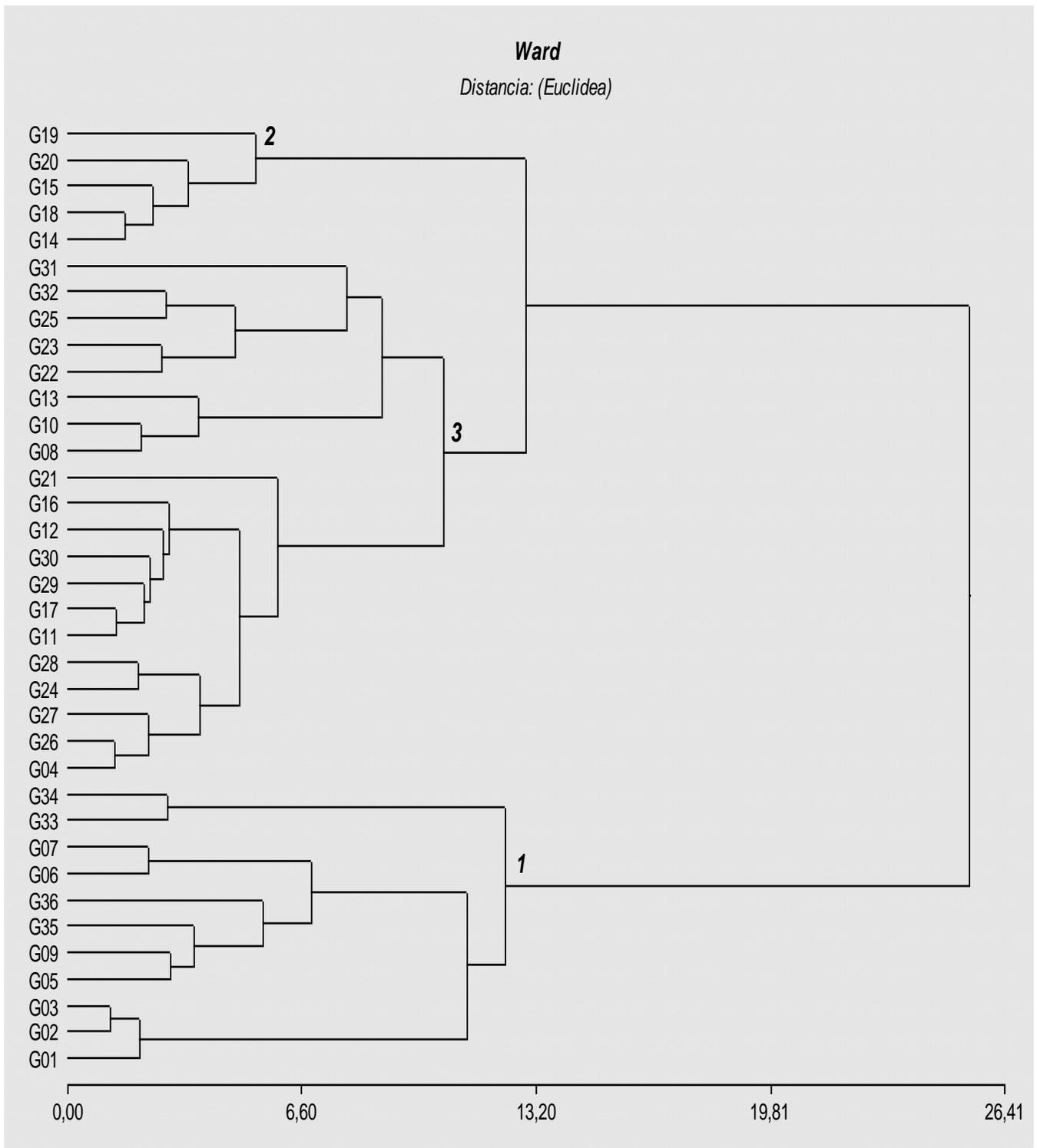
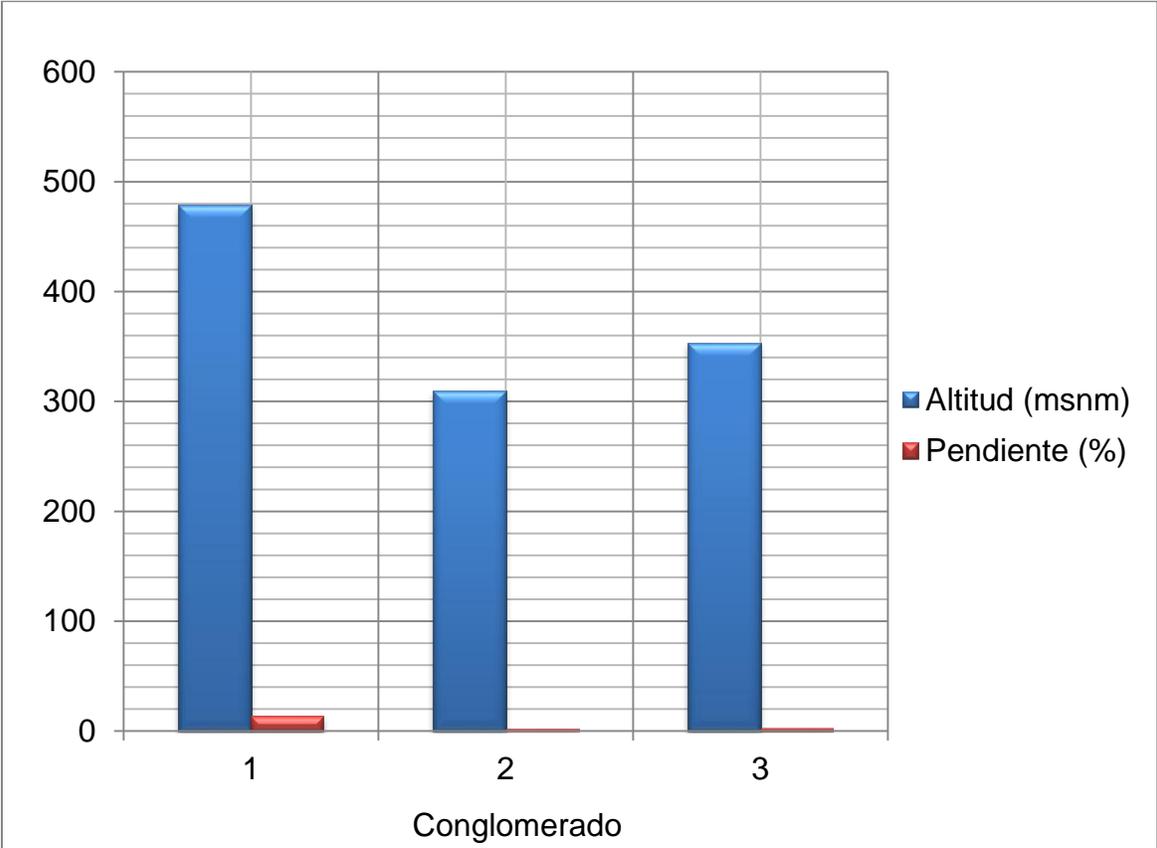


Figura No.11: Dendrograma de los conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao con base en variables de paisaje, sitio, composición botánica y carbono almacenado.

Las variables de paisaje y sitio fueron similares dentro de los conglomerados No.2 y No.3, y estos a su vez fueron muy contrastantes con respecto al conglomerado No.1, como se muestra en la siguiente grafica.

Grafica No.5: Variables de paisaje y sitio de cada uno de los tres conglomerados que forman la red de muestreo.



