

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO EN CIENCIAS DE CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA**



**DETERMINACIÓN DE RESERVAS DE CARBONO EN DOS
SISTEMAS DE CULTIVO CON 44 GENOTIPOS DE CACAO (*Theobroma
cacao* L.) EN SAN MARTÍN**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

JENNY JUDITH HUAMÁN HUAMANÍ

PROMOCIÓN 2008 - II

Tingo María - Perú

2011

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El ciclo del carbono	3
2.1.1. Ciclo biológico.....	4
2.1.2. Ciclo biogeoquímico.....	5
2.2. Cambio climático	6
2.3. Mecanismo para reducir los GEI (mercados de carbono)	8
2.3.1. Protocolo de Kyoto.....	8
2.3.1.1. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).....	9
2.3.1.2. Certificado de Emisiones (CE).....	9
2.3.1.3. Implementación Conjunta (IC)	9
2.4. Ley N° 27308 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre, DS N° 014- 2001-AG.....	10
2.5. La agricultura en el Perú	11
2.5.1. Agricultura tradicional o migratoria	12
2.5.1.1. Efecto de la quema en el suelo	12

2.5.2.	Los bosques y los sistemas agroforestales	13
2.5.2.1.	Situación de los recursos forestales en América Latina y el Caribe	13
2.5.2.2.	Sistemas agroforestales	16
2.5.2.3.	Ventajas de manejo de sistemas agroforestales	17
2.6.	El papel de los suelos en el ciclo de carbono	21
2.6.1.	Dinámica del carbono orgánico en los suelos	23
2.6.2.	Carbono orgánico total del suelo.....	25
2.6.3.	Carbono orgánico y propiedades químicas del suelo	26
2.6.3.1.	Efecto sobre la reacción del suelo	26
2.6.3.2.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	28
2.6.4.	Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo	29
2.6.4.1.	Agregación del suelo	29
2.6.4.2.	Porosidad y retención de agua en el suelo	29
2.6.4.3.	Compactación y carbono orgánico del suelo	30
2.6.4.4.	Infiltración de agua en el suelo	31
2.6.5.	Carbono orgánico y propiedades biológicas del suelo	31

2.7.	El cultivo de cacao en el Perú	32
2.7.1.	Clasificación botánica del cacao	32
2.7.2.	Condiciones climáticas adecuadas para la producción de cacao	34
2.7.2.1.	Temperatura.....	34
2.7.2.2.	Precipitaciones	34
2.7.2.3.	Radiación solar	35
2.7.2.4.	Corrientes de viento	35
2.7.2.5.	Altitud	35
2.7.3.	Condiciones de suelos adecuados para cacao	36
2.7.3.1.	Drenaje	36
2.7.3.2.	pH del suelo	36
2.7.3.3.	Materia orgánica.....	37
2.7.3.4.	Topografía.....	37
2.8.	Antecedentes del campo experimental.....	37
2.8.1.	Sistema agroforestal con manejo de bosque (BMS)	38
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	40

3.1.	Ubicación del experimento	40
3.1.1.	Ubicación política.....	40
3.1.2.	Ubicación geográfica	40
3.2.	Generalidades del lugar	40
3.2.1.	Sistema agroforestal con manejo de bosque (BMS)	40
3.2.2.	Sistema agroforestal con manejo tradicional (TMS).....	41
3.2.3.	Características edáficas.....	43
3.2.4.	Características climáticas	44
3.2.4.1.	Registro meteorológico.....	44
3.3.	Materiales y equipos	45
3.4.	Componente en estudio	45
3.4.1.	Composición florística.....	45
3.4.2.	Biomasa y carbono sobre el suelo	45
3.4.3.	Biomasa y carbono orgánico del suelo.....	45
3.5.	Identificación e inventario de especies forestales	46
3.6.	Biomasa y carbono sobre el suelo.....	46
3.6.1.	Biomasa y carbono arbóreo	46

3.6.1.1. Biomasa y carbono en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	47
3.6.1.2. Biomasa y carbono en árboles vivos, árboles muertos en pie y árboles muertos caídos	48
3.6.1.3. Biomasa y carbono arbustivo y herbáceo	50
3.6.1.4. Biomasa y carbono en hojarascas.....	52
3.7. Biomasa y carbono orgánico del suelo	53
3.7.1. Medición de la densidad aparente del suelo	53
3.7.2. Muestreo de suelos y análisis físico-químico	55
3.7.3. Fórmulas finales para carbono.....	56
3.8. Análisis estadístico.....	57
IV. RESULTADOS	59
4.1. Inventario de especies forestales espontáneas e introducidas, en los sistemas BMS y TMS.....	59
4.1.1. Inventario de especies espontáneas y especies introducidas en el sistema de manejo en bosque (BMS).....	59
4.1.2. Inventario de especies introducidas en el sistema de manejo tradicional (TMS).....	62
4.2. Biomasa y carbono sobre el suelo.....	63

4.2.1. Biomasa y carbono en especies forestales (espontáneas e introducidas).....	63
4.2.2. Biomasa y carbono en cacao.....	64
4.2.3. Biomasa y carbono en árboles muertos en pie y árboles muertos caídos	68
4.2.4. Biomasa y carbono en herbácea/arbustiva y hojarasca	69
4.2.5. Biomasa y carbono total sobre el suelo.....	70
4.3. Biomasa y carbono orgánico del suelo	72
4.4. Relación de las reservas de carbono total sobre el suelo y carbono orgánico del suelo	75
V. DISCUSIÓN	77
5.1. Inventario de especies forestales espontáneas e introducidas, en los sistemas BMS y TMS.....	77
5.2. Carbono sobre el suelo (biomasa vegetal vivo y muerto, herbácea y hojarasca) en dos sistemas de cultivo.....	78
5.3. Carbono orgánico del suelo (COS) en dos sistemas de cultivo	82
5.4. Relación de las reservas de carbono sobre el suelo y carbono orgánico del suelo	83
VI. CONCLUSIONES.....	85

VII. RECOMENDACIONES.....	87
VIII. ABSTRACT	88
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Área de bosque de América Latina y el Caribe, 1990-2010.....	14
2. Carbono total almacenado por componente en diferentes SUT.....	18
3. Carbono capturado en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales	19
4. Carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea de los sistemas con cacao en Mariscal Cáceres – San Martín.....	21
5. Carbono orgánico en los suelos del mundo (Modificado por ESWARAN <i>et al.</i> , 1993).	26
6. Datos meteorológicos registrados en la estación meteorológica de la E.E Juan Bernito (2010).....	44
7. Inventario forestal de especies espontáneas e introducidas del sistema agroforestal BMS. Especies más representativas por su abundancia.....	61
8. Inventario de especies introducidas en el sistema de manejo tradicional (TMS).....	62
9. Biomasa y carbono en especies forestales de los sistemas BMS y TMS (espontáneas e introducidas).....	63

10. Análisis de varianza de las reservas de carbono en el cultivo principal cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	64
11. Biomasa y carbono en el cultivo principal cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en dos sistemas de cultivo BMS y TMS (n = 132; promedio \pm error estándar).....	65
12. Agrupamiento de 44 genotipos de cacao ubicados en tres grupos mediante el análisis de conglomerados para biomasa y carbono.....	66
13. Biomasa y carbono en tres grupos de los sistemas de cultivo (BMS y TMS) para cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) (promedio \pm error estándar)	68
14. Biomasa y carbono en árboles muertos en pie y árboles muertos caídos dentro de los sistemas BMS y TMS.....	69
15. Biomasa y carbono en herbácea/arbustiva y hojarascas de dos sistemas de cultivo BMS y TMS (n=3; promedio \pm error estándar).....	70
16. Biomasa y carbono almacenado sobre el suelo de dos sistemas de manejo con cacao.	71
17. Materia orgánica, densidad aparente y carbono orgánico del suelo (COS) a tres profundidades (Media \pm error estándar).	73
18. Carbono total en el suelo y carbono orgánico del suelo en dos sistemas.....	75

19. Riqueza de especie espontáneas totales encontradas en inventario forestal.	103
20. Biomasa y carbono en especies forestales (espontáneas e introducidas) conformadas en sus respectivos bloques.	107
21. Comparativo de biomasa y carbono para cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). Tres bloques de cada sistemas (BMS y TMS) (n=88; promedio \pm error estándar)	107
22. Reservas de biomasa y carbono en árboles muertos en pie, conformado en sus respectivos bloques, y el total en los sistemas BMS y TMS	108
23. Biomasa y carbono en árboles muertos caídos, conformado en sus respectivos bloques de los Sistemas BMS y TMS.	109
24. Comparativo de biomasa y carbono en herbáceas de tres bloques de los sistemas BMS y TMS (n = 2; promedio \pm error estándar).	109
25. Biomasa y carbono en hojarasca en tres bloques de los sistemas BMS y TMS (n=2; promedio \pm error estándar).	109
26. Análisis físico – químico de suelos en los dos sistemas BMS y TMS.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Ciclo del carbono.....	4
2. Reserva de carbono en la biomasa forestal en América Latina y el Caribe. 1990-2010 (Gt).....	15
3. Croquis general de la Estación Experimental El Choclino.	38
4. Croquis del Sistema Agroforestal de Manejo en Bosque (BMS).	41
5. Croquis del Sistema Agroforestal con Manejo Tradicional (TMS).....	42
6. Evaluación del diámetro de árboles de cacao en el campo.	48
7. Croquis de la subparcela correspondiente a cada genotipo de cacao.	48
8. Medición correcta de diámetro.	50
9. Cuadrantes para determinar biomasa arbustiva y herbácea.....	51
10. Cuadrantes para determinar biomasa herbácea.....	52
11. Muestreo de volumen del suelo.....	54
12. Muestreo de suelos para determinar nutrientes y carbono almacenado.....	56
13. Biomasa y carbono determinado en especies forestales.	63

14. Dendograma de agrupamiento mediante análisis de multivariado para biomasa y carbono en 44 genotipos de cacao en BMS y TMS.	67
15. Biomasa y carbono total sobre el suelo en dos sistemas con cacao.	71
16. Materia orgánica del suelo (%) evaluada a tres profundidades (a); densidad aparente (g/cm ³) en tres profundidades (b); Carbono orgánico del suelo (t.ha ⁻¹) en tres profundidades (c); boxplot del carbono orgánico del suelo (t.ha ⁻¹) en dos sistemas de cultivo (d).....	74
17. Carbono total en dos sistemas de manejo con cacao.....	76
18. Distribución de especies espontáneas. BMS-Bloque I.....	104
19. Distribución de especies espontáneas. BMS-Bloque II.....	105
20. Distribución de especies espontáneas. BMS-Bloque III.....	106
21. Predicciones de biomasa y carbono.....	108
22. Midiendo el DAP (cm) de una especie introducida.	116
23. Midiendo la altura de la especie <i>Inga edulis</i> Mart.	116
24. Midiendo la altura de la especie <i>Theobroma cacao</i> L.....	117
25. Midiendo el DAP del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	117

RESUMEN

Con el propósito de determinar la reserva de carbono sobre el suelo, en el suelo y la composición florística; se realizó una investigación en dos sistemas de cultivo (agroforestal con manejo de bosque BMS y manejo tradicional TMS) enriquecidos con 44 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Banda de Schilcayo-San Martín, Perú. Las variables evaluadas fueron: biomasa y carbono sobre el suelo, carbono orgánico del suelo, carbono total e inventario de especies arbóreas. Para el componente cacao se utilizó un diseño de bloques completamente al azar en parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela experimental corresponde al sistema y la subparcela, los genotipos; y la estimación de biomasa fue a base de una ecuación alométrica (LARREA, 2007). Para los demás componentes se utilizó la metodología en base al manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú (AREVALO *et al.* 2003) y para las comparaciones se utilizó la prueba t para la inferencia basadas en dos muestras.

En el sistema BMS con cacao, la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea fue de 67.59 t.ha⁻¹ (42.34%) y en el suelo de 92.05 t.ha⁻¹ (57.66%), alcanzado en total 160 t.ha⁻¹ y en el sistema TMS con cacao, la cantidad de carbono almacenada en la parte aérea fue de 28.44 t.ha⁻¹ (23.66%) y en el suelo de 91.75 t.ha⁻¹ (76.34%), determinando un total de 120 t.ha⁻¹.

Por lo que, las reservas de carbono almacenado en sistemas menos perturbados (bosques raleado) son mayores al de los sistemas con mayor perturbación (rozo, tumba, quema). Además, la producción de carbono está en función de la edad de los sistemas (LARREA, 2007), a la densidad y tipo de asociación entre las especies agrícolas y forestales.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es una preocupación mundial y se considera como uno de los seis principales gases que intervienen en el efecto invernadero (además del vapor de agua, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y clorofluorocarbonados), que están contribuyendo a la destrucción de la atmósfera produciendo el cambio climático (IPCC, 2000). Las plantas, son considerados reservas naturales de carbono, y es así como los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos) almacenan carbono en forma de biomasa aérea, el cual varía según sus características biométricas, edad, densidad, comunidad vegetal, etc. (ALEGRE *et al.*, 2002).

A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos de reducción de emisiones por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad: Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través del cual se podría incentivar la agroforestería y reforestación con fines de captura de carbono (CONAM, 2001), las mismas que podrían beneficiar ambientalmente, acortando la presión al bosque, regulando el clima, mejorando la calidad de suelos y agua, brindando belleza paisajística y biodiversidad.

En nuestro país, el cambio de uso de la tierra y las actividades forestales son fuentes de emisiones de CO₂ a la atmósfera. En la selva peruana

se deforesta media hectárea por minuto (0.5 ha/minuto) que equivalen aproximadamente a 260,000 ha/año (INRENA, 2001). Sin embargo, con un manejo adecuado, podemos cambiar la dirección de flujos de carbono entre el suelo y la atmósfera.