El conglomerado No.1 fue el que agrupó a los SAF de cacao que se encuentran en la parte alta de las laderas, con terrenos de pendientes pronunciadas (>12%), con el menor porcentaje de limo en los suelos y con la menor abundancia de arboles de cacao y la mayor abundancia de musáceas. Este conglomerado posee la menor abundancia de cacao debido a que en el paisaje y sitio (470 msnm, 14° de pendiente, ladera alta y media, relieve ondulado) en el que se encuentran

ubicados los SAF de cacao que lo componen, están en un proceso de transición para la producción del cultivo de café, debido a que en la parcela de muestreo se observaron densidades de cacao promedio de 200 arboles/hectárea, lo cual corresponde a un distanciamiento de 8 \* 8 metros utilizados como sombra para el cultivo de café, también se logró observar que la plantación primaria de cacao se encontraba a un distanciamiento de 4 \* 4 metros (ya que se lograba visualizar los troncos de los arboles de cacao que habían sido eliminados). Los arboles maderables y frutales presentes en estos SAF de cacao aun se conservan como arboles de sombra para este cultivo, con densidades de 120 plantas/hectárea (distanciamiento promedio de 12 \* 12 metros). Según los productores de las zonas de producción que enmarcan al conglomerado No.1, la transición que se está llevando a cabo para convertir los SAF de cacao a SAF de café, es debido a que la producción de cacao del área es baja (3qq/ha/año) y el costo de producción es alto, ya que los cambios en los patrones del clima hacen que enfermedades como la *Phytophthora palmivora* (mazorca negra) sean difíciles e imposibles de evitar, y el precio al cual se cotiza el cacao en la zona es bajo (Q.800.00 a Q.1,300.00 por quintal).

El conglomerado No.2 agrupó a los SAF de cacao que están ubicados en la menor altitud de estudio 310 msnm, ubicados en la parte baja de las laderas (valles), con pendientes nulas o generalmente planas (<5%), y con la mayor abundancia de arboles de cacao, palmáceas, frutales, maderables y con la menor abundancia de musáceas.

En el conglomerado No.3 se aislaron los SAF de cacao que se encuentran a una altitud promedio de 350 msnm (altura media sobre el nivel del mar para la producción de cacao), ubicados en la parte baja de las laderas (valles), con pendientes nulas o planas (similar al conglomerado No.2) y que poseen el menor porcentaje arcilla en los suelos.

Cuadro No.3: Medias de las características de sitio y composición botánica de tres conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao.

<b>Característica</b>	<b>Conglomerado 1 (n=11)</b>	<b>Conglomerado 2 (n=5)</b>	<b>Conglomerado 3 (n=20)</b>
Altitud	479.18	309.8	353.55
Pendiente	13.91	2.3	2.61
Área Cacao	1.49	0.49	1.15
Densidad Aparente	0.85	0.68	0.73
Arena%	60.27	55.3	56.09
Limo%	24.55	32.14	31.88
Arcilla%	15.17	12.56	12.04
Riqueza de especies	6.64	11.2	8.55
Abundancia Musáceas ha <sup>-1</sup>	51.82	10	14.5
Abundancia Cacao ha <sup>-1</sup>	175.45	420	372
Abundancia Palmáceas ha <sup>-1</sup>	11.82	72	13
Abundancia Frutales ha <sup>-1</sup>	103.64	286	114
Abundancia Maderables ha <sup>-1</sup>	7.27	54	26
Abundancia total ha <sup>-1</sup>	350	842	539.5

El biplot de componentes principales, con dos componentes, logró explicar el 100% de la variabilidad de los datos y a la vez permitió visualizar el tipo de correlación entre variables que conforman cada uno de los conglomerados.

El Carbono total presentó correlación estrecha y positiva con el Carbono en la biomasa aérea, raíces gruesas, hojarasca y necromasa >10cm, apreciándose que de las especies leñosas la abundancia de cacao es la principal causa en tal resultado por su correlación positiva con las variables anteriores (conglomerado 3).

El conglomerado 2, tuvo como principales componentes a la cantidad de Carbono en el suelo y raíces finas, a la riqueza de especies y abundancia total (abundancia de maderables, frutales y palmáceas).

El conglomerado 1 por su parte no presenta como característica principal a los componentes de Carbono, tuvo más cercanía con los siguientes componentes de estudio: Área de cacao, la abundancia de musáceas, densidad aparente de los suelos, la altitud y pendiente de la ubicación de las parcelas (Figura No.12).

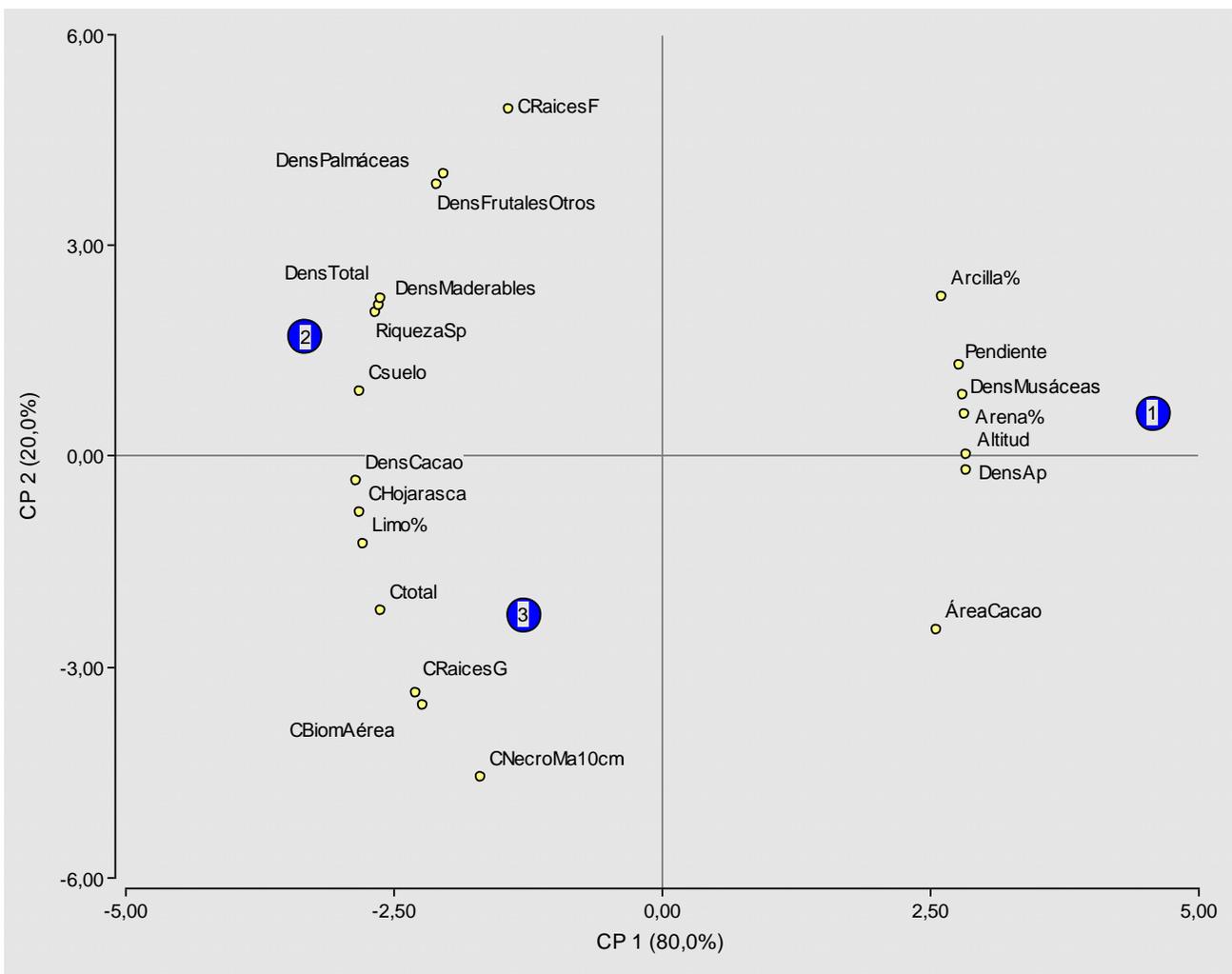


Figura No.12: Biplot de componentes principales con todas las variables del estudio y tres conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao.

La estimación de la biomasa aérea de los sistemas agroforestales de cacao, se realizó mediante modelos alométricos (método indirecto para la estimación de carbono de árboles maderables y frutales), las cuales se basan en las dimensiones básicas de un árbol (dap y altura) y que fueron elaboradas en función del tipo de vegetación y especie de estudio. Entre las especies maderables y frutales identificadas dentro de los SAF de cacao del Sur-Occidente de Guatemala se encuentran las siguientes: Aguacate (*Persea Americana*), cacho de venado (*Eugenia cervina*), canoj (*Nectandra spp*), capulín (*Ilex discolor*), caspirol (*Inga fagifolia*), cedro (*Cedrela odorata*), cercillo, chalum (*Inga spuria*), chico zapote (*Diospyros johnsetoniana*), chonte (*Zanthoxylum preserum*), coco (*Cocus nucifera*), cola de iguana (*Bytheria aculeata*), colipau, coshte (*Colubrina arborensis*), cushín (*Inga spp.*), guachipilín (*Diphysa rubinioides*), guarumo (*Cecropia obtusifolia*), hormigo (*Platymiscium dimorphandrum*), huele de noche (*Cestrum panamensis*), laurel (*Cordia alliodora*), llora sangre (*Swartzia cubensis*), madre cacao (*Gliricidia sepium*), mandarina (*Citrus reticulata*), mango (*Mangifera indica*), matapalo (*Orepanax guatemalense*), nance (*Byrsonima crassifolia*), naranja (*Citrus sinensis*), nona, palo amarillo (*Maclura tinctoria*), palo blanco (*Tabebuia donell-smithii*), palo clavera, palo chiche, palo de chicle, palo de corcho, palo de hule (*Hevea brasiliensis*), palo jiote (*Bursera simarouba*), palo job, patashte (*Theobroma bicolor*), paterna (*Inga paterna*), plumillo (*Shizolobium parahubium*), shinculla, tapalquit (*Pterocarpus spp.*), tepeaguacate (*Nectandra sinuata*), tinajillo (*Genipa americana*), Ujuxte (*Brosimum alicastrum*), volador (*Terminalia oblonga*), zapote (*Pouteria sapota*) y zapotón.

Las formulas alométricas utilizadas para la estimación de la biomasa aérea por especie, se describe a continuación en el siguiente cuadro:

Cuadro No.4: Formulas alométricas utilizadas por especie, identificada dentro de los 36 sistemas agroforestales de cacao muestreados en el Sur-Occidente de Guatemala.

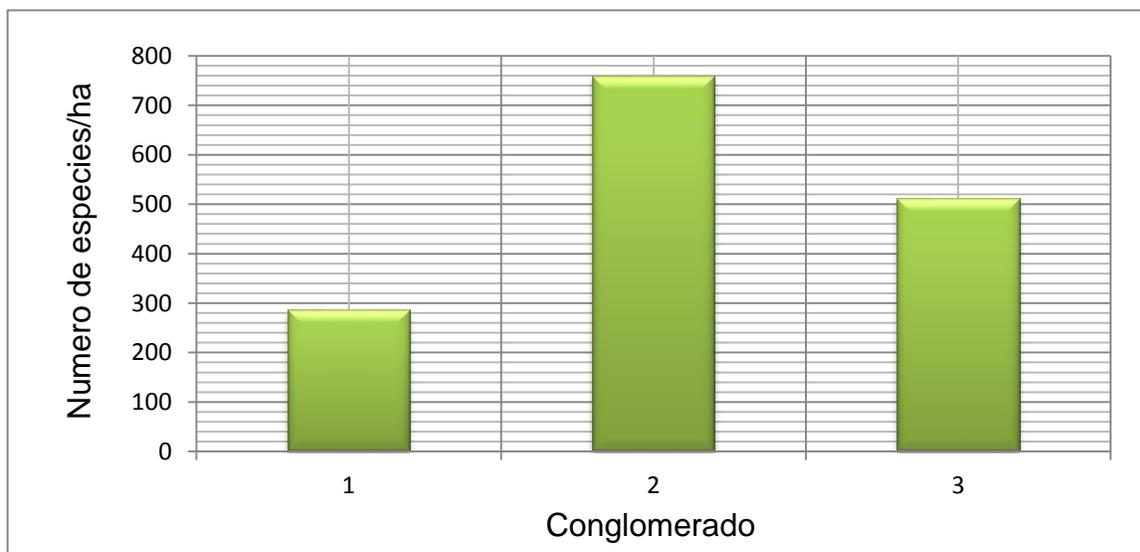
Ecuación Alométrica	Nombre común de la especie	Nombre científico de la especie
$\text{Log Bt} = (-1,11 + 2,64 * \text{dap} * \text{Log}(\text{dap}))$	Aguacate Capulín Mandarina Mango Naranja Zapote	<i>Persea americana</i> <i>Ilex discolor</i> <i>Citrus reticulata</i> <i>Mangifera indica</i> <i>Citrus sinensis</i> <i>Pouteria sapota</i>
Biomasa aérea 1,5Kg/m de altura	Banano Plátano	<i>Musa paradisiaca</i> <i>Musa spp.</i>
$\text{Log Bt} = (-1,684 + 2,158 * \text{Log}(\text{dap}_{30}) + 0,892 * \text{Log}(\text{alt}))$	Cacao Madre cacao	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Gliricidia sepium</i> .
$10^{(0,67134058 + 0,40531445 * 0,00072208395 * (\text{EXP}(\text{altura} / -0,40531445))}$	Café	<i>Coffea arabica</i>
$\text{Bt} = (21,3 - 6,95 * (\text{dap}) + 0,74 * (\text{dap}^2))$	Canoj Chico sapote Chonte Cola de Iguana Coshte Cushin Guarumo Huele de noche Matapalo	<i>Nectandra spp.</i> <i>Diospyros johnsetoniana</i> <i>Zanthoxylum preserum</i> <i>Bytheria aculeata</i> <i>Colubrina arborensis</i> <i>Inga spp.</i> <i>Cecropia obtusifolia</i> <i>Cestrum panamensis</i> <i>Orepanax guatemalense</i>

$Bt = (21,3 - 6,95 * (dap) + 0,74 * (dap^2))$	Palo amarillo Palo blanco Palo de hule Tapalquit Patashte Paterna Tinajillo Ujuxte Volador	<i>Maclura tinctoria</i> <i>Tabebuia donell-smithii</i> <i>Hevea brasiliensis</i> <i>Pterocarpus spp.</i> <i>Theobroma bicolor</i> <i>Inga paterna</i> <i>Genipa americana</i> <i>Brosimum alicastrum</i> <i>Terminalia oblonga</i>
$Bt = (7,7 * (altura) + 4,5^{0,003})$	Coco	<i>Cocos nucifera.</i>
$\text{Log } Bt = (-0,94 + 1,32 * \text{Log}(dap) + 1,14 * \text{Log}(alt))$	Laurel	<i>Cordia alliodora.</i>

Según el análisis de varianza y la prueba de Duncan (Cuadro No.6) realizado a los 3 conglomerados identificados en los Sistemas Agroforestales de cacao del Sur-Occidente de Guatemala, se describe a continuación la estimación de carbono por conglomerado, relacionado con la biomasa aérea y raíces gruesas: En este análisis se toma en cuenta la biomasa aérea y raíces gruesas debido a que la biomasa aérea tienen correlación directamente positiva con relación a la biomasa de las raíces gruesas (a mayor biomasa aérea, mayor biomasa en raíces gruesas).