El Perú cuenta con pocos estudios de cuantificación de reservas de carbono en los sistemas agrícolas y agroforestales, generando interrogantes de ¿Cuánto de carbono se almacenará en dos sistemas de cultivo enriquecido con 44 genotipos de cacao?, que también sirve de línea base, para posteriores evaluaciones por parte del Instituto de Cultivos Tropicales. De manera que como institución, incentiven a los agricultores de la región, a participar en proyectos de MDL, y recibir ingresos económicos adicionales a corto y mediano plazo, por la venta de créditos generados por la captura y conservación de carbono en sus respectivos predios, frente a esto se plantearon como objetivos:

- Inventariar las especies forestales espontáneas e introducidas en una purma secundaria de 25 años (BMS) y un sistema tradicional (TMS).
- Determinar reservas de carbono sobre el suelo en 2 sistemas de cultivo de 44 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Martín.
- Determinar reservas de carbono orgánico del suelo en 2 sistemas de cultivo de 44 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Martín.
- Determinar la relación existente entre las reservas de carbono total sobre el suelo y carbono orgánico del suelo en dos sistemas de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Martín.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

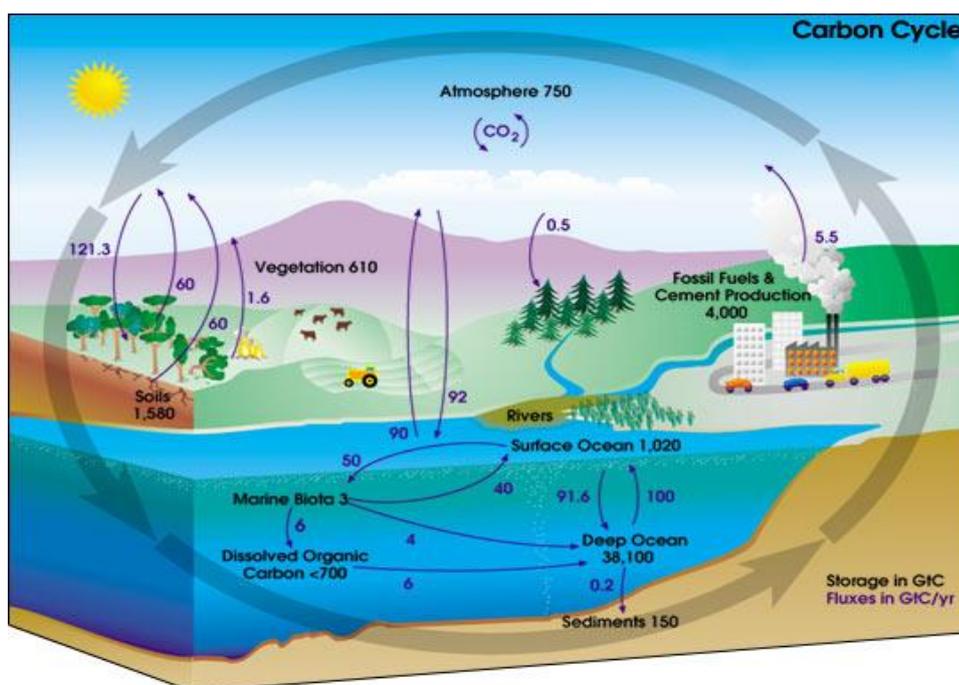
2.1. El ciclo del carbono

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y subsuelo. Estos son considerados depósitos de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del carbono. Mientras tanto, todos los cambios que ocurren en este reservorio tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono (Figura 1) y del clima. Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono (CO_2). En menor proporción, el carbono atmosférico se presenta en la forma de metano (CH_4), perfluorocarbonos (PFCs) e hidrofluorocarbonos (HFC). Todos estos son considerados GEI, que contribuyen con el equilibrio térmico de la Tierra.

Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que influencia directamente en la dinámica del clima de la Tierra.

El ciclo del carbono es la sucesión de transformaciones que sufre el carbono en el tiempo. Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida. Este comprende dos ciclos que se suceden a distintas velocidades:



Fuente: www.es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_carbono (2006).

Figura 1. Ciclo del carbono.

2.1.1. Ciclo biológico

El intercambio de carbono (CO_2) entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causada por la acción humana. Por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO_2 de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares

como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca) un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos).

2.1.2. Ciclo biogeoquímico

Regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litósfera (océanos y suelo). El carbono presente en el suelo está ampliamente relacionado al proceso de descomposición de la biomasa por las actividades bacterianas. Parte del carbono presente en el suelo regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización del carbono orgánico. De forma natural, otra parte del carbono orgánico es llevado por los ríos hasta llegar a los océanos, donde se deposita en forma de carbonatos (CO_3). Este proceso también puede ser acentuado por la acción humana. El cambio de carbono entre el reservorio oceánico y el atmosférico es por procesos químicos que establecen un equilibrio entre las capas superficiales de los océanos y las concentraciones en el aire sobre la superficie. La cantidad de CO_2 que el océano absorbe depende de la temperatura del mismo y de la concentración ya presente, de tal manera que temperaturas más altas del agua pueden causar la emisión de CO_2 (ICRAF, 2009).

Los iones disueltos en agua alcanzan el mar, son asimilados por los animales para formar sus tejidos, y tras su muerte se depositan en los sedimentos. El retorno a la atmósfera se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de las rocas que lo contienen. Este último ciclo es de larga duración, al verse implicados los mecanismos geológicos. Además, hay ocasiones en las que la materia orgánica queda sepultada sin contacto con el oxígeno que la descomponga, se da así la fermentación que lo transforma en carbón, petróleo y gas natural.

La explotación de combustibles fósiles para sustentar las actividades industriales y de transporte (junto con la deforestación) es hoy día una de las mayores agresiones que sufre el planeta, con las consecuencias conocidas por todos: cambio climático, generado por el efecto invernadero, la desertización, etc. Esta problemática ha sido tocada en el convenio sobre cambio climático aprobado en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y suscrito en la Cumbre de Río el 11 de junio de 1992. El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kyoto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Después de muchas discusiones para su ratificación, el Protocolo de Kyoto entró en vigencia el 16 de febrero de 2005.

2.2. Cambio climático

LOGUERCIO (2005) afirma que el cambio de temperatura ha provocado cambios en los procesos físico-meteorológicos y medioambientales,

responsables de que ocurran inundaciones y sequías en algunas regiones. Una realidad que se observó, con la disminución de las precipitaciones en los meses de verano (en San Martín) llegando hasta 3.4, 34.8 y 8.4 mm en los meses de julio, agosto y setiembre respectivamente, cifras que se van acercando a 0 (cero) es por ello que observamos sequías y por ende muerte de cultivos, especialmente el cacao (ICT, 2010).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en función a la información primaria recabada, han modelado algunos escenarios para el 2100, incrementos de 1 a 3.5 °C en la temperatura media, incrementos de 0.15 a 0.95 m el nivel medio del mar, de 7 a 11% en las tasas de precipitación-evaporación, desplazamientos de los casquetes polares, entre 150 y 550 km. Además de innumerables consecuencias biofísicas y socioeconómicas

Los ecosistemas extremarían sus condiciones ambientales con consecuencias de migración, suplantación, padecimiento y extinción de especies; epidemias y pandemias, agrícolas y humanas; erosión, sequía y desertificación de suelos; variaciones en los patrones, producción y productividad (IPCC, 2000).

Un calentamiento en las zonas de suelos helados "permafrost", liberaría grandes cantidades de CH₄ que aumentarían el calentamiento global los ecosistemas serán particularmente vulnerables con un aumento de 2 °C del

15% al 40% de las especies se verán potencialmente frente a la extinción (LARREA, 2007).

2.3. Mecanismo para reducir los GEI (mercados de carbono)

2.3.1. Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto (PK) es un tratado internacional en vigor desde 2005 que busca la reducción de la emisión de los gases que provocan el efecto invernadero (GEI). El Protocolo determina que países desarrollados deben reducir por lo menos 5.2% de sus emisiones de GEI en relación a los niveles de 1990, en el periodo entre 2008 y 2012 (primer periodo de compromisos). Cada país signatario define sus metas individuales de reducción. Países en desarrollo como Brasil o Perú no pertenecen a este Protocolo, y por lo tanto, no tienen la obligación de reducir emisiones de GEI.

Tres mecanismos de flexibilización auxilian a los países que conforman el Protocolo: Implementación Conjunta (IC), Comercio de Emisiones (CE) y Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). De estos tres mecanismos, solamente el MDL tiene aplicación en países en desarrollo. Tal mecanismo permite que países que conforman en PK puedan financiar o desarrollar proyectos de reducción de GEI fuera de su territorio. Las reducciones de emisiones resultantes de la actividad del proyecto son contabilizadas en la forma de Certificados de Reducción de Emisiones (CREs) y negociadas en mercados internacionales. Para esto, las reducciones de emisiones deben ser adicionales a las que ocurrirían en la ausencia de la actividad certificada del

proyecto, y traer beneficios reales, medibles y de largo plazo, relacionados con la mitigación del cambio del clima (ICRAF, 2009).

2.3.1.1. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El Mecanismo de Desarrollo Limpio fue creado bajo el PK con el objetivo de ofrecer a los países conformantes (desarrollados) flexibilidad (Implementación Conjunta y Comercio de Emisiones) para cumplir sus metas de reducción de emisiones de manera efectiva y a los países (no desarrollados) una forma de participar y promover su desarrollo sostenible.

El MDL es el único mecanismo que permite que las reducciones/remociones de GEI logradas en proyectos realizados en países conformantes del PK, un permiso para emitir una cantidad de CO₂ igual a la cantidad adquirida. El MDL también tiene como objetivo contribuir con el desarrollo sostenible del país donde se realiza el proyecto (CATIE, 2008).

2.3.1.2. Certificado 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 periodo de cumplimiento dado (CASTRO *et al.*, 2002).

2.3.1.3. Implementación Conjunta (IC)

Como su nombre lo indica, este mecanismo permite la reducción de emisiones de carbono de manera conjunta entre los países que conforman

el PK. En este caso, se acreditan unidades de reducción de emisiones a favor del o los países que financian proyectos de mitigación de cambio climático (UNFCCC, 2005).

2.4. Ley N° 27308 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre, DS N° 014-2001-AG

Según la legislación forestal del Perú se reconoce los servicios ambientales del bosque, la implementación de esquemas de indemnización, los medios de asignación de recursos y la promoción de la gestión de estos servicios.

Con respecto a dichos servicios la Ley N° 27308 en su Art. 2.3 define y enuncia los servicios ambientales del bosque:

- Absorción de dióxido de carbono.
- Regulación del agua.
- Conservación de la diversidad biológica.
- Protección del suelo.
- Belleza escénica.

El Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) es una institución de derecho privado, sin fines de lucro y de interés público y social, creada por el congreso de la República del Perú, mediante Ley N° 26793 del año 1997, destinada a promover la inversión pública y privada en el desarrollo de planes,

programas, proyectos y actividades orientadas al mejoramiento de la calidad ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales y el fortalecimiento de las capacidades para una adecuada gestión ambiental.

FONAM es reconocido por el PCF (Fondo Prototipo de Carbono del Banco Mundial) como el Punto Focal de sus actividades en el Perú, en lo referente a la identificación, calificación y manejo de proyectos que puedan ser presentados ante el MDL para la obtención de Certificados de Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero (CER's) (LARREA, 2007).

2.5. La agricultura en el Perú

Las emisiones provenientes del cambio de uso de suelo, donde se incluye la deforestación, aun representan una proporción significativa del total mundial. En países de Brasil, Colombia, Perú, entre otros, el crecimiento de la ganadería coincide con la disminución de la superficie boscosa (CEPAL, 2010). Entre 2000 y 2004 los incendios forestales provocaron una merma de aproximadamente 3.3 millones de hectáreas de superficie boscosa, sobre todo en ecosistemas de bosques tropicales secos y semisecos. La quema con fines de fertilización sigue siendo una de sus causas principales (PNUMA, 2009 citado por FAO, 2010).

Las consecuencias de la deforestación, que incluye entre otros la pérdida de la biodiversidad, la desestabilización de los suelos, el deterioro del ciclo hidrológico y la merma del efecto de sumidero de CO₂ son casi irreversibles (FAO, 2010).

2.5.1. Agricultura tradicional o migratoria

2.5.1.1. Efecto de la quema en el suelo

La quema ha sido usada históricamente como herramienta de trabajo agrícola, como preparación de terreno o para el manejo de residuos de cosecha (SUAREZ, 1956; SAIGAL, 1990 citados por RAMIREZ *et al.* (2005).

El rozo y la quema (RQ) ha sido reportado como una de las formas más significativas de pérdidas de biomasa vegetal (NYE y GREENLAND, 1960; EWEL *et al.*, 1981; KAUFFMAN *et al.*, 1995). Sin embargo el rozo selectivo raleando el bosque a fin de aprovechar la sombra natural existente requerido por el cultivo principal, es una forma de agroforestería protegiendo el suelo y el medio ambiente (BEER *et al.*, 1998; citados por ICT, 2006).

Según CAVELIER *et al.* (1999) y MARTINEZ (2001) la quema incrementa el fósforo extraíble. Si el suelo tuviera poca humedad, la temperatura puede mantenerse alta en el tiempo suficiente para que se prenda la materia orgánica o para que se altere la estructura de las arcillas del suelo. Las quemas de baja intensidad aceleran el proceso de devolver nutrientes al suelo, para que sea aprovechable por las plantas. También incrementa la fijación de nitrógeno en el suelo, el nivel de fósforo disponible aumenta en los suelos arenosos (WADE, 1990).

Resultados contrario obtuvo RAMIREZ *et al.* (2005) al estudiar el efecto de la quema controlada en la propiedades físicas de un andisol en Santa

Elena a 2500 msnm donde se usaron tres lotes; 02 lotes en los que se aplicó fuego por 20 min y 01 lote con fuego de 15 min. Concluyendo que las quemaduras efectuadas en Santa Elena no produjeron deterioro en las propiedades físicas (estabilidad estructural, densidad aparente y real, coeficiente de expansión lineal y porcentaje de materia orgánica) del suelo, se notó un aumento en el porcentaje de materia orgánica inmediatamente después de la quema, el cual disminuyó con el tiempo. También se encontró disminución de la macrofauna de aquellos suelos.

2.5.2. Los bosques y los sistemas agroforestales

La agroforestería es un modo de agricultura moderna que exige un equilibrio con la naturaleza y la industria, lo cual obliga a pensar en nuevas alternativas y oportunidades, sumado al reto de buscar sistemas integrados y sostenibles que generen una mayor productividad, basado en utilizar los propios recursos y que, sin provocar la transformación de los ecosistemas por medio de quemaduras, permitan satisfacer las necesidades de una población en aumento. Conservando el medio ambiente, mediante el manejo racional de los recursos naturales, buscando la sostenibilidad de cada sistema en el mediano y largo plazo (RAMIREZ *et al.*, 2005).