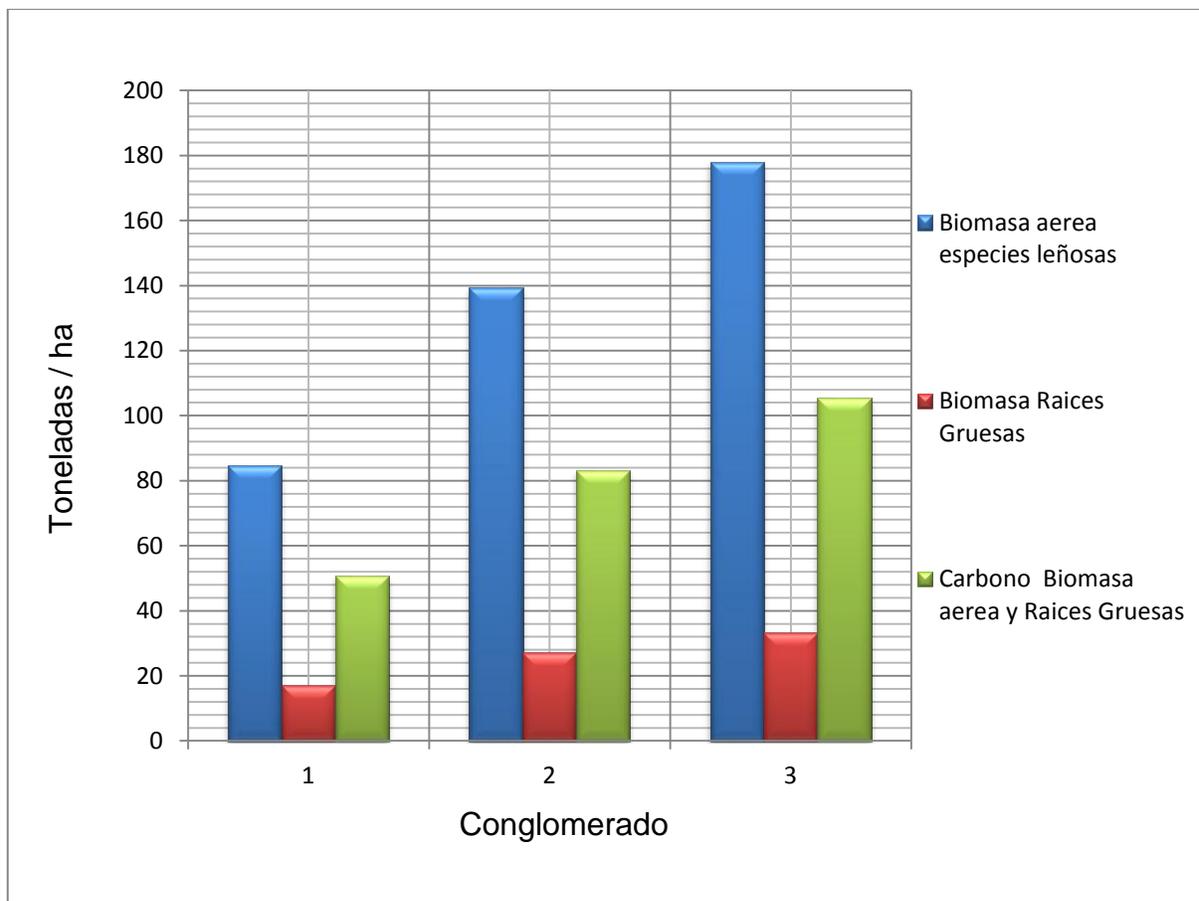
Se observa (Cuadro No.6) que entre los tres conglomerados formados, existe diferencias estadísticamente significativas, siendo mayor el contenido de biomasa aérea y raíces gruesas en los conglomerados No.2 y No.3, esto debido a que en estos conglomerados se encontró una mayor abundancia por hectárea de especies leñosas con respecto al conglomerado No.1, como se muestra en la siguiente grafica.

Grafica No.6: Abundancia de especies leñosas por hectárea en los 3 conglomerados formados.



Las especies leñosas tienen una gran capacidad de incorporar a sus tejidos el carbono capturado de la atmosfera (Nair *ét al*, 2009). Por ejemplo se puede observar que el conglomerado No.2 posee mayor abundancia de especies leñosas, con respecto a los otros 2 conglomerados restantes, pero captura menos cantidad de carbono (con relación a la biomasa aérea y raíces gruesas) que el conglomerado No.3, como lo indica la siguiente grafica.

Grafica No.7: Cantidad de carbono en biomasa aérea y raíces gruesas de especies leñosas en los 3 conglomerados formados.



Esto es debido a que las parcelas que se encuentran agrupadas dentro del conglomerado No.3 son las que presentan especies leñosas con un diámetro y altura mayor dentro de las parcelas muestreadas (Cuadro No.5), siendo de esta

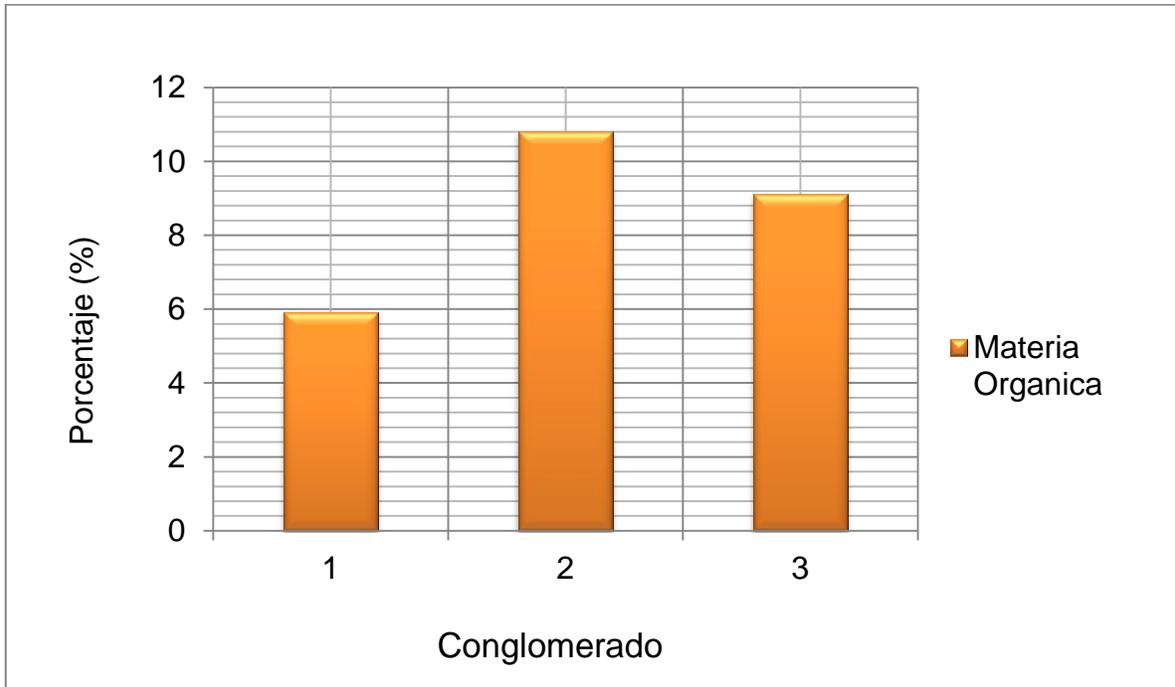
forma que este conglomerado posee la mayor cantidad de carbono almacenado por biomasa aérea y raíces gruesas.

Cuadro No.5: Promedio de diámetro y altura de los diferentes tipos de especies leñosas en los tres conglomerados formados.

	<b>Conglomerado 1</b>		<b>Conglomerado 2</b>		<b>Conglomerado 3</b>	
<b>Tipo de especie leñosa</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>
Arboles de Sombra	30.36	16.05	25.51	17.27	34.32	18.8
Arboles de Cacao	16.7	5.36	16.1	4.82	17.4	5.6

Con respecto al carbono en el suelo, se obtuvo que el conglomerado No.2 fue el que presentó la mayor cantidad presente dentro de su estructura, lo cual puede atribuirse al alto contenido de materia orgánica (en promedio el 58% de la materia orgánica es carbono orgánico) que poseen los sistemas agroforestales que se encuentran aislados en este conglomerado (aproximadamente 11% M.O – estimación por el método Walkley y Black-), como se muestra en la grafica No. 6. También se encuentran en la menor altitud sobre el nivel del mar en estudio y poseen suelos con un primer horizonte grueso.

Grafica No.8: Cantidad de Materia Orgánica (%) de los conglomerados formados de los 36 sistemas agroforestales de cacao muestreados.



De igual forma se determinó, que en los componentes restantes como lo son: Raíces finas, necromasa >10cm, y hojarasca, no existe diferencia significativa entre los conglomerados formados (estadísticamente iguales), de acuerdo al contenido de carbono que estos almacenan (como se muestra en la grafica No.7).