2.5.2.1. Situación de los recursos forestales en América Latina y el Caribe

En 2010 casi el 49% de su superficie total estaba cubierta por bosques. Con una estimación de 891 millones de ha, representa el 22% del

área de bosque existente en el mundo. Brasil es uno de los cinco países con mayor riqueza forestal del mundo, con 13% del área mundial del bosque, y el país con mayor extensión de bosque tropical. Los cinco países con mayor área de bosque de la región (Brasil, Perú, Colombia, Bolivia y Venezuela) representan el 84% del área total de bosque de la región.

El área de bosque siguió reduciéndose en América Central y América del Sur, y la principal causa de deforestación fue la conversión de tierras forestales a la agricultura y la urbanización. La mayor reducción del área de bosque fue en América del Sur, aunque las pérdidas se han ralentizado y en términos porcentuales han permanecido estables desde 1990 (Cuadro 1). Chile, Costa Rica y Uruguay figuraban entre los países que aumentaron sus áreas de bosque. En América del Sur se produjo una disminución, causado principalmente por la conversión de tierras forestales a usos agrícolas, de más de medio millón de hectáreas por año entre 1990 y 2010. (FAO, 2011).

Cuadro 1. Área de bosque de América Latina y el Caribe, 1990-2010.

Subregión	Área (1 000 ha)			Cambio anual (1 000 ha)		Tasa de cambio anual (%)	
	1990	2000	2010	1990-2000	2000-2010	1990-2000	2000-2010
América Central	25 717	21 980	19 499	-374	-248	-1,56	-1,19
América del Sur	946 454	904 322	864 351	-4 213	-3 997	-0,45	-0,45
Caribe	5 901	6 433	6 932	53	50	0,87	0,75
Total de América Latina y el Caribe	978 072	932 735	890 782	-4 534	-4 195	-0,47	-0,46
Mundo	4 168 399	4 085 063	4 032 905	-8 334	-5 216	-0,20	-0,13

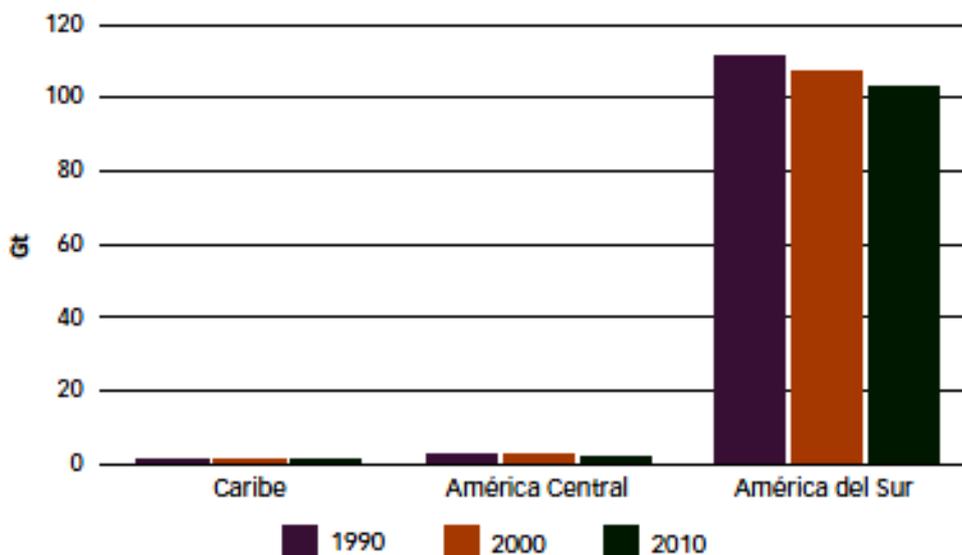


Figura 2. Reserva de carbono en la biomasa forestal en América Latina y el Caribe. 1990-2010 (Gt).

Los ecosistemas boscosos proveen de cuatro servicios ambientales: i) disminución de las emisiones de GEI; ii) servicios hidrológicos, incluyendo provisión de agua para consumo humano, riego y producción de energía; iii) conservación de la biodiversidad; y iv) provisión de belleza escénica para recreación y ecoturismo. (SOMARRIBA *et al.*, 2008).

Las especies Lagarto caspi, Yacushapana, Oje, Indano, etc., y especies selectivas de valor comercial como la caoba, cedro, tornillo, cumala al ser propias de la Amazonía peruana, no requieren de cuidados intensivos pero a la vez se encuentran perturbados por la extracción tradicional (INRENA, 1996). Y debido a los procesos migratorios, facilitada por la red vial terrestre de penetración a la ciudad de Tarapoto y a la provincia de Rodríguez de Mendoza, el área boscosa ha sufrido fuertes impactos de intervención. La interpretación de imágenes satelitales en setiembre del 2003, estimaba 1'123.880 ha

deforestadas que viene a ser el 28.6% de la superficie de la región (INRENA, 2003).

Así mismo (INADE, 2002) en inventarios forestales realizados anteriormente en la zona de San Martín, encontraron las especies tornillo, moena amarilla, pino chuncho, huayruro, topa, bolaina, entre otros. Los cuales al momento de aprovechar se convertirán en muebles y el carbono presente en la madera se almacenará por mucho más tiempo (REYNEL *et al.*, 2003); por otro lado las especies forestales maderables generan ingresos económicos para el productor por la venta de madera (LOPEZ *et al.*, 2002).

2.5.2.2. Sistemas agroforestales

Es la combinación de un cultivo con especies forestales, permite diversificar la parcela, y aumentar la materia orgánica y por ende el carbono en el suelo, así mismo regular el ambiente (ICT, 2010). Es empurmar conscientemente y sembrar especies que dan ingresos a mediano y largo plazo (CEDISA, 2003).

La agroforestería como una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales: 1) existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne (árboles, arbustos y bambúes), y 3) al menos uno de sus componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo los pastos) (SOMARRIBA *et al.*, 2008).

2.5.2.3. Ventajas de manejo de sistemas agroforestales

El uso de sistemas agroforestales generan las siguientes ventajas:

- Mejor utilización del espacio vertical y mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales del sistema.
- Microclima más moderado (atenuación de temperaturas extremas, sombra, menor evapotranspiración y viento).
- Mayor protección contra erosión por viento y agua (menos impacto erosivo de las gotas de lluvia y escorrentía superficial).
- Mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles.
- Mantener la estructura y fertilidad del suelo; aportes de materia orgánica, mayor actividad biológica, reducción de acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (principalmente en zonas secas).
- Ayuda a recuperar suelos degradados.
- Obtener productos adicionales: madera, frutos, leña, hojarasca, forraje, etc.
- Se puede tener mayor producción y calidad de las cosechas en ambientes marginales
- Provee hábitat para mayor biodiversidad.
- Reducir la diseminación y daño por plagas y enfermedades.
- Reducir externalidades ecológicas (contaminación de suelos y de acuíferos).

Para mejores resultados se recomienda el uso de especies nativas o adaptadas a las condiciones de clima y suelo de cada localidad (ICT, 2010).

YQUISE (2008) concluyó que el carbono almacenado en bosques primarios es mayor que en los sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y bosques secundarios. La producción de carbono está en función de la edad de los SUT y el tipo de asociación con especies forestales maderables o frutales (Cuadro 2). Los pastos tienen cantidades limitadas de carbono en la parte aérea, pero aportan mayores cantidades de carbono en el suelo, y al incrementar el componente arbóreo también almacena grandes cantidades de carbono.

Cuadro 2. Carbono total almacenado por componente en diferentes SUT.

Sector	Sistema de Uso de la Tierra (SUT)	Componente				Total (t.C/ha)
		Arbóreo	Herbáceo/ Arbustivo	Hojarasca	Suelo	
Los Milagros	Agroforestal					
	SSP <i>Paspalum conjugatum</i> Berg. con especies forestales (10 años)	54,28	7,02	0,00	116,78	178,07
	SAF <i>Theobroma cacao</i> L. con especies forestales (25 años)	111,66	0,64	4,43	99,59	216,31
	Forestal					
	B. Secundario (6 años)	22,17	0,62	3,33	100,14	126,26
	B. Secundario (12 años)	153,63	1,98	4,58	112,89	273,09
	B. Primario	162,35	1,29	6,07	108,05	277,75
Aucayacu	Agroforestal					
	SAF <i>Theobroma cacao</i> L. con <i>Inga edulis</i> L. (6 años)	45,91	0,18	1,12	49,35	96,56
	SSP <i>Paspalum conjugatum</i> Berg. con especies forestales (10 años)	120,72	0,54	0,00	101,16	222,42
	Forestal					
	B. Secundario (12 años)	133,36	0,52	5,01	93,75	232,63
	B. Primario	197,86	0,90	3,78	131,89	334,43

Fuente: YQUISE (2008).

El carbono del suelo en pasturas es estimado en 70 t.ha^{-1} , cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos agroforestales y forestales; por lo que muchas áreas de tierras de pastoreo en las zonas tropicales y áridas, ofrecen variadas posibilidades de secuestro de carbono (TRUMBMORE *et al.*, 1995; BALESIDENT *et al.*, 2000). Por lo que, SALGADO (2004), FONAM (2005), manifiesta que la capacidad de captura y almacenamiento de carbono depende de las especies empleadas, densidad de los plantación, manejo silvicultural, condiciones ecológicas, calidad de sitio y posibles fugas.

El ICT (2009), concluyó que el sistema de manejo en Bosques (BMS), presenta mayor reservas de carbono, comparado al sistema (TMS) con (55.95 t.ha^{-1} y 27.41 t.ha^{-1} respectivamente) (Cuadro 3). Así mismo la mayor acumulación de carbono se presenta en el estrato biomasa de árboles vivos (BAV) siendo el componente biomasa arbustiva/herbácea el que presenta menor aporte (0.41 t.ha^{-1} para BMS y 0.42 t.ha^{-1} para TMS).

Cuadro 3. Carbono capturado en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales.

Aporte	Sistema de cultivo	Componente					Total (t.ha^{-1})	
		Arboles vivos	Árboles Cacao muertos en pie	Árboles muertos caídos	Herbáceo/ Arbustivo	Hojarasca		
Carbono	BMS	39.61	3.01	2.66	8.69	0.41	1.58	55.95
	TMS	20.66	4.87	0	0	0.42	1.45	27.41

Fuente: ICT (2009).

NORBERTO (2006) menciona que para proyectos de corta duración, se debe evaluar cuál es el valor de fijar una t.CO₂ por un tiempo limitado y emitirlo nuevamente a la atmósfera. Sin embargo el valor de esta fijación temporal está justificado por los siguientes argumentos:

- La fijación de carbono en un bosque por un período limitado de tiempo, permite prorrogar los daños que causa el calentamiento global. Esto brinda beneficios económicos, considerando tasa de descuento mayor que cero.
- El fijar carbono por un tiempo limitado permite ganar tiempo hasta que se desarrollen nuevas tecnologías en los sectores energético, transporte e industrial, que reduzcan las emisiones de GEI a un bajo costo.

LAPEYRE *et al.* (2004) evaluó la capacidad de captura de carbono en 5 sistemas de uso de la tierra de la región San Martín: bosque primario (485 t.ha⁻¹), bosque secundario de 50 años (234 t.ha⁻¹), bosque descremado de 20 años (62 t.ha⁻¹), sistemas agroforestales (entre 19 a 47 t.ha⁻¹, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo) y, finalmente, cultivos agrícolas (5 t.ha⁻¹). También se evaluó el flujo de carbono en el sistema de bosque secundario de 20 años fue menor en comparación con el del bosque secundario de 50 años (3.10 t.ha/año; 4.60 t.ha/año). El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales.

LARREA (2007) concluyó que en los sistemas de mayor edad se encuentra mayor cantidad de carbono (Cuadro 4). Sin embargo estas reservas también se diferencian por las combinaciones de sombra y coberturas vegetales elegidas por cada agricultor así como a la densidad, condiciones biofísicas, etc. Las mayores reservas se encuentran en el componente arboles vivos totales, mientras que los demás componentes poseen poco o nada de carbono. El sistema agroforestal: SAF – cacao (8 años) con capirona, bolaina y caoba (10 años) contiene 73.79 t.ha⁻¹ y es el que mayores reservas posee.

Cuadro 4. Carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea de los sistemas con cacao en Mariscal Cáceres – San Martín.

Sistema	Árboles vivos total	Biomasa de Árboles Muertos en Pie	Biomasa de Árboles Caídos Muertos	Biomasa de Herbáceas	Biomasa de Hojarasca	Biomasa Vegetal Total	Carbono total en la Biomasa Vegetal
	(t/ha)						
Cacao 3 años (a) Capirona – Guaba 6 a.	15.41	11.43	0.28	0.22	4.84	32.19	14.49
3 a cacao, guaba y palta 5 a.	17.37	0.00	0.01	0.11	24.71	42.19	18.99
Cacao 3 a guaba y guanábana, 6 a.	22.00	0.11	0.01	0.94	2.35	25.40	11.43
Cacao 6 a	4.06	0.13	0.21	0.42	8.41	13.23	5.95
Cacao 6 a, capirona y bolaina de 7 a.	29.09	0.00	0.00	0.22	8.78	38.10	17.14
Cacao de 8 a. Capirona, bolaina, caoba 10 a.	77.92	64.51	0.95	0.71	19.87	163.97	73.79
Cacao 8 a. capirona, bolaina y café de 10 a.	37.73	9.45	0.40	1.67	16.55	65.81	29.61

Fuente: LARREA (2007).

2.6. El papel de los suelos en el ciclo de carbono

KSTATE (2006) afirma que los suelos que se forman bajo bosques tienden a acumular altos niveles de carbono orgánico próximos a la superficie y

tienen niveles de carbono más bajos en el subsuelo. Dicha estratificación se debe principalmente a la acumulación de restos de hojas, ramas cortas de los árboles que se acumulan en la superficie del suelo. CATRIONA (1998) añade que los sumideros de carbono en suelos de diferentes ecosistemas tropicales, varían entre 60 y 115 t.ha⁻¹ y estos sumideros pueden verse perturbados por los cambios de uso de la tierra. El carbono en el suelo disminuye cuando los sistemas de bosque primario son cambiados a otro uso; esto se explica porque, existe una pérdida de materia orgánica del suelo debido a un aumento de actividad microbiana y la descomposición (CHAPIN *et al.*, 2002).

LOGUERCIO (2005) y DELANEY (2005) afirman que la vegetación, en particular los bosques, sistemas agroforestales almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico). Los sistemas agroforestales, ofrecen muchas ventajas, especialmente para los pequeños agricultores (FAO, 2002). Puesto que, representan una alternativa sostenible a la deforestación y a la agricultura de rozo, tumba y quema.

En tres pisos ecológicos de la Amazonía (Selva Alta - Previsto, Selva Baja - Aguaytía y Ceja de Selva - San Agustín), los SUT bosque primario, huerto casero, bosque secundario y café bajo sombra, cuantitativamente conforman un grupo de aportes de carbono muy regular, y finalmente la silvopastura y pastura, con menores participaciones. En el caso del bosque primario, mayor carbono retenido se encuentra en la biomasa arbórea. Los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea,

hojarasca y edáfica), en suma no alcanzan la cuarta parte del volumen global. En bosque secundario, café bajo sombra, silvopastura, pastura y huerto casero el mayor aporte de carbono es edáfico. En bosque secundario el carbono edáfico es ligeramente superior al 50%. En café bajo sombra, el carbono edáfico es menor que la de silvopastura; donde en este último, la proporción de carbono edáfico es altísima, alcanzando casi las tres cuartas partes. Para la pastura, casi el 96% del carbono es contribuido por el suelo (CALLO – CONCHA *et al.*, 2001).

En diferentes SUT evaluados en Yurimaguas y Pucallpa, la foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de carbono total en ambos sitios, tanto en la biomasa aérea y la del suelo. El barbecho natural aumento su contenido de carbono con el tiempo. Mientras que en todos los sistemas manejados es más bajo que el de los bosques naturales. Sin embargo el contenido de carbono en la parte aérea (árbol, sotobosque y hojarasca) en los sistemas perennes con árboles y coberturas fue más alto y fluctuó desde 41 t.C/ha para la palma aceitera, hasta 74 t.C/ha para la plantación de caucho (Pucallpa) y en el sistema agroforestal de multiestratos (Yurimaguas), estos valores fueron intermedios con 59 t.C/ha. Lo cual indica que cultivos de árboles perennes basados en sistemas multiestratos alcanzan del 20 a 46% del carbono secuestrado del bosque primario (ALEGRE *et al.*, 2002).

2.6.1. Dinámica del carbono orgánico en los suelos

La dinámica de carbono orgánico en el suelo representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por

descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al suelo (55 Pg/año a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y solo una pequeña fracción (1%) se acumula como humus estable (0.4 Pg/año) (FAO, 2001).

Los métodos de isotopos tales como el carbono 14 o la abundancia natural del carbono 13 son muy valiosos ya que permiten una estimación del tiempo de residencia de la materia orgánica y sus fracciones en el suelo. La abundancia de carbono 13 natural es adecuada para las tasas de recambio para periodos de años a siglos y el carbono 14 para periodos de siglos a milenios. Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos de residencia (años a siglos) dependiendo de su composición bioquímica, ejemplo: La lignina es más estable que la celulosa, a décadas o a más de mil años (fracción estable).

El carbono en la hojarasca es un componente pequeño en términos de biomasa, esto hace que, normalmente, su inclusión sea discrecional (CHIDIAK *et al.*, 2006). Pero, la hojarasca, ramas y restos de cortas juegan un papel preponderante, puesto que, se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono (IPCC, 2003; citado por YQUISE, 2008).

ASB (1999) afirma que el factor que modifica significativamente los tenores de carbono, es la textura del suelo. Especialmente los suelos con alto

contenido de arcilla (como las montmorillonitas), tienen la propiedad de estabilizar la materia orgánica, evitando su rápida descomposición y por lo tanto acumula por mayor tiempo el carbono, puesto que en capas arenosas, al igual que en capas con arcilla caolinita faltan sitios de absorción y no es imposible la estabilización del carbono (JANDI, 2001).

2.6.2. Carbono orgánico total del suelo

Los suelos contienen más carbono que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (SWIFT, 2001).

Los suelos que acumulan la mayor cantidad de carbono orgánico (CO) corresponden al orden Histosol, aun cuando es el orden que posee menor superficie con respecto a otros órdenes, es el que tiene la mayor relación cantidad COS/superficie (Cuadro 5). El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Jackson, 1964; citado por MARTINEZ *et al.*, 2008).

El carbono del suelo se puede perder en forma gaseosa (CO₂, CH₄) por difusión directa hacia la atmósfera, el cual se produce por la mineralización de la materia orgánica donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo y también por el metabolismo de las raíces de las plantas (FORTÍN *et al.*, 1996).

Cuadro 5. Carbono orgánico en los suelos del mundo (Modificado por ESWARAN *et al.*, 1993).

ORDEN ¹	Área (10 ³ km ²)	COS (Pg) ²	COS/Área (Pg 10 ⁻³ km ²)
Histosols	1.745	357	0,205
Andisols	2.552	78	0,031
Inceptisols	21.580	352	0,016
Spodosols	4.878	71	0,015
Mollisols	5.480	72	0,013
Oxisols	11.772	119	0,010
Entisols	14.921	148	0,010
Ultisols	11.330	105	0,009
Alfisols	18.283	127	0,007
Vertisols	3.287	19	0,006
Aridisols	31.743	110	0,003
Misceláneos	7.644	18	0,002
TOTAL	135.215	1.576	0,012

¹ Soil Survey Staff (1996)

² Carbono orgánico del suelo. Soil organic carbon.

1 Pg = 10¹⁵ g

Fuente: SWIFT (2001).

2.6.3. Carbono orgánico y propiedades químicas del suelo

2.6.3.1. Efecto sobre la reacción del suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (AGUILERA, 2000). WONG *et al.* (2000)

incubaron dos suelos, Oxisol (4.8% de COS) y ultisol (2.6% de COS), con poda de ramillas de árboles observándose durante los primeros 14 días un aumento de pH de 4.8 a 5.8 en el Oxisol y de 4.1 a 6.8 en el Ultisol junto a una disminución del Al intercambiable. Los autores propusieron que la neutralización de la acidez se debe a una complejación de protones y Al mediante aniones orgánicos. Sin embargo, los resultados podrían variar en magnitud y duración de acuerdo al tipo y cantidad de enmienda que se agregue al suelo.

En largo plazo, el aumento del pH podría explicarse por mineralización al liberar las bases de cambio contenidas en los compuestos orgánicos y por el contenido inicial del nitrógeno (N). El N contenido en los materiales vegetales originales provocaría un aumento inicial del pH asociado a formación de NH_4^+ que consume protones. La posterior nitrificación de NH_4^+ en NO_3^- resultaría en una disminución del pH debido a la liberación de los protones a la solución del suelo. La disminución del pH por formación de NO_3^- no conseguiría alcanzar los niveles originales de acidez dado que una alta concentración de NH_4^+ tiene un efecto inhibitor de la nitrificación (Pocknee y Summer, 1997; citados por MARTINEZ *et al.*, 2008). Por otro lado la MOS tiene grupo carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo (CARRASCO, 1992).

La MOS tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y tiende a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino (MARTINEZ *et al.*, 2008).

2.6.3.2. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC, propiedad química, vinculada a la fertilidad, depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS. La mayoría de los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el pH (KRULL *et al.*, 2004), observándose un aumento de la CIC con el pH, por lo que la CIC total se mide a pH 8.2. Se considera que la CIC permanente proviene de la fracción arcilla, mientras que la CIC variable depende de las sustancias húmicas. Los coloides inorgánicos prácticamente no varían en un suelo en particular, con valores de CIC que fluctúan entre 2 a 150 cmol (+) kg de suelo. Por otro lado, los coloides orgánicos, son altamente dependientes del manejo y pueden tener una CIC que superan 200 meq 100 g de suelo (Wolf y Snyder, 2003; citados por MARTINEZ *et al.*, 2008).

La forma más común de interacción entre COS y cationes es mediante reacciones de intercambio catiónico, esto es, entre los grupos carboxílicos cargados negativamente y los cationes (KRULL *et al.*, 2004).

La complejación de los materiales inorgánicos de la MOS también afecta la fertilidad del suelo incrementándose, por ejemplo, la disponibilidad de P por bloqueo de potenciales sitios de reacción con Fe, Al y Ca. En una Haploxeroll el contenido de COS se correlacionó positivamente con nitrógeno total, potasio disponible y relación C/N (REYES *et al.*, 2002).

2.6.4. Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo

2.6.4.1. Agregación del suelo

El COS tiene un efecto importante en la agregación de las partículas del suelo existiendo una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados. A su vez, los agregados de menor tamaño están asociados a la fracción altamente humificada con periodo de residencia en el suelo mayor a siete años. Se encontró una correlación positiva entre el porcentaje de estabilidad de los agregados y el contenido de MOS (Buyanovsky *et al.*, 1994 y Rothon, 2000; citados por MARTINEZ *et al.*, 2008).

En un Udifluventic Haplustept, (Texas), cultivado con sorgo, trigo y soya manejado con cero labranza y labranza convencional por 20 años, el COS se asoció positivamente con el porcentaje de agregados estables al agua (WRIGHT y HONS, 2005). Además, hubo interacción entre el tamaño de los agregados y la especie cultivada. Al separar los distintos agregados por peso, el COS se asoció positivamente con los macroagregados, mayores a 1 mm y negativamente con los microagregados del suelo (menores a 0.25 mm) (ARSHAD *et al.*, 2004).

2.6.4.2. Porosidad y retención de agua en el suelo

La estructura del suelo involucra la forma, grado y tamaño de los agregados. La estructura afecta la porosidad, la retención y disponibilidad de

agua, la capacidad para contener aire (ACEVEDO y MARTINEZ, 2003). Porosidad y retención de agua son dos parámetros estrechamente vinculados, la capacidad de retención de agua en el suelo depende del número de poros, de la distribución del tamaño de poros y la superficie específica de cada suelo (KRULL *et al.*, 2004). (Pikul y Allmaras, 1986; citados por MARTINEZ *et al.*, 2008) estudiaron la distribución del espacio poroso con diferentes manejos de suelos, encontraron que al agregar materia orgánica, aumentaban los poros de mayor diámetro, que retienen el agua con menor energía. La porosidad total depende de la densidad real y la densidad aparente de suelo.

En un Mollisol de Chile Central manejado con cero labranzas por cuatro años aumentó la humedad aprovechable cercana a 30% comparado con labranza convencional en los primeros 5 cm del perfil del suelo, también un aumento de 2.2 a 3.0% de MOS a igual profundidad (REYES *et al.*, 2002).

2.6.4.3. Compactación y carbono orgánico del suelo

La compactación del suelo consiste en una reducción del espacio poroso causado por una carga aplicada a la superficie del suelo (KULLI, 2002). Se mide mediante el valor de resistencia que ofrece el suelo a ser penetrado por una herramienta de corte. La resistencia a la penetración depende de varias propiedades básicas como la resistencia a la deformación del suelo, compresibilidad y fricción suelo-metal se puede asociar a propiedades como la densidad aparente, contenido de agua (DEXTER *et al.*, 2007). La resistencia a

la penetración aumenta con la disminución de agua en el suelo y disminuye con aumentos en densidad aparente (AGGARWAL *et al.*, 2006).

HAZMA y ANDERSON (2005) identificaron los siguientes efectos de la MOS sobre la estructura y compactación del suelo: floculación de las partículas minerales, reducción de la humectación de los agregados y cambios en la resistencia mecánica de los agregados.

2.6.4.4. Infiltración de agua en el suelo

La MOS tiende a aumentar la tasa de infiltración de agua en el suelo. Sin embargo, depende del manejo y la presencia de capas compactadas dentro del perfil del suelo. En un suelo franco arenoso la aplicación de 10 t/ha de abono verde aumentó la tasa de infiltración de agua. En un Typic Haploxerol manejado por 55 años, encontraron un aumento en la conductividad hidráulica a saturación en los tratamientos con mayor aporte de MO. En un Ultic Haploxeroll, encontraron mayores valores de conductividad hidráulica cercana a saturación en el suelo con pradera natural (3.71% COS de 0 - 5 cm) que en los suelos manejados con cero labranza o labranza convencional (1.82 y 1.47% COS de 0 - 5 cm). (Pikull y Allmaras 1986, Fuentes *et al.*, 2004; citados por MARTINEZ *et al.*, 2008).

2.6.5. Carbono orgánico y propiedades biológicas del suelo

El carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo. Proporciona recursos energéticos a los organismos del suelo (OS),

mayoritariamente heterótrofos, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular), esta actividad biológica actúa en la solubilización, movilización y disponibilidad de nutrientes para las plantas (BORIE *et al.*, 1999). Los OS descomponen los residuos orgánicos participando en los ciclos de muchos elementos utilizados por las plantas. Además los OS participan en la formación y estabilización de la estructura y porosidad del suelo (KRULL *et al.*, 2002).

La descomposición de los residuos orgánicos ocurre en tres fases:

1) fragmentación y mezcla con el suelo mineral efectuada por la macro y mega fauna (2 - 20 mm), 2) ruptura de grandes moléculas mediante la acción de enzimas liberadas por algunos hongos y bacterias y, 3) asimilación y transformación de los productos solubles generados en la etapa anterior a través de los microorganismos del suelo (microflora y microfauna < a 100 µm). Si el oxígeno no es factor limitante en el suelo, la descomposición se produce por respiración, en caso contrario se produce fermentación (Singer y Munns, 1996; citados por MARTINEZ *et al.*, 2008). Dependiendo del estado oxidativo del suelo el carbono (C) mineralizado adopta formas oxidadas (CO₂) o formas reducidas (CH₄).

2.7. El cultivo de cacao en el Perú

2.7.1. Clasificación botánica del cacao

Reino : PLANTAE

División : Fanerogamas

Clase : Angiospermae

Subclase : Dicotiledonea

Orden : Malvales

Familia : Sterculiaceae

Género : *Theobroma*

Especie : *Theobroma cacao* L.

La característica principal de esta planta es la de ser cauliflora, es decir produce sus flores y frutos en el tallo y ramas; el nombre *Theobroma*, significa alimento de los dioses, que se le atribuye a las propiedades divinas que los indígenas consideraban en esta planta. El árbol de cacao puede alcanzar una altura entre 5 a 8 m (Gispert, 1987; citado por BARTRA, 2009).