Los componentes mencionados anteriormente fueron tomados como cobertura del suelo: Las raíces finas fueron aportadas principalmente por las plantas herbáceas ó rastreras presentes en las parcelas de muestreo, aportando un promedio de biomasa de 4.8 ton/ha para el conglomerado No.1, 6.49 ton/ha para el conglomerado No.2 y 4.55 ton/ha para el conglomerado No.3, con 33.99%, 32.63% y 33.29% respectivamente, como promedio de carbono en su estructura, lo cual nos muestra que en el conglomerado No.2 (el cual aporta la mayor biomasa de raíces finas), es que el aporta el menor porcentaje de carbono en su

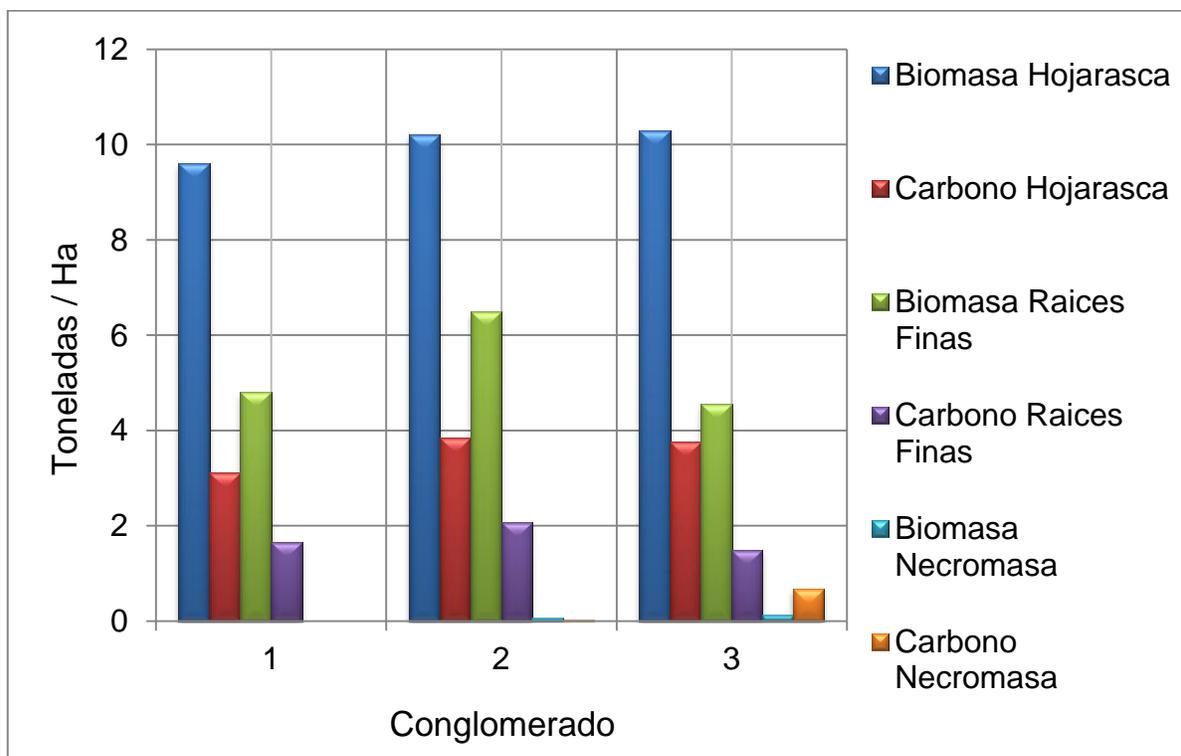
estructura lo cual hace que exista un balance en la cantidad de carbono almacenado en raíces finas con respecto a los conglomerados No.1 y No.3.

Con relación a la hojarasca, en las parcelas de muestreo se logró observar que esta es el componente que en proporción ocupa la mayor cobertura del suelo de los sistemas agroforestales de cacao, con un 45.13% en el conglomerado No.1, 73.66% en el conglomerado No.2 y 60.03% en el conglomerado No.3, dando como resultado una cantidad de biomasa de 9.6 ton/ha, 10.22 ton/ha y 10.3 ton/ha respectivamente. Como se observa, la cantidad de biomasa que aporta la hojarasca al estudio dentro de los 3 conglomerados es muy similar, pero no así la proporción promedio en la que esta se encuentra dentro de las parcelas de muestreo, existiendo una menor proporción promedio en el conglomerado No.1, esto es debido a que las parcelas que se encuentran dentro de este conglomerado poseen una gradiente de pendiente pronunciada (>12%) y esto hace que la hojarasca sea removida y se formen montículos de la misma, ocultando de esta forma la proporción promedio real.

La necromasa >10cm, fue aportada principalmente por troncos de árboles eliminados, ya que ramas y tallos tirados son muy difíciles de observar dentro de los sistemas agroforestales del área de estudio, debido a que estos son muy cotizados en el área, con el fin de utilizarlos como combustible para la preparación de alimentos.

Con respecto al contenido total de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao seleccionados para este estudio, se dice que si existe diferencias estadísticamente significativas, debido al contenido de carbono en la biomasa aérea (características de las especies leñosas agrupadas en las parcelas que conforman el conglomerado No.3) y al contenido de carbono en el suelo (cantidad de materia orgánica presente los suelos de las parcelas de muestreo que enmarcan el conglomerado No.2).

Grafica No.9: Cantidad de biomasa y carbono almacenado en los componentes de hojarasca, raíces finas y necromasa en los 3 conglomerados formados.



Cuadro No.6: Análisis de varianza y prueba Duncan para el almacenamiento de carbono (tonC ha<sup>-1</sup>) de tres conglomerados formados con 36 sistemas agroforestales de cacao.

Componente	Conglomerado 1 (n=11)	Conglomerado 2 (n=5)	Conglomerado 3 (n=20)	p valor
Suelo	51.89 a	77.97 c	67.43 b	0.0001
Raíces finas	1.65 a	2.08 a	1.51 a	0.3968
Raíces gruesas	8.54 a	13.53 ab	16.56 b	0.0279
Necromasa > 10 cm	0.00a	0.02 a	0.07 a	0.6771
Hojarasca	3.12 a	3.85 a	3.76 a	0.6102
Biomasa aérea	42.18 a	69.64 ab	89.02 b	0.0268
<b>Carbono total</b>	<b>107.39 a</b>	<b>167.09 b</b>	<b>178.36 b</b>	<b>0.003</b>

- Valores de  $p < 0,05$  indican diferencias estadísticamente significativas detectadas con el análisis de varianza.
- Letras diferentes en filas indican diferencias estadísticamente significativas entre conglomerados.

## 6. CONCLUSIONES

- Los sistemas agroforestales de cacao de los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu del Sur-Occidente de Guatemala almacenan en promedio un aproximado de  $155 \text{ tonCha}^{-1}$ , considerándose de esta forma que tienen una capacidad alta para almacenar carbono.
- El suelo y la biomasa aérea se consideran los componentes más importantes para la estimación de carbono en SAF de cacao, ya que en conjunto acumulan un 87% del carbono total (41% y 46% respectivamente), el restante 13% de carbono se encuentra fijado en las raíces, hojarasca y necromasa.
- La diversidad de especies maderables y frutales que componente el dosel de sombra en los SAF de cacao en el Sur-Occidente de Guatemala es determinante en el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea (la captura de carbono depende de los diámetros, altura y edad de los arboles maderables y frutales), según lo muestran los resultados del análisis de conglomerados.
- El carbono en el suelo aporta similar cantidad de carbono que la biomasa aérea, aunque no presentó correlación positiva con el carbono total, se considera uno de los principales reservorios de carbono perdurable en el tiempo.
- De acuerdo a las condiciones de paisaje, sitio y composición botánica del dosel de sombra de cacao, se pueden clasificar tres conglomerados (grupos) de los sistemas agroforestales de cacao del Sur-Occidente de Guatemala, los cuales presentan diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de carbono almacenado en los componentes de suelo, raíces gruesas, biomasa aérea y carbono total.