El cacao es originario de América latina, el oeste africano que es ahora la región creciente con 66.8% de la producción mundial. Actualmente, América latina ha decrecido su producción a casi el 13.7%, mientras la producción asiática se ha extendido rápidamente desde la mitad de la década del 70 a 19.5% (ICCO, 2002). Tiene gran importancia económica en diversos países del mundo por sus almendras que constituyen el insumo básico de la industria del chocolate y otros derivados; así mismo para la extracción de manteca de cacao de alta cotización en el mercado internacional (SÁNCHEZ, 2002).

En el Perú, despertó el interés por el cultivo de cacao debido al alza de precio y a la demanda no cubierta, del mercado nacional e internacional, los lugares de mayor producción están ubicados en la Amazonia del país, donde la producción alcanza 34,300 TM el 2007 (0.8% de la producción mundial), la producción debería aumentar en los próximos años por el crecimiento del áreas de cacao en producción que en la actualidad es de 73,825 hectáreas. San Martín es la Región que más áreas incrementó, con 3724.50 hectáreas, y cuya producción alcanzó a 8278.23 TM en el año 2008 (MINAG, 2007).

2.7.2. Condiciones climáticas adecuadas para la producción de cacao

2.7.2.1. Temperatura

Es factor crítico para el crecimiento del cacao, y también tiene relación directa con la floración y fructificación. La temperatura media anual debe ser alrededor de los 25 °C., el diferencial térmico entre el día y la noche es otro criterio importante debiendo ser de 4 °C.

2.7.2.2. Precipitaciones

El régimen de precipitación ideal es de 1600 a 2600 mm/año con buena distribución durante todo el año, la humedad relativa debe estar entre 65 y 75%. Sin embargo en otros lugares el cacao prospera de 900 y 3800 mm/año, en el primer caso las plantas llegan al stress hídrico y en el segundo

caso la humedad relativa alcanza 90 a 98% causando alta incidencia de enfermedades.

2.7.2.3. Radiación solar

Importante en la fisiología de la planta (fotosíntesis), aunque en el cacao expuesto al sol, este ocurre con baja intensidad. Para las condiciones de San Martín se recomienda en la etapa de establecimiento del cultivo el uso de sombra al 70%, debido a que las plantas jóvenes son afectadas por la acción directa de rayos solares. Para plantaciones ya establecidas se considera que una intensidad lumínica menor del 50% del total de luz limita los rendimientos, mientras que una intensidad superior al 50% del total de luz los aumenta. Una plantación adulta necesita 2200 horas/año.

2.7.2.4. Corrientes de viento

Determinan la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y el follaje de la planta; los vientos mayores a 3 m/seg pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de hojas. Por ello en zonas de fuertes vientos, se empleó cortavientos, que suelen estar formados por distintas especies arbóreas.

2.7.2.5. Altitud

El rango óptimo es de 250 – 900 msnm; el cacao puede crecer y producir en zonas de altitudes hasta los 1200 msnm; por encima de ello, puede

tener problemas debido a su susceptibilidad a la caída de flores y frutos pequeños por diferencial térmico entre el día y la noche, sobre todo en épocas de frío.

2.7.3. Condiciones de suelos adecuados para cacao

2.7.3.1. Drenaje

Un mal drenaje provoca condiciones anaeróbicas ocasionando asfixia y favorece al ataque de hongos patógenos del suelo. Es posible reconocer los suelos con mal drenaje abriendo un hoyo de unos 50 cm de profundidad donde se aprecia la napa freática, también se puede apreciar moteaduras grises, verdes, gris con manchas rojas, lo cual indica que el suelo permanece saturado de agua buena parte del año.

2.7.3.2. pH del suelo

En rangos de pH 6.0 a 6.5, el cacao se desarrolla eficientemente; permitiendo obtener buenos rendimientos. Sin embargo también se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4.5 hasta el pH de 8.5, en el primer caso los problemas son un porcentaje bajo de saturación de bases que implica deficiencias de K, Ca y Mg fundamentalmente y tienen altos niveles de saturación de aluminio en muchos casos mayores al 60% ocasionando toxicidad para la planta. En el segundo caso la extremada presencia de carbonatos de calcio bloquea la absorción de fósforo precipitando a este como fosfatos de calcio, inhibe la absorción de

hierro ocasionando clorosis generalizada por inhibición fotosintética, que conlleva a una producción decadente.

2.7.3.3. Materia orgánica

Favorece la disponibilidad de nutrientes; los procesos de mineralización, amonificación, humificación. Constituye el alimento de los microorganismos del suelo favoreciendo la liberación y disponibilidad de nutrientes aprovechables por la planta; su contenido en el suelo influye tanto en las condiciones físicas como biológicas.

2.7.3.4. Topografía

Condición muy importante, ya que una topografía accidentada está sujeta a riesgos de erosión acelerada, por acción de lluvias o vientos, ocasionando pérdida de capa arable del suelo. A pendientes mayores de 30% se deben realizar prácticas de conservación de suelos; como barreras vivas y muertas, siembra a curvas de nivel, diseños de sistemas agroforestales (SAFs) (ICT, 2010).

2.8. Antecedentes del campo experimental

El trabajo de investigación se realizó en la estación experimental El Choclino (Figura 3), donde se encuentran ubicados dos sistemas agroforestales:

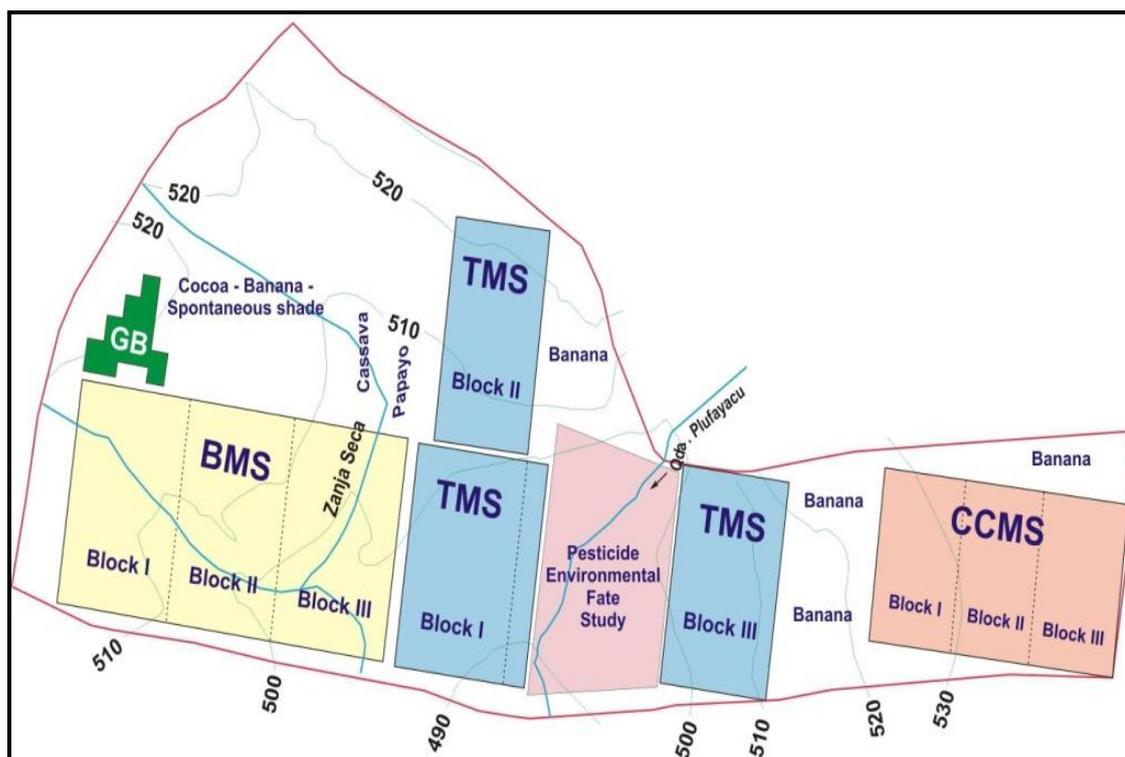


Figura 3. Croquis general de la Estación Experimental El Chocloino.

2.8.1. Sistema agroforestal con manejo de bosque (BMS)

EL BMS a un inicio fue una purma de 25 años de edad donde existieron especies forestales, palmeras, lianas y herbáceas. El 2004 se inició las actividades de rozo y tumba selectiva de arbustos y árboles hasta lograr un aproximado de 50% de sombra; ese mismo año se procedió a la siembra de plátano y luego cacao a una densidad de 2 m x 3 m (1666 plantas/ha). Tiene una superficie aproximada de 1.65 ha, actualmente cuenta con especies de las familias: Rubiaceae, Rutaceae, Verbenaceae, Fabaceae, Apocináceae, Cecropiaceae y Malpighicieae. El 2005 se introdujo al sistema, las especies forestales: tornillo (*Cedrelinga cateaniformis*), paliperro (*Vitex pseudolia*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*) a un distanciamiento de 12 m x 12 m.

2.8.2. Sistema agroforestal con manejo tradicional (TMS)

Las actividades en este sistema iniciaron el 2004. Cuenta con una superficie de 1.5 ha. El modelo de instalación propuesto para este sistema asemeja al de la agricultura migratoria. Se realizó actividades de rozo, tumba y quema; inmediatamente se instaló la sucesión de cultivos anuales (maíz y frejol) y plátano.

El 2005 se establece el cultivo de cacao, a un distanciamiento de 2 m x 3 m con densidad de 1666 plantas/ha, también la especie guaba (*Inga* sp.) para sombra, a distanciamiento de 6 m x 9 m con densidad de 185 plantas/ha. Se introdujo las especies forestales como tornillo (*Cedrelinga cateaniformis* Ducke), paliperro (*Vitex pseudolia*) y capirona (*Calicophyllum spruceanum* Benth), a un distanciamiento de 12 m x 12 m, con densidad de 69 plantas/ha. La distribución de los bloques y genotipos de cacao es el mismo comparado al BMS. Actualmente las plantaciones de cacao tienen 6 años de edad al igual que las especies forestales introducidas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la Estación Experimental El Choclino del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), ubicado a 4 km del distrito de la Banda de Schilcayo, provincia y departamento de San Martín.

3.1.2. Ubicación geográfica

La zona de estudio se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: 06°28'37.3" latitud sur y 76°19'54.6" longitud oeste, el cual se encuentra a una altitud de 506 msnm.

3.2. Generalidades del lugar

3.2.1. Sistema agroforestal con manejo de bosque (BMS)

La parcela consta de tres bloques, dentro de cada bloque existen 60 genotipos de cacao, distribuidos al azar, entre clones nacionales e internacionales; de los cuales, 44 genotipos ICT fueron usados para la presente investigación (Figura 4). Cada sub parcela o genotipo ICT está conformado por

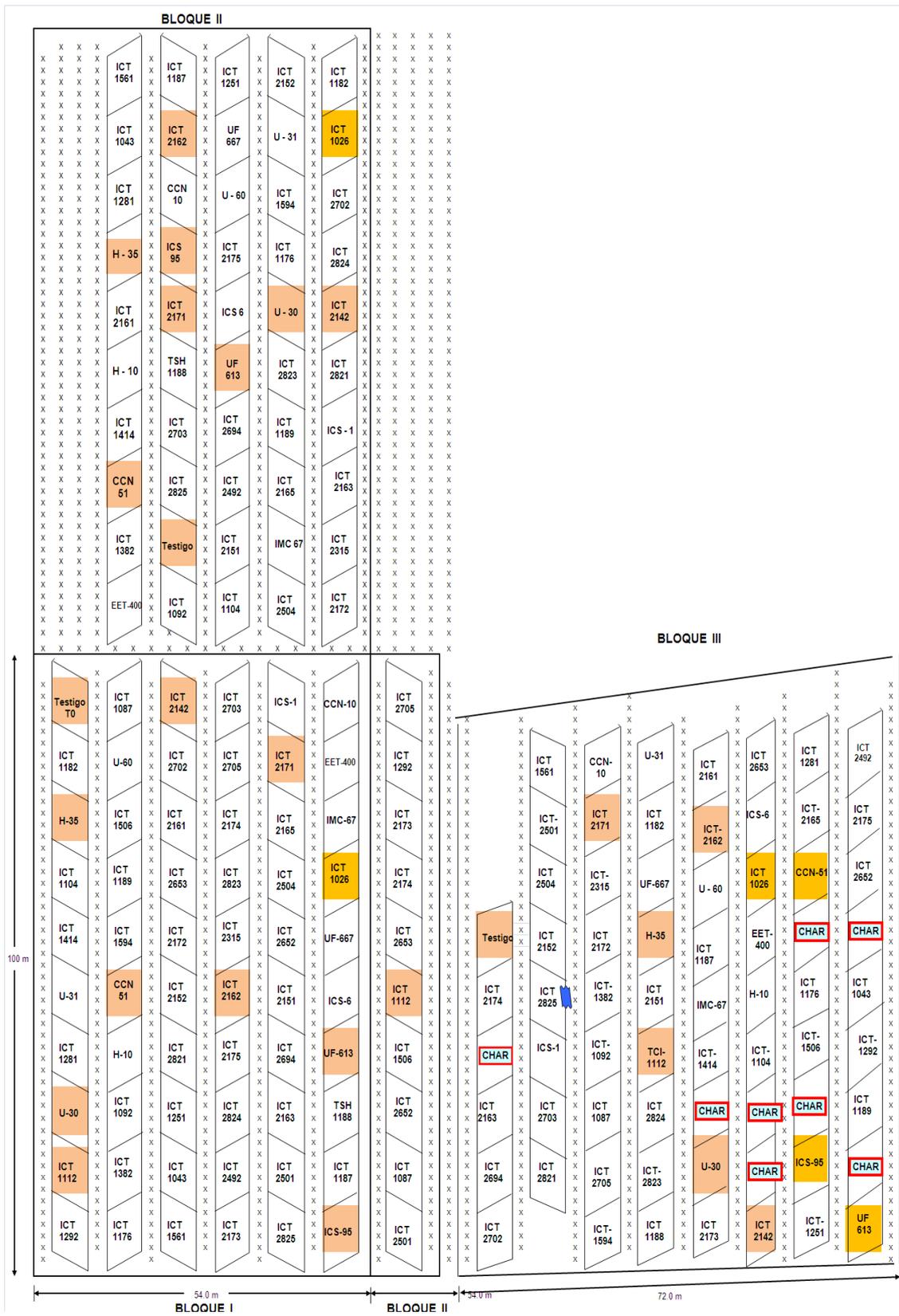


Figura 5. Croquis del Sistema Agroforestal con Manejo Tradicional (TMS).

Donde:

CCN =	Colección Castro Naranjal.
EET =	Colección Estación Experimental Tropical de Pichilingue.
H =	Colección Huallaga
ICT =	Colección Instituto de Cultivos Tropicales
ICS =	Colección Institute College Selection
IMC =	Colección Iquitos Marañón Colection
TSH =	Trinidad Selection Hybrid
To =	Testigo (Hibrido local)
U =	Colección Ucayali
UF =	Colección United Fruit Selections

3.2.3. Características edáficas

Los suelos varían desde arcilloso a franco-arcilloso en el área del sistema en bosque, mientras que para el sistema tradicional varía desde arcilloso a franco-arcillo-arenoso y en zonas rocosas del bloque III del mismo sistema existe suelos franco-arenosos. Así mismo poseen un pH que varían desde 4.2 hasta 8.4. La estación experimental que comprende el área de estudio de investigación tiene un relieve abrupto en algunos sectores con pendientes mayores a 50%, pero en su mayoría predomina una pendiente menor a 50%.

3.2.4. Características climáticas

El lugar donde se realizó el presente trabajo se encuentra ubicada dentro de la zona de vida de bosque seco Premontano Tropical (bs – PT), según el sistema de clasificación desarrollada por Leslie R. Holdridge. La precipitación que va desde 1000 a 1200 mm. Con temperatura promedio de 26 °C y una humedad relativa promedio de 80% (ICT, 2006).

3.2.4.1. Registro meteorológico

Los datos meteorológicos que se muestran en el Cuadro 6 es el promedio mensual del año 2010, en el cual se desarrolló el presente trabajo de investigación, y fueron obtenidos en la Estación Meteorológica de la E.E Juan Bernito, que pertenece al Instituto de Cultivos Tropicales.

Cuadro 6. Datos meteorológicos registrados en la estación meteorológica de la E.E Juan Bernito (2010).

Meses	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)
Enero	27.0	72.0	43.0
Febrero	26.7	80.0	42.6
Marzo	26.2	83.0	157.0
Abril	25.8	84.9	122.6
Mayo	25.4	83.8	95.8
Junio	24.8	83.1	57.8
Julio	24.7	80.2	3.4
Agosto	25.6	75.7	34.8
Septiembre	26.5	76.4	8.4
Octubre	26.5	76.1	49.4
Noviembre	25.8	79.4	144.6
Diciembre	26.3	77.6	124.4

Fuente: Instituto de Cultivos Tropicales (2010).

3.3. Materiales y equipos

Se utilizaron materiales de inventario, materiales de escritorio y equipos tradicionales, así como también el láser para medir altura de árboles.

3.4. Componente en estudio

3.4.1. Composición florística

- Inventario forestal y ubicación de las especies forestales espontáneas e introducidas que conforman el sistema BMS y TMS.

3.4.2. Biomasa y carbono sobre el suelo

- Biomasa y carbono en árboles vivos en pie incluyendo el cacao (se consideran todos los árboles excepto palmeras y plátano por el aporte mínimo de biomasa).
- Biomasa y carbono de árboles caídos muertos.
- Biomasa y carbono en vegetación herbácea y arbustiva.
- Biomasa y carbono en hojarasca.

3.4.3. Biomasa y carbono orgánico del suelo

- Biomasa y carbono en el suelo a tres profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm)

3.5. Identificación e inventario de especies forestales

Dentro de la parcela grande (BMS) se realizó el inventario, identificación y conteo de todas las especies forestales tanto espontáneas como introducidas. Con la ayuda del croquis Distribución espacial de especies arbóreas de años anteriores, se inició a actualizar dicho croquis, realizando el recorrido para la debida ubicación e inventario.

Al término de la valuación se obtuvo un croquis actualizado (Anexo 18 al 20).

3.6. Biomasa y carbono sobre el suelo

La metodología de evaluación fue en base al “Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú”, propuesta por ARÉVALO *et al.* (2003), que fue adaptado a la realidad de la parcela, ya que no se construyó transectos. La estimación de la biomasa y el cálculo de carbono retenido fueron realizados usando los parámetros biométricos para árboles vivos y muertos en pie, árboles muertos caídos, propuestos por FUJISAKA *et al.* (1998) y CALLO-CONCHA *et al.* (2001).

3.6.1. Biomasa y carbono arbóreo

Se usó la metodología desarrollada por el ICRAF (ARÉVALO *et al.*, 2003 y LARREA, 2007).

3.6.1.1. Biomasa y carbono en cacao (*Theobroma cacao* L.)

Para la recopilación de datos no se realizó transectos. De cada subparcela (Figura 7) constituida por un genotipo se evaluaron 5 plantas de cacao, de las 10 plantas existentes. Por tratarse de árboles de cacao injertos, estos ramificaron por debajo del DAP (1.30 m), por ello se estimó su biomasa midiendo el diámetro a 30 cm sobre el suelo y luego se promediaron para su respectivo análisis.

Para el cálculo de la biomasa se consideró con el aporte de inventarios anteriores en la región San Martín, en diferentes zonas con similares condiciones ambientales. Se utilizó la ecuación alométrica, determinada para cacao, en base a 30 plantas (LARREA, 2007):

$$\text{Biomasa} = 0.4849 \text{ Diámetro}^{1.42}.$$

Cálculo de la biomasa arbórea (BA)

BA = Biomasa arbórea

BA = $0.4849 \text{ DAP}^{1.42}$

Donde:

DAP = Diámetro a la altura de pecho.

0.4849 y 1.42 = constantes.



Figura 6. Evaluación del diámetro de árboles de cacao en el campo.

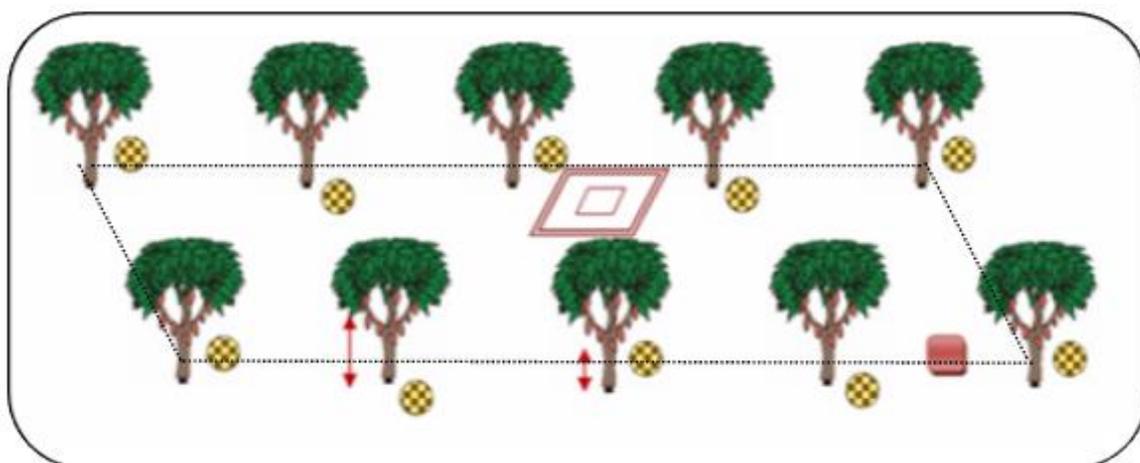


Figura 7. Croquis de la subparcela correspondiente a cada genotipo de cacao.

3.6.1.2. Biomasa y carbono en árboles vivos, árboles muertos en pie y árboles muertos caídos

Con la ayuda de un croquis de ubicación de todos los árboles tanto espontáneos (árboles que se conservaron tras el raleo selectivo) e introducidos

(árboles que se sembraron para dar un valor agregado a las parcelas). Se tomó el dato de DAP, como también la altura de cada uno de ellos.

Para la medida del DAP de algunos árboles de mayor grosor y casos particulares de especies forestales (Figura 8) que se presentaron en la parcela BMS se midió con cinta métrica, y se transformó los valores de circunferencia a diámetro dividiendo entre la constante $\pi=3.1416$ (SEGURA y ANDRADE, 2008).

BA= Biomasa de árboles vivos (BAV) y Árboles muertos en pie (BAMP)

$$BA \text{ (kg/árbol)} = 0.1184 \text{ D.a.p.}^{2.53}$$

0.1184 y 2.53 = constantes.

D.a.p. = Diámetro a la altura de pecho.

Para árboles muertos en pie (BAMP) se usa la misma fórmula.

BA = Biomasa de árboles vivos (BAV) fórmula citada por (SEGURA y ANDRADE, 2008). Otra forma de poder hallar el diámetro del árbol.

$$D = P/\pi$$

D = Diámetro del árbol

P = Perímetro del árbol medido con una cinta métrica

π = 3.1416 (constante)

BA= Biomasa de árboles muertos caídos (BAMC)

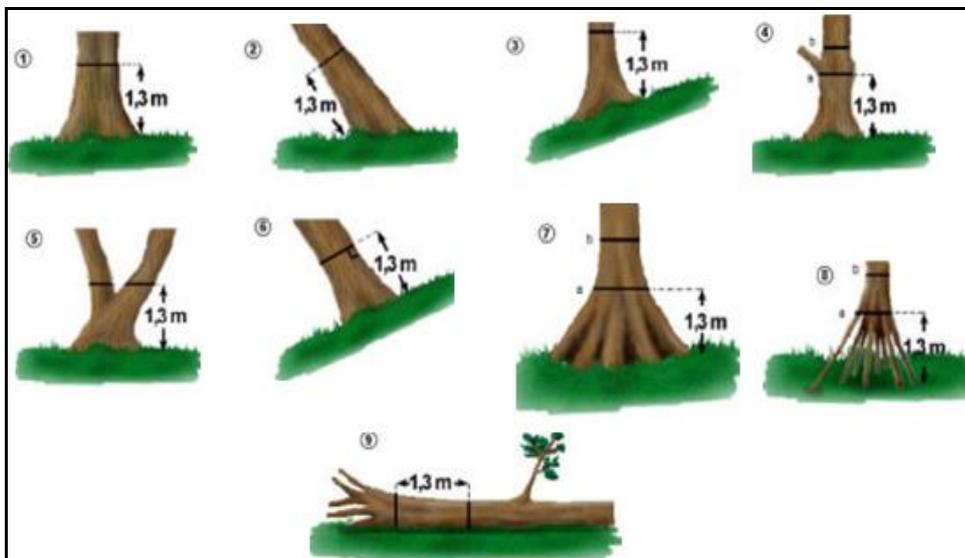
$$\text{BAMC (kg/árbol)} = 0.4 \cdot \text{DP}^2 \cdot \text{L} \cdot 0.25 \cdot \pi$$

DP = Diámetro promedio (cm)

L = Longitud del árbol (m)

0.4 y 0.25 = constantes

π = pi, constante (3.1416)



Fuente: SCHLEGEL *et al.* (2001).

Figura 8. Medición correcta de diámetro.

3.6.1.3. Biomasa y carbono arbustivo y herbáceo

Para la evaluación del presente componente se eligió un cuadrante de 1 m x 1 m, el cual fue lanzado al azar dentro de la subparcela. En esta se cortó toda biomasa procedente de arbustos menores a 2.5 cm de diámetro y la biomasa herbácea, el cual se recolectó en una bolsa para luego ser pesado, se

registró el peso fresco total por metro cuadrado; de esta se colectó una submuestra, se registró el peso fresco (200 g aproximadamente) y luego se colocó en un sobre manila correctamente identificado y se secó a estufa de aire caliente a 75 °C hasta obtener peso seco constante.

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

BAH = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca.

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado



Figura 9. Cuadrantes para determinar biomasa arbustiva y herbácea.

3.6.1.4. Biomasa y carbono en hojarasca

Dentro del cuadrante de 1 m x 1 m que se usa para muestreo de herbáceas se tomaron dos subcuadrantes de 25 cm x 25 cm. Se colectó la capa de hojarasca y otros materiales muertos, se registró el peso fresco total por 0.125 m²; de ésta se sacó una submuestra (100 g aproximadamente) y se registró su peso fresco; se colocó en sobres manila debidamente codificadas para luego secarlas a estufa a 75 °C hasta obtener peso seco constante.



Figura 10. Cuadrantes para determinar biomasa herbáceo.

La fórmula empleada fue la siguiente:

$$Bh \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = ((PSM/PFM)*PFT)$$

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por 0.125 m²

3.7. Biomasa y carbono orgánico del suelo

Para determinar el carbono en suelo (CS) de las parcelas BMS y TMS, se tomaron 7 puntos distribuidos al azar dentro de los bloques de ambas parcelas. Se realizó el siguiente procedimiento:

3.7.1. Medición de la densidad aparente del suelo

Para la obtención de la densidad aparente del suelo se realizó micro calicatas en cada uno de los puntos. Se muestreó suelo con un cilindro metálico de volumen conocido (68.7 cm³). El muestreo se realizó en la primera profundidad de 0 - 20 cm; y para las profundidades de 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, se tomaron datos de archivos de un muestreo realizado el 2009. Se tomaron estos datos en coordinación con el patrocinador.

Esas muestras se guardaron individualmente en pequeños sobres manila y se rotularon con el código respectivo, se secaron las muestras a estufa a temperatura constante de aire caliente a 75 °C, hasta obtener peso seco y con ese dato se determinó la densidad aparente para cada punto de muestreo. La fórmula empleada fue:

$$DA \text{ (gr/cc)} = \text{PSN/VCH}$$

DA (gr/cc) = Densidad aparente, en gr/cc

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante)

Cálculo del peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo

$$PVs (t.ha^{-1}) = DA * Ps * 10000$$

PVs = Peso del volumen del suelo

DA = Densidad aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10000 = Conversión a hectárea



Figura 11. Muestreo de volumen del suelo.

3.7.2. Muestreo de suelos y análisis físico-químico

Dentro de cada sistema se ha muestreado suelos en 7 puntos definidos, con sus debidas repeticiones, utilizando el tubo muestreador, a la proyección de la copa de las 10 plantas del cacao (genotipo seleccionado al azar), se juntaba los suelos en bolsas plásticas (separadas a cada profundidad) debidamente identificadas, para combinarlos y sacar una submuestra, para realizar el respectivo análisis físico químico. El muestreo se realizó a tres profundidades de: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm.