- El conglomerado tres de los SAF de cacao, se encuentra ubicado en valles (terrenos casi planos o con poca pendiente), a una altura promedio de 354 metros sobre el nivel del mar, con la mayor cantidad de biomasa aérea, fue el que almacenó la mayor cantidad de carbono total.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios dirigidos a la generación de ecuaciones alométricas para algunas especies forestales encontradas en el área de estudio como dosel de sombra.
- Generar una estrategia para que los pequeños productores de cacao del Sur-Occidente de Guatemala puedan acceder a mecanismos alternativos de pagos por servicios ambientales que ofrecen los sistemas agroforestales de cacao (turismo por conservación de la biodiversidad).
- Fortalecer las estrategias de manejo sostenible de los sistemas agroforestales de cacao, a través de la implementación de planes agroforestales, considerando los componentes biofísicos y socioeconómicos, que les permita a los pequeños productores de cacao, generar ingresos económicos, fuentes energéticas para la producción y preparación de alimentos.
- En las fincas de pequeños productores de cacao del Sur-Occidente de Guatemala, en donde la edad de las plantas de cacao sobrepasan los 20 años (sumado a la edad, los árboles de cacao sobrepasan los cinco metros de altura), se recomienda realizar un proceso de renovación o rehabilitación de la plantación de forma alterna, que permita aumentar la producción de cacao y mantener los servicios ambientales entre éstos la captura de Carbono.

## 8. BIBLIOGRAFÍAS

1. Alpizar, W. 1997. Proceso metodológico para la cuantificación de carbono de la biomasa en pie en bosque natural y sus estimaciones de no emisión y fijación. Costa Rica, Oficina Costarricense de Implementación Conjunta. 76 p.
2. Beaumont, R. 1999. El Protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio: nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 42 p.
3. Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. *In* .Congreso Forestal Mundial (1997, TR). Turquía, Ministerio Forestal. p.107-128.
4. Brown, S; Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Inter-ciencia* 17(1): 8-18.
5. Brown, S; Sathaye, J; Cannel, M; y Kauppi, P. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* no. 2:22-35.
6. Cielsa, W. 1996. Cambios climáticos, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Roma, Italia, FAO. 146 p. (Estudios FAO: Montes no. 120).
7. Corporación Nacional Forestal, CL. 1998. El cambio climático global y el efecto invernadero; el rol de los bosques como mitigadores de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Chile. 33 p.
8. Cuellar, N; Rosa, H; González, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: el caso del café de sombra en El Salvador. *Prisma* 34:1-16.

9. Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. *Agroforestería en las Américas* 2(7): 22-26.
10. Eguren, L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago, Chile, CEPAL. 83 p. (Serie Medio Ambiente y Desarrollo).
11. FAO, IT. 2007. Cambio climático y seguridad alimentaria. Roma. Italia. 24 p.
12. Fisher, M; Trujillo, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neo-tropicales. *In Seminario Internacional de intensificación de la Ganadería Centroamericana: beneficios económicos y ambientales* (1999, Turrialba, CR). Turrialba, Costa Rica, FAO / CATIE / SIDE. p.115 -135.
13. Fundación Solar, GT. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Guatemala. 32p.
14. Gayoso A, J; Guerra C, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (CL)* 26(2): 33–38.
15. Goudie, A. 1990. *The human impact on the natural environment*. 3 ed. Oxford, UK, Brasil Blackwell. 388 p.
16. Hall, D; Rao, K. 1994. *Photosynthesis*. 5 ed. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 89 p.
17. Hoen, H; Solberg, B. 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science*. 40(3):429-451.

18. INE (Instituto Nacional de Ecología, Mx). 2005. México (en línea). Revista El Carbono no. 3:11-18. Consultado 16 de mar 2009]. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/>. Documento pdf.
19. IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change, UK). 1990. The supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. 127 p.
20. \_\_\_\_\_. 2000. Land use, land-use change, and forestry special report. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 377 p.
21. \_\_\_\_\_. 2007. Synthesis report: climate change 2007. Suiza, IPCC. 52 p.
22. Jandí, R. 2001. Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo. *In* Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. (2011, CL). Valdivia, Chile. 11p.
23. Kirklund, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva* no. 163:12-14.
24. Macdiken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, Winrock International Institute for Agricultural Development. 45 p.
25. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Bosques latifoliados del sur-occidente. Guatemala. 44 p.
26. Martínez, J; Sánchez, G. 2001. El proceso de cuantificación nacional de los sumideros de carbono en los sistemas forestales españoles. *In* Congreso Forestal Español (5, 2001, ES). Memorias. España, Morata, s.e. p. 27-42.

27. Moura-Costa, P. 2001. La convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasylva* 52(206):34-40.
28. Nelson, B; Mezquita, R; Pereira, J; Aquino, S; Teixeira, G; Bovino, L. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary y forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*. 117: 149-167.
29. Oades, J. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5:35-70.
30. Ordoñez, J. 1999. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México, Instituto Nacional de Ecología. 81 p.
31. Orrego, S; Valle, J. 2001. Existencia y tasa, de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosque primario y secundario de Colombia. *In* Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (2001, CL). Valdivia, Chile. 31 p.
32. Pardé, M. 1980. Forest Biomass Forestry products abstract: review article. *Commonwealth Forestry Bureau* 3(8):165–184, 192.
33. Pérez-Batallón, P; Ouro, G; Merino, A; Macías, F. 1998. Flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en un suelo forestal del Norte de España bajo diferentes manejos de restos de corta. *Edafología* 5:47-57. Consultado el 28 de mar del 2009. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/revista/Tomo5/Art47Texto.htm>.
34. PNUMA, AR. 1998. La lucha contra el cambio climático: El compromiso del Parlamento Latinoamericano. Buenos Aires, Argentina. 174 p. (Serie de Ciudadanía Ambiental).

35. Ramos, R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 112 p.
36. Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Mantiguás, Nicaragua. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 106 p.
37. Sánchez, J; Dubón, A. 1994. Establecimiento y manejo de cacao con sombra: guía técnica para el extensionista forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 82 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 10).
38. Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. For. Heredia, Costa Rica, CATIE. 83 p.
39. SIFEM (Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil, AR). 2000. Cambio climático (en línea). Argentina. Consultado 8 mayo 2009. Disponible en <http://www.proteccioncivil.gob.ar/calentamiento.html>
40. Somarriba, E; Beer, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 23 p. (Boletín Técnico no 16).
41. Teller, A. 1988. Biomass, Productivity and wood waste evaluation in a Spruce (*Picea abies*) Forest (Strinchmps 983). Commonwealth Forestry Review. 7(2):129-148.
42. Trumper, S; Cabanillas, E. 1999. Alcanafita ¿Un combustible alternativo? (en línea). Argentina, Ambiente Ecologico WWW no. 53. Consultado 16 mar 2009. Disponible en <http://www.ambiente-ecologico.com/revist53/main53d.html>

43. Vera Castillo, G. 2003. Recursos genéticos agrícolas y forestales: estado de la diversidad biológica de plantaciones y bosques de Guatemala. Roma, Italia, FAO, Departamento de Montes, Servicio de Desarrollo de Recursos Agrícolas y Forestales. 104 p.

## 9. ANEXOS

ANEXO No.1: Formato utilizado para el registro de puntos de GPS y colindantes de las parcelas que conformaron la red de estudio en el Sur-Occidente de Guatemala.

NOMBRE DEL PRODUCTOR: \_\_\_\_\_ CODIGO DEL CACAOTAL: \_\_\_\_\_

DEPARTAMENTO \_\_\_\_\_ MUNICIPIO: \_\_\_\_\_ COA \_\_\_\_\_

ESTACION	PTO. OBSERVADO	COLINDANTE	NOTA
0-1			
1-2			
2-3			
3-4			

ANEXO No.2: Formato utilizado para la obtención de datos en la red de estudios en las fincas cacaoteras en el Sur-Occidente de Guatemala.