Para la obtención del carbono del suelo se usó el método de Walkey y Black, pesando 1.0 g de suelo luego oxidando con dicromato de potasio y ácido sulfúrico al 96% de pureza, para luego titular y medir el gasto con sal de Morh al 0.2 N.

$$\text{COS (t.ha}^{-1}\text{)} = (\text{PVs} * \% \text{C}) / 100$$

COS = Carbono orgánico en el suelo (en t.ha⁻¹).

PVs = Peso del volumen del suelo

%C = Resultados de carbono en porcentaje analizados en el laboratorio

100 = Factor de conversión



Figura 12. Muestreo de suelos para determinar nutrientes y carbono almacenado.

3.7.3. Fórmulas finales para carbono

Cálculo de la biomasa vegetal total ($t \cdot ha^{-1}$):

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

BVT	=	Biomasa vegetal total
BAVT	=	Biomasa total de árboles vivos
BTAMP	=	Biomasa total de árboles muertos en pie
BTACM	=	Biomasa total de árboles caídos muertos
BAH	=	Biomasa arbustiva y herbácea
Bh	=	Biomasa de la hojarasca

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

$$\text{CBV (t.ha}^{-1}\text{)} = \text{BVT} \cdot 0.45$$

CBV = Carbono en la biomasa vegetal

BVT = Biomasa vegetal total

0.45 = Constante

Cálculo del carbono total.

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

CT = Carbono total

CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

3.8. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico de los componente biomasa y carbono en arboles vivos (específicamente *Theobroma cacao* L.) se utilizó el diseño estadístico experimental de parcelas divididas en bloques completamente al azar (DBCA), siendo la parcela principal el Sistemas de Manejo en Bosque (BMS) y el Sistema de Manejo Tradicional (TMS) y considerándose en las subparcelas los genotipos de cacao que son 44 clones ICT. Utilizándose así mismo análisis multivariado y de Clúster.

Para los demás componentes se aplicó estadística descriptiva. Para encontrar diferencias estadísticas entre ambos sistemas con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba t para la inferencia basadas en dos muestras.

IV. RESULTADOS

4.1. Inventario de especies forestales espontáneas e introducidas, en los sistemas BMS y TMS

4.1.1. Inventario de especies espontáneas y especies introducidas en el sistema de manejo en bosque (BMS)

En el Cuadro 7 y Cuadro 19 del Anexo 1 se presenta la riqueza de especies en el sistema BMS. Cuenta con 273 plantas de origen espontáneo, de las cuáles, las especies goma caspi (*Vochysia haenkeana* Mart) y copalillo (*Protium aracouchini* Aubl) son los más abundantes (con 30 y 26 plantas respectivamente) que sumados representan el 21% del total del sistema; seguidos de las especies ingaina (*Myrsine oligophylla* Zalbruckner) y sacha copal (*Protium* sp.) cada uno con 20 individuos, que representa el 15% del total en el sistema y otras especies con un menor número de individuos.

Por otro lado, el BMS fue enriquecido con 4 especies forestales introducidas. De los cuales, las más abundantes son el paliperro (*Vitex pseudolia*) y la capirona (*Calicophyllum spruceanum*) con 106 y 101 plantas respectivamente, que sumadas representan el 78% del total; mientras que la especie pumaquiro (*Simira* sp.) es la que tiene menor cantidad (17 individuos)

dentro del sistema. El BMS cuenta con 540 plantas en todo su área (espontáneas más introducidas).

La dispersión de dichas especies es muy variable. De la totalidad los árboles forestales; con un DAP (diámetro a la altura del pecho) mayores a 30 cm representan un 28.2% y los árboles con DAP menores a 30 cm representan 71.8%. Así mismo sólo el 14.3% de las especies poseen una altura mayor a 15 m alcanzando a un máximo de 29.67 m de altura, y el 85.7% de las especies poseen una altura menor a 15 m de altura.

Cuadro 7. Inventario forestal de especies espontáneas e introducidas del sistema agroforestal BMS. Especies más representativas por su abundancia.

N de plantas	N. Científico	N. Común	Familia	DAP (cm) (prom.)	Altura (m.) (prom.)	Uso
ESPECIES ESPONTANEAS						
10	<i>Himatanthus sucuuba (Spruce)</i>	Bellaco caspi	Apocynaceae	21,7	8,82	
26	<i>Protium aracouchini (aubl)</i>	Copalillo	Burseraceae	28,1	11	
12	<i>Cupania latifolia</i>	Fapina	Sapindaceae	26,6	11	Madera para aserrío
30	<i>Vochysia Haenkeana Mart</i>	Goma caspi	Vochysiaceae	28,8	11,3	
20	<i>Myrsine oligophylla zalbruckner</i>	Ingaina	Myrsinaceae	19,8	9,1	
11	<i>Pollalesta sp.</i>	Ocuera amarilla	Asteraceae	25,68	10,91	Leña, contiene bastante agua.
15	<i>Zanthoxylum caribacum</i>	Quillo casha	Rutaceae	19	8	
20	<i>Protium sp.</i>	Sacha copal	Burseraceae	21,5	8	Leña, difícil de romper
16	<i>Terminelia oblonga</i>	Yacu Shapana Negra	Combretaceae	38,1	15,07	
12	N.N	No identificados		22	8	varios
101	* Otras especies espontaneas			24,3	9,2	varios
ESPECIES INTRODUCIDAS						
101	<i>Calicophyllum sproceanum</i>	Capirona		5,25	3,14	Madera redonda para construcción.
106	<i>Vitex pseudolia</i>	Paliperro		5,01	2,8	Postes, cercas y leña
17	<i>Simira sp</i>	Pumaquiro		4,14	2,35	Construcción
43	<i>Cedrelinga cateaniformis</i>	Tornillo		7,5	4,1	Construcción y ebanistería
540	TOTAL					

4.1.2. Inventario de especies introducidas en el sistema de manejo tradicional (TMS)

En el Cuadro 8 se aprecia las especies introducidas del sistema TMS. Se observa que la especie guaba (*Inga edulis* Mart.) es la más abundante (especie de sombra), con 194 individuos, que representa el 44% del total en todo el área. A ello se suman las especies capirona, paliperro y tornillo, de las cuales la especie tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) es la que presenta menor (35 plantas) cantidad de individuos. El sistema TMS posee 437 plantas en toda su área.

Por otro lado el desarrollo de la especie guaba (*Inga edulis* Mart.) fue mayor con respecto a los demás, seguido de la especie capirona (*Calicophyllum sproceanum*) que superó a las restantes, tanto en DAP como en la altura (5.7 cm y 3.31 m respectivamente). Mientras que la especie con menor desarrollo fue la especie tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke).

Cuadro 8. Inventario de especies introducidas en el sistema de manejo tradicional (TMS).

N° de árboles	Nombre científico	Nombre común	DAP (cm)	Altura (m)	Usos
194	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guaba	20.2	6.52	Fija nitrógeno, leña y alimento.
	<i>Calicophyllum</i>				Madera redonda para
100	<i>sproceanum</i>	Capirona	5.7	3.31	construcción.
103	<i>Vitex pseudolia</i>	Paliperro	4.46	2.49	Postes, cercas y leña
35	<i>Cedrelinga cateaniformis</i>	Tornillo	1.82	1.28	Construcción y ebanistería
6	-	N.N	10.8	4.17	Varios
437	TOTAL				

4.2. Biomasa y carbono sobre el suelo

4.2.1. Biomasa y carbono en especies forestales (espontáneas e introducidas)

En el Cuadro 9 y Figura 13 se observa que el sistema BMS contiene mayor reservas de biomasa y carbono (con 114.7 t.ha^{-1} y 51.63 t.ha^{-1} respectivamente) con respecto al sistema TMS que posee 37.9 t.ha^{-1} de biomasa y 17.06 t.ha^{-1} de carbono. Así mismo el BMS supera en número de plantas (540 individuos) al sistema TMS (437 individuos).

Cuadro 9. Biomasa y carbono en especies forestales de los sistemas BMS y TMS (espontáneas e introducidas).

Sistema	N° de plantas	Biomasa (t.ha^{-1})	Carbono (t.ha^{-1})
BMS	540	114.7	51.63
TMS	437	37.9	17.06

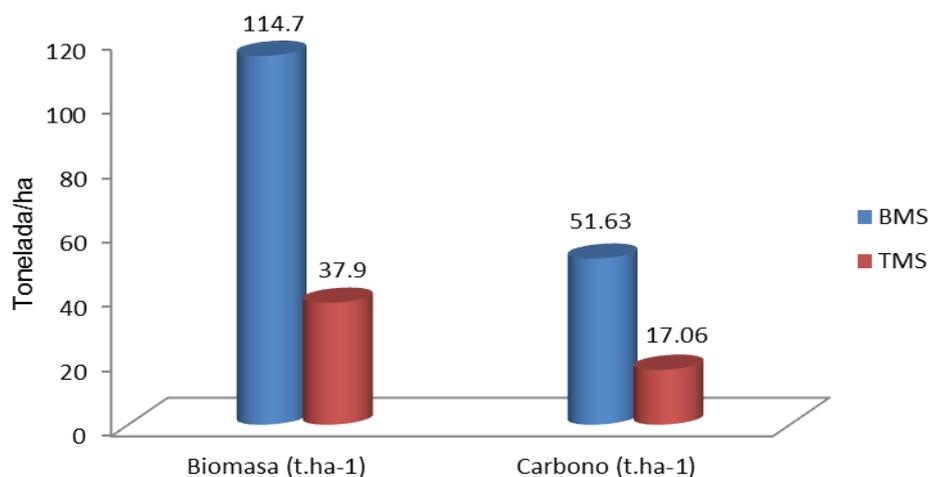


Figura 13. Biomasa y carbono determinado en especies forestales.

4.2.2. Biomasa y carbono en cacao

En el Cuadro 10 se presenta el análisis de varianza para las reservas de carbono en cacao (*Theobroma cacao* L.) a un 5% de significancia. Se encontraron diferencias significativas para el contenido de carbono entre los sistemas BMS y TMS (factor A), así también entre los genotipos (factor B) y entre bloques de los sistemas. Sin embargo para la interacción A x B (sistemas por genotipos de cacao) no se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 10. Análisis de varianza de las reservas de carbono en el cultivo principal cacao (*Theobroma cacao* L.)

Fuente de Variación	GL	Cuadrado Medio	Significancia
Bloques	2	52.92	0.0001 *
A (Sistemas)	1	5.03	0.0460 *
Error (a)	2	59.48	
B (Genotipos)	43	1.92	0.0274 *
AxB (Sistemas*Genotipos)	43	1.34	0.3621 NS
Error experimental	172	1.25	
Total	263		
C.V.		17.19%	

NS No existe diferencia estadística.
* Significación estadística a probabilidad 0.05.

En el Cuadro 11 se presenta el comparativo entre sistemas, los resultados de la prueba t para las reservas de biomasa y carbono en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), nos muestran que existe diferencia significativa

(p-valor = 0.0460) a un 5% de nivel de significancia, con mayores reservas para el BMS con 14.74 t.ha⁻¹ de biomasa y 6.63 t.ha⁻¹ de carbono, en comparación al sistema TMS que posee 14.12 t.ha⁻¹ de biomasa y 6.35 t.ha⁻¹ de carbono.

Cuadro 11. Biomasa y carbono en el cultivo principal cacao (*Theobroma cacao* L.) en dos sistemas de cultivo BMS y TMS. (n = 132; promedio ± error estándar).

Sistema de Cultivo	Biomasa en cacao (t.ha ⁻¹)	Carbono en cacao (t.ha ⁻¹)
BMS	14.74 ± 0.23 a	6.63 ± 0.10 a
TMS	14.12 ± 0.34 b	6.35 ± 0.15 b
<i>p-valor</i>		0.0460

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$), según prueba de Duncan.

Para las reservas de biomasa y carbono entre genotipos de *Theobroma cacao* L. (factor B), en el análisis de varianza a 5% de nivel de significancia se encontraron diferencias estadísticas significativas (p-valor = 0.0274).

En el Cuadro 12 y Figura 14 se muestra el dendograma, a través de la Distancia Euclidiana y el Agrupamiento Jerárquico de promedios (Averague linkage) donde nos permitió agrupar adecuadamente los 44 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) evaluados, facilitando la interpretación de las diferencias y similitudes que presentan, en cuanto a reservas de biomasa y carbono.

Cuadro 12. Agrupamiento de 44 genotipos de cacao ubicados en tres grupos mediante el análisis de conglomerados para biomasa y carbono.