<b>FECHA</b>					
<b>NOMBRES Y APELLIDOS DE LOS OBSERVADORES</b>					
<b>PROVINCIA</b>					
<b>CANTON</b>					
<b>DISTRITO</b>					
<b>COMUNIDAD</b>					
<b>NOMBRE DEL AGRICULTOR DUEÑO</b>					
<b>MIEMBRO DE CUALES COAS ?</b>					
<b>EN EL CACAOTAL : PAISAJE, COLINDANTES Y TOPOGRAFIA</b>					
<b>CODIGO del CACAOTAL</b>					
<b>PAISAJE</b>		Abierto (Poco bosque)		Cerrado (Mucho bosque)	
<b>COLINDANTES</b>  DIBUJO DEL CACAOTAL CON COLINDANTES IDENTIFICADOS					
<b>UBICACION TOPOGRAFICA DEL CACAOTAL</b>		Valle		Ladera	
				Abajo	Medio

EN EL CUADRO DE MUESTREO						
<b>CODIGO CACAOTAL</b>						
<b>Nombres y apellidos de los OBSERVADORES</b>					<b>FECHA</b>	
<b>COORDENADAS GEOGRAFICAS (Grados, Minutos, Segundos) del PUNTO CENTRAL</b>		<b># del PUNTO GPS</b>				
			<b>N :</b>	°	'	”
			<b>W :</b>	°	'	”
<b>ALTITUD del PUNTO CENTRAL (en m)</b>						
<b>SUPERFICIE medida con GPS (ha)</b>						
<b>ORIENTACION de la pendiente mas fuerte del CUADRO</b>						
<b>PENDIENTE MAS FUERTE (grados) del CUADRO</b>						
<b>ARREGLO DEFINIDO en el CUADRO ?</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>	Distancia entre surcos (metros)		Orientación de los surcos (con brújula)	
			Distancia entre plantas del mismo surco (metros)			
<b>RELIEVE del CUADRO</b>	<b>Plano</b>		<b>Hondonado</b>	<b>Ondulado</b>	<b>Otro (especificar)</b>	
<b>TIPO DE CACAO EN EL CUADRO</b> (Si hay varios, apuntar del más importante al menos importante con una estimación del %)	<b>Nombre</b>					
	<b>%</b>					
	<b>Fecha de siembra</b>					
	<b>Modo de propagación</b>	<b>Siembra directa con semillas</b>	<b>Plántulas de vivero procedentes de semillas</b>	<b>Plántulas de vivero injertadas</b>	<b>Estacas</b>	<b>Otros (especificar)</b>

ANEXO No.3: Formato utilizado para el registro de pesos (gramos) de suelos en campo de la red de estudio.

<b>CODIGO DEL CACAOTAL</b>	<b>A1</b>		<b>A2</b>		<b>A3</b>		<b>A4</b>		<b>A5</b>	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
	<b>B1</b>		<b>B2</b>		<b>B3</b>		<b>B4</b>		<b>B5</b>	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20

ANEXO No.4: Formato utilizado para el registro de pesos (gramos) de hojarasca en campo de la red de estudio.

<b>CODIGO DEL CACAOTAL</b>	Hojarasca	<b>A1</b>	<b>B5</b>	<b>A2</b>	<b>B4</b>	<b>A3</b>	<b>B3</b>	<b>A4</b>	<b>B2</b>	<b>A5</b>	<b>B1</b>

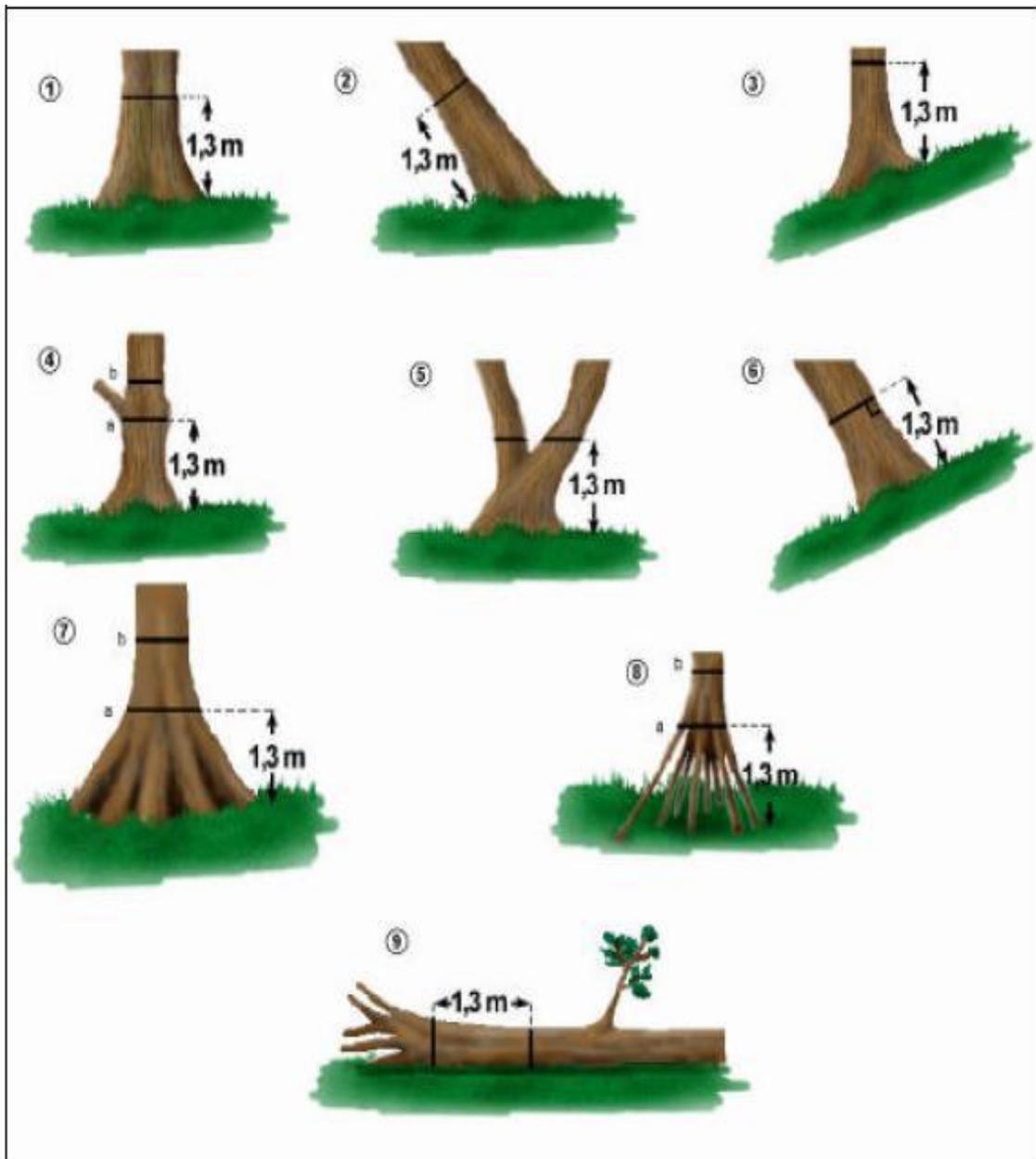
ANEXO No.5: Formato utilizado para el registro de pesos (gramos) de necromasa en campo de la red de estudio.

CODIGO DEL CACAOTAL	Necromasa	A1	B5	A2	B4	A3	B3	A4	B2	A5	B1

ANEXO No.6: Formato utilizado para el registro de pesos (gramos) de raíces finas en campo de la red de estudio.

CODIGO DEL CACAOTAL	B1-A5	B2-A4	B3-A3	B4-A2	B5-A1

Anexo No.7: Medición correcta de la circunferencia a 1.3 m de altura (DAP), de las especies arbóreas leñosas en los sistemas agroforestales.



Fuente: Schlegel *et al.* 2001

En las situaciones 4, 7 y 8 la posición (b) es considerada correcta para medir la circunferencia a 1.3 m (DAP).

Anexo No.8: Formato utilizado para el registro en campo, de la circunferencia y altura de los arboles de cacao (0.3 m) y leñosos (DAP) en las parcelas de estudio.

<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>A1</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq 2.5$ m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	
<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>A2</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq 2.5$ m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	

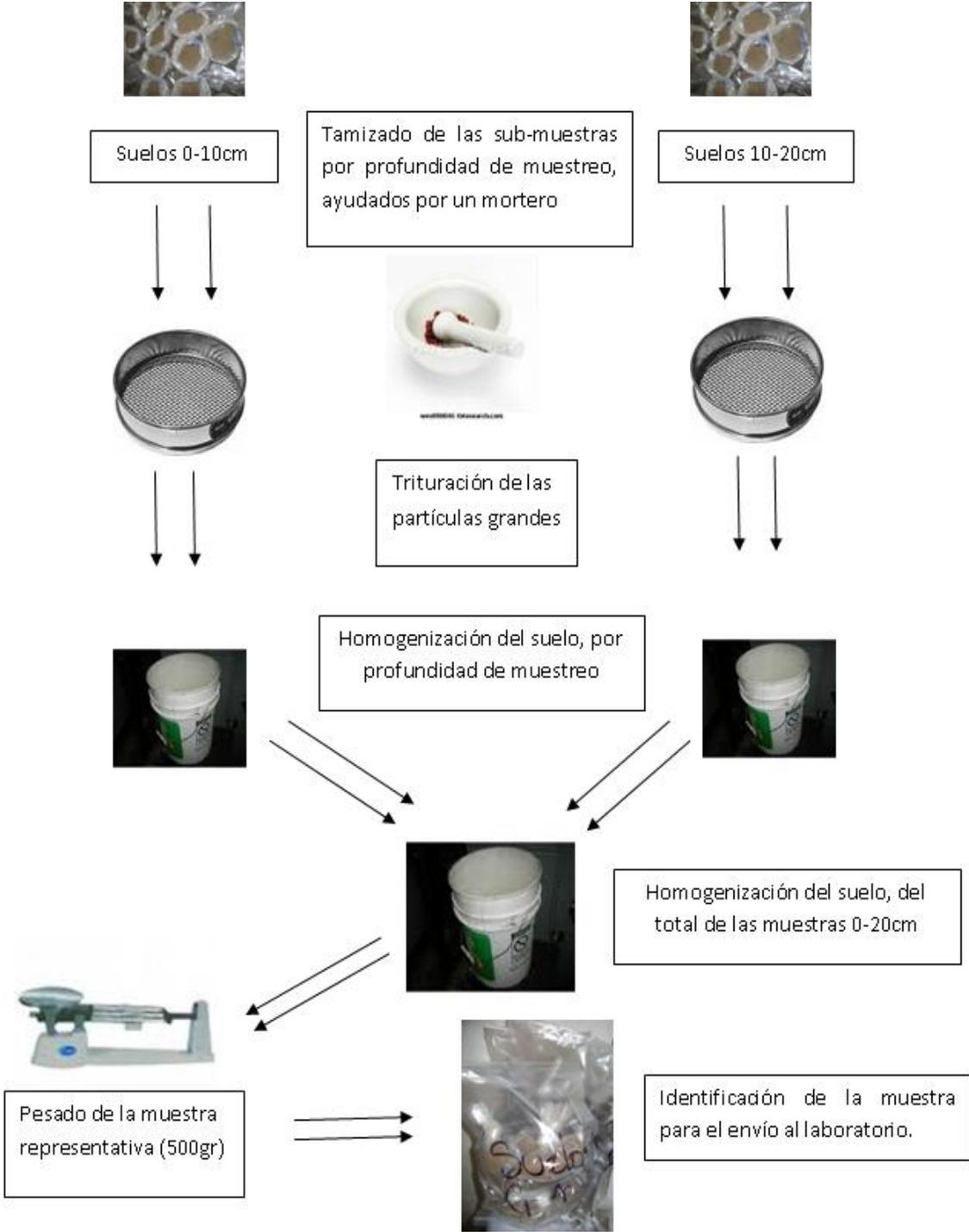
<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>A3</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq$ 2.5 m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	
<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>A4</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq$ 2.5 m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	

<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>A5</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq 2.5$ m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	
<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>B1</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq 2.5$ m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	

<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>B2</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq$ 2.5 m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	
<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>B3</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq$ 2.5 m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	

<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>B4</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq$ 2.5 m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	
<b>CÓDIGO DEL CACAOTAL :</b>		<b>COMPOSICION BOTANICA DE LA CELDA:</b>				<b>B5</b>	
<b>NOMBRE DE LA PLANTA</b> (excepto cacao) En el caso de Musáceas, solo indicar número de Banano y/o Plátano.	Si Alt. $\geq$ 3m : Circunferencia DEL TRONCO a 1.30 m (excepto cacao y musáceas)  en cm	¿ Gamba s a 1,30 m ? (si o no)	ALTUR A  en  metros	<b>ARBOL DE CACAO MAS CENTRAL</b> CIRCUMFERENCIA a 30 cm de largo DE TODOS LOS TRONCOS  en cm	<b>SOLO CACAO</b> NUMERO DE PLANTAS DE CACAO POR ALTURA		
				Tronco 1		$\leq$ 2.5 m	
				Tronco 2		]2.5, 5]	
				Tronco 3		]5, 7.5]	
				Tronco 4		> 7.5 m	
				Tronco 5		TOTAL	

ANEXO No.9: Procedimiento grafico de la metodología realizada para la obtención de la muestra representativa de suelo de las parcelas de estudio.



ANEXO No.10: Localización de los sistemas agroforestales de cacao, donde se encuentran ubicadas las parcelas de muestreo del estudio.

CODIGO DE LA PARCELA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALDEA O CASERIO	COA	PUNTO CENTRAL DE LA PARCELA DE MUESTEO	
					GPS	ALTURA (m)
G01	Suchitepéquez	Chicacao	Finca La Americana	ASECAN	N14 33.119 W91 19.281	519
G02	Suchitepéquez	Chicacao	Finca La Americana	ASECAN	N14 33.006 W91 19.255	546
G03	Suchitepéquez	Chicacao	Nanzáles	ASECAN	N14 32.934 W91 21.404	479
G04	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Rafael Bujilla, sector La Cumbre	ASECAN	N14 31.982 W91 21.547	479
G05	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Rafael Bujilla, sector La Cumbre	ASECAN	N14 31.917 W91 21.864	402
G06	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Rafael Bujilla, sector Perú	ASECAN	N14 31.506 W91 21.408	396
G07	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Rafael Bujilla, sector Perú	ASECAN	N14 31.487 W91 21.411	398
G08	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Miguel Panán, Villa Hortensia	ASECAN	N14 31.423 W91 22.112	326
G09	Suchitepéquez	San Miguel Panán	El Cementerio	ASECAN	N14 31.537 W91 22.025	329
G10	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Miguel Panán, Guadiela	ASECAN	N14 31.139 W91 21.997	324
G11	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Miguel Panán, Guadiela	ASECAN	N14 31.107 W91 22.015	319
G12	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Miguel Panán, Guadiela	ASECAN	N14 31.082 W91 22.003	326
G13	Suchitepéquez	San Miguel Panán	San Miguel Panán	USAC	N14 30.056 W91 21.965	291
G14	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	ASECAN	N14 30.349 W91 22.728	290
G15	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	APROCA	N14 30.381 W91 22.732	299
G16	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	APROCA	N14 30.496 W91 22.702	292
G17	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	ASECAN	N14 30.499 W91 22.578	298
G18	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	ASECAN	N14 30.500 W91 22.388	318
G19	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	APROCA	N14 30.621 W91 22.527	326
G20	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	APROCA	N14 30.658 W91 22.801	298
G21	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Nahualate	ASECAN	N14 32.207 W91 23.147	383
G22	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Nahualate	ASECAN	N14 32.147 W91 23.186	405

G23	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Nahualate	ASECAN	N14 32.119 W91 23.231	376
G24	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	Barrios I	APROCA	N14 31.754 W91 24.126	351
G25	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	APROCA	N14 32.241 W91 24.746	410
G26	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	ASECAN	N14 32.644 W91 24.928	454
G27	Suchitepéquez	San Antonio Suchitepéquez	La Circunvalación	ASECAN	N14 32.841 W91 25.819	478
G28	Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	APROCA	N14 33.237 W91 38.817	308
G29	Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	APROCA	N14 33.279 W91 38.817	325
G30	Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	APROCA	N14 33.801 W91 38.468	326
G31	Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	APROCA	N14 34.864 W91 39.716	328
G32	Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	San Sebastián Retalhuleu	APROCA	N14 34.916 W91 39.779	329
G33	Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	APROCA	N14 37.867 W91 44.830	531
G34	Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	APROCA	N14 37.818 W91 44.948	487
G35	Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	APROCA	N14 37.771 W91 44.904	528
G36	Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	APROCA	N14 37.680 W91 45.067	516
GB37	Suchitepéquez	Chicacao	Chicacao	ASECAN	N14 33.040 W91 20.745	556 m
GB38	Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	APROCA	N14 39.130 W91 43.670	709 m
GB39	Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	El Asíntal Retalhuleu	APROCA	N14 39.355 W91 43.408	741 m