GRUPO 1			GRUPO 2			GRUPO 3		
Genotipo	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)	Genotipo	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)	Genotipo	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)
ICT-1026	11.99	5.39	ICT-1043	14.37	6.46	ICT-1092	16.29	7.33
ICT-1182	12.44	5.6	ICT-1087	14.45	6.5	ICT-1104	15.53	6.99
ICT-1281	11.93	5.37	ICT-1112	14.12	6.35	ICT-1292	16.08	7.24
ICT-2823	11.23	5.05	ICT-1176	14.24	6.41	ICT-1382	15.61	7.02
			ICT-1187	14.99	6.74	ICT-2152	15.53	6.99
			ICT-1189	13.89	6.25	ICT-2161	16.77	7.55
			ICT-1251	14.05	6.32	ICT-2172	15.88	7.15
			ICT-1414	14.39	6.48	ICT-2173	16.29	7.33
			ICT-1506	14.8	6.66	ICT-2315	15.37	6.92
			ICT-1561	14.43	6.49	ICT-2501	16.13	7.26
			ICT-1594	13.93	6.27	ICT-2652	16.43	7.39
			ICT-2142	13.42	6.04	ICT-2825	15.56	7
			ICT-2151	14.55	6.55			
			ICT-2162	13.46	6.06			
			ICT-2163	14.42	6.49			
			ICT-2165	14.9	6.71			
			ICT-2171	13.17	5.93			
			ICT-2174	15.02	6.76			
			ICT-2175	14.58	6.56			
			ICT-2492	13.69	6.16			
			ICT-2504	14.38	6.47			
			ICT-2653	13.81	6.22			
			ICT-2694	14.46	6.51			
			ICT-2702	13.08	5.89			
			ICT-2703	14	6.3			
			ICT-2705	13.49	6.07			
			ICT-2821	12.96	5.87			
			ICT-2824	14.78	6.65			
TOTAL	4 Genotipos		28 Genotipos			12 Genotipos		

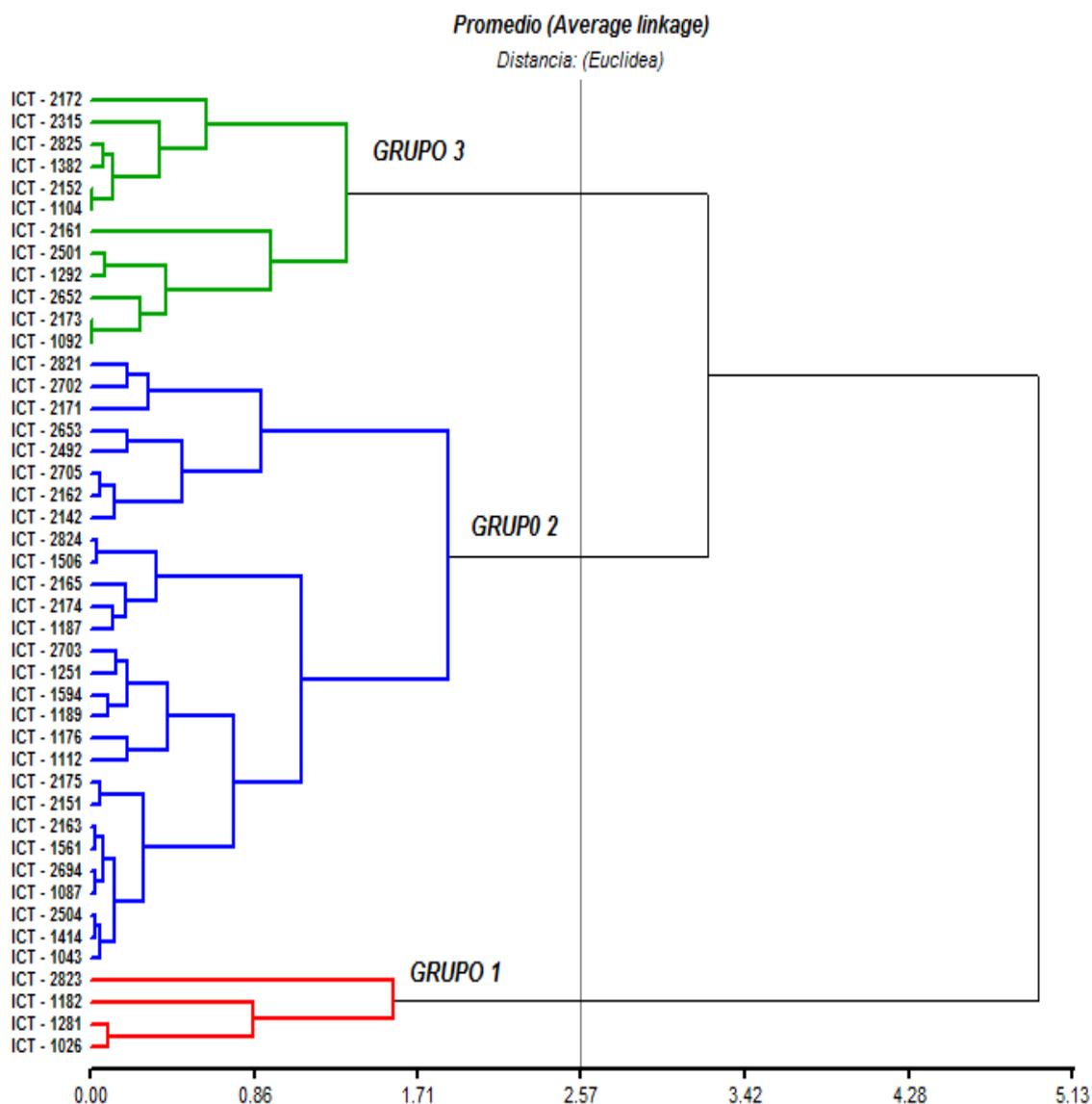


Figura 14. Dendrograma de agrupamiento mediante análisis de multivariado para biomasa y carbono en 44 genotipos de cacao en BMS y TMS.

En el Cuadro 13 se observa tres grupos bien definidos, el grupo 1, que agrupa a todos los genotipos con menores reservas de carbono (promedio de 5.35 t.ha⁻¹), mientras que el grupo 2, concentra a los genotipos que poseen reservas de carbono en promedio de 6.36 t.ha⁻¹, y el grupo 3, concentra a los genotipos con mayores reservas de carbono (promedio de 7.18 t.ha⁻¹).

Cuadro 13. Biomasa y carbono en tres grupos de los sistemas de cultivo (BMS y TMS) para cacao (*Theobroma cacao* L.) (promedio \pm error estándar).

GRUPOS	n	Biomasa en cacao (t.ha ⁻¹)	Carbono en cacao (t.ha ⁻¹)
GRUPO 3	12	15.96 \pm 0.32 a	7.18 \pm 0.15 a
GRUPO 2	28	14.14 \pm 0.26 b	6.36 \pm 0.12 b
GRUPO 1	4	11.90 \pm 0.56 c	5.35 \pm 0.25 c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas.

4.2.3. Biomasa y carbono en árboles muertos en pie y árboles muertos caídos

En el Cuadro 14 se aprecia que el sistema BMS posee mayor cantidad de árboles muertos en pie, y mayor reservas de biomasa y carbono determinados entre 6.68 t.ha⁻¹ de biomasa y 3.01 t.ha⁻¹ de carbono, en comparación al sistema TMS que posee 1.38 t.ha⁻¹ de biomasa y 0.62 t.ha⁻¹ de carbono.

Igualmente para el componente árboles muertos caídos, se observa que el sistema BMS tiene mayor cantidad de árboles muertos caídos y las mayores reservas; con 6.22 t.ha⁻¹ de biomasa y 2.80 t.ha⁻¹ de carbono con respecto al sistema TMS, que tiene 0.79 t.ha⁻¹ de biomasa y 0.36 t.ha⁻¹ de carbono.

Cuadro 14. Biomasa y carbono en árboles muertos en pie y árboles muertos caídos dentro de los sistemas BMS y TMS.

Sistema	Aporte	Árbol muerto en pie (t.ha ⁻¹)	Árbol muerto caído (t.ha ⁻¹)
BMS	Biomasa	6.68	6.22
TMS		1.38	0.79
BMS	Carbono	3.01	2.8
TMS		0.62	0.36

4.2.4. Biomasa y carbono en herbácea/arbustiva y hojarasca

En el Cuadro 15 se observa los resultados de la prueba t para la biomasa y carbono herbáceo acumulado. Muestra que no existe diferencia significativa (p -valor = 0.4642) a un 5% de nivel de significancia, se aprecia mayores reservas en BMS con 0.41 t.ha⁻¹ de biomasa y 0.19 t.ha⁻¹ de carbono a diferencia del sistema TMS que posee 0.29 t.ha⁻¹ de biomasa y 0.13 t.ha⁻¹ de carbono.

Por otro lado los resultados de la prueba t para la biomasa y carbono en hojarasca, muestra que no existe diferencia significativa (p -valor=0.5010) a un 5% de nivel de significancia, obteniendo mayores reservas el sistema TMS con 8.70 t.ha⁻¹ de biomasa y 3.92 t.ha⁻¹ de carbono en comparación al sistema BMS que tiene 7.41 t.ha⁻¹ de biomasa y 3.33 t.ha⁻¹ de carbono.

Cuadro 15. Biomasa y carbono en herbácea/arbustiva y hojarasca de dos sistemas de cultivo BMS y TMS. (n=3; promedio \pm error estándar).

Sistema de cultivo	n	Biomasa	Carbono
	n	Herbácea (t/ha)	Herbácea (t/ha)
BMS	3	0.41 \pm 0.10 a	0.19 \pm 0.05 a
TMS	3	0.29 \pm 0.11 a	0.13 \pm 0.05 a
<i>p - valor</i>			0.4642
	n	Hojarasca (t/ha)	Hojarasca (t/ha)
TMS	3	8.70 \pm 1.61 a	3.92 \pm 0.18 a
BMS	3	7.41 \pm 0.70 a	3.33 \pm 0.15 a
<i>p - valor</i>			0.5010

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$), según prueba de Duncan.

4.2.5. Biomasa y carbono total sobre el suelo

En el Cuadro 16 y Figura 15 se presentan los componentes estudiados para la biomasa y carbono sobre el suelo (árboles vivos, árboles muertos en pie, árboles muertos caídos, herbácea/arbustivas y hojarasca). Se aprecia el total de biomasa y carbono sobre el suelo, que es 150.16 t.ha⁻¹ de biomasa para BMS y 63.18 t.ha⁻¹ de biomasa para el TMS, y de la misma forma con reservas de 67.59 t.ha⁻¹ de carbono para el BMS y con t.ha⁻¹ de carbono para el TMS.

Cuadro 16. Biomasa y carbono almacenado sobre el suelo de dos sistemas de manejo con cacao.

Aporte	Sistema de cultivo	Componente					Total (t.ha ⁻¹)	
		Árboles vivos	Árboles Cacao muertos en pie	Árboles muertos caídos	Herbácea/ arbustiva	Hojarasca		
Biomasa	BMS	114.7	14.74	6.68	6.22	0.41	7.41	150.16
	TMS	37.9	14.12	1.38	0.79	0.29	8.7	63.18
Carbono	BMS	51.63	6.63	3.01	2.8	0.19	3.33	67.59
	TMS	17.06	6.35	0.62	0.36	0.13	3.92	28.44

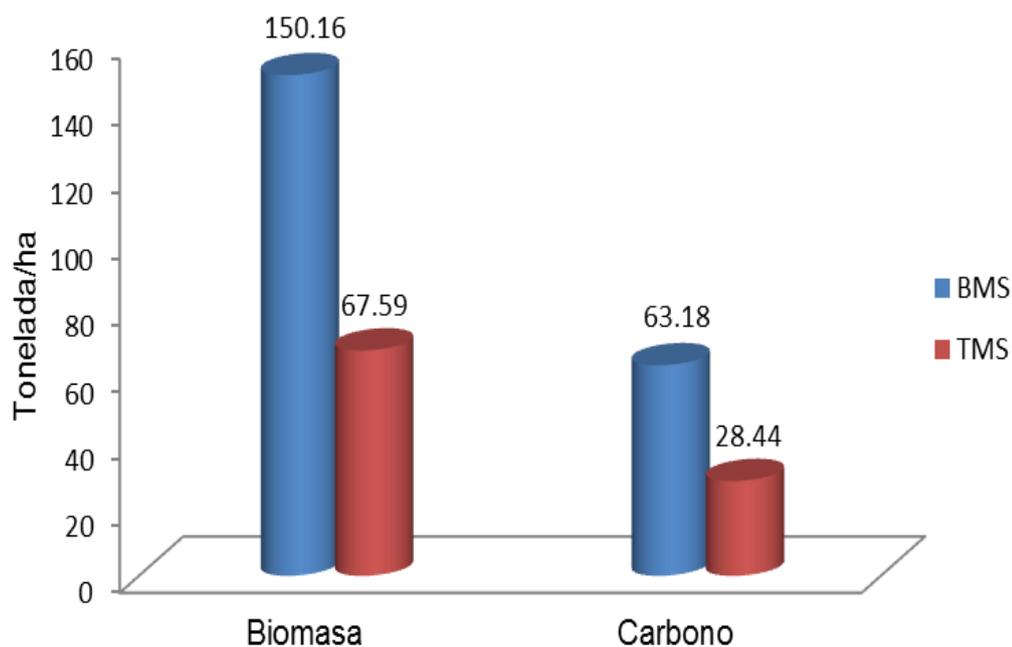


Figura 15. Biomasa y carbono total sobre el suelo en dos sistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.).

4.3. Biomasa y carbono orgánico del suelo

En el cuadro 17 y la Figura 16, se aprecia el porcentaje de materia orgánica, la densidad aparente y las reservas de carbono orgánico del suelo (COS). Según la prueba de t, no se encontró diferencia estadística entre los sistemas, pero en cuanto a reservas de COS, el sistema BMS es superior con 92.05 t.ha^{-1} con respecto al sistema TMS que posee 91.75 t.ha^{-1} de COS.

Se observa una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica (%) y el COS (t.ha^{-1}). En ambos sistemas se observa que dichos valores son mayores en los primeros 20 centímetros de profundidad teniendo 3.50% de materia orgánica y 51.10 t.ha^{-1} de COS en el BMS y 3.36% de materia orgánica y 48.9 t.ha^{-1} de COS en el TMS; esta situación se revierte hacia los 40 y 60 centímetros de profundidad.

Por otro lado ocurre lo contrario en la densidad aparente del suelo, ya que en los primeros 20 centímetros tiene un valor mucho menor en comparación con las profundidades de 40 y 60 centímetros.

Cuadro 17. Materia orgánica, densidad aparente y carbono orgánico del suelo (COS) a tres profundidades (Media \pm error estándar).

Profundidad del Horizonte (cm)	Sistema de Cultivo	Materia Orgánica (%)	Densidad Aparente (gr/cm³)	Carbono Orgánico del Suelo (t.ha⁻¹)
0 - 20	BMS	3.50 \pm 0.18 a	1.27 \pm 0.02 a	51.10 \pm 2.06 a
	TMS	3.36 \pm 0.17 a	1.28 \pm 0.02 a	48.90 \pm 2.25 a
	p - valor	0.5753	0.9488	0.4751
20 - 40	BMS	1.54 \pm 0.06 a	1.39 \pm 0.02 a	24.74 \pm 0.86 a
	TMS	1.59 \pm 0.08 a	1.39 \pm 0.03 a	25.66 \pm 1.26 a
	p - valor	0.6392	0.9703	0.5496
40 - 60	BMS	1.00 \pm 0.06 a	1.41 \pm 0.03 a	16.21 \pm 0.90 a
	TMS	1.07 \pm 0.04 a	1.42 \pm 0.02 a	17.19 \pm 0.86 a
	p - valor	0.3555	0.0866	0.4388
0 - 60	BMS			92.05 \pm 2.69 a
	TMS			91.75 \pm 3.76 a
	p - valor			0.3845

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$), según prueba de Duncan.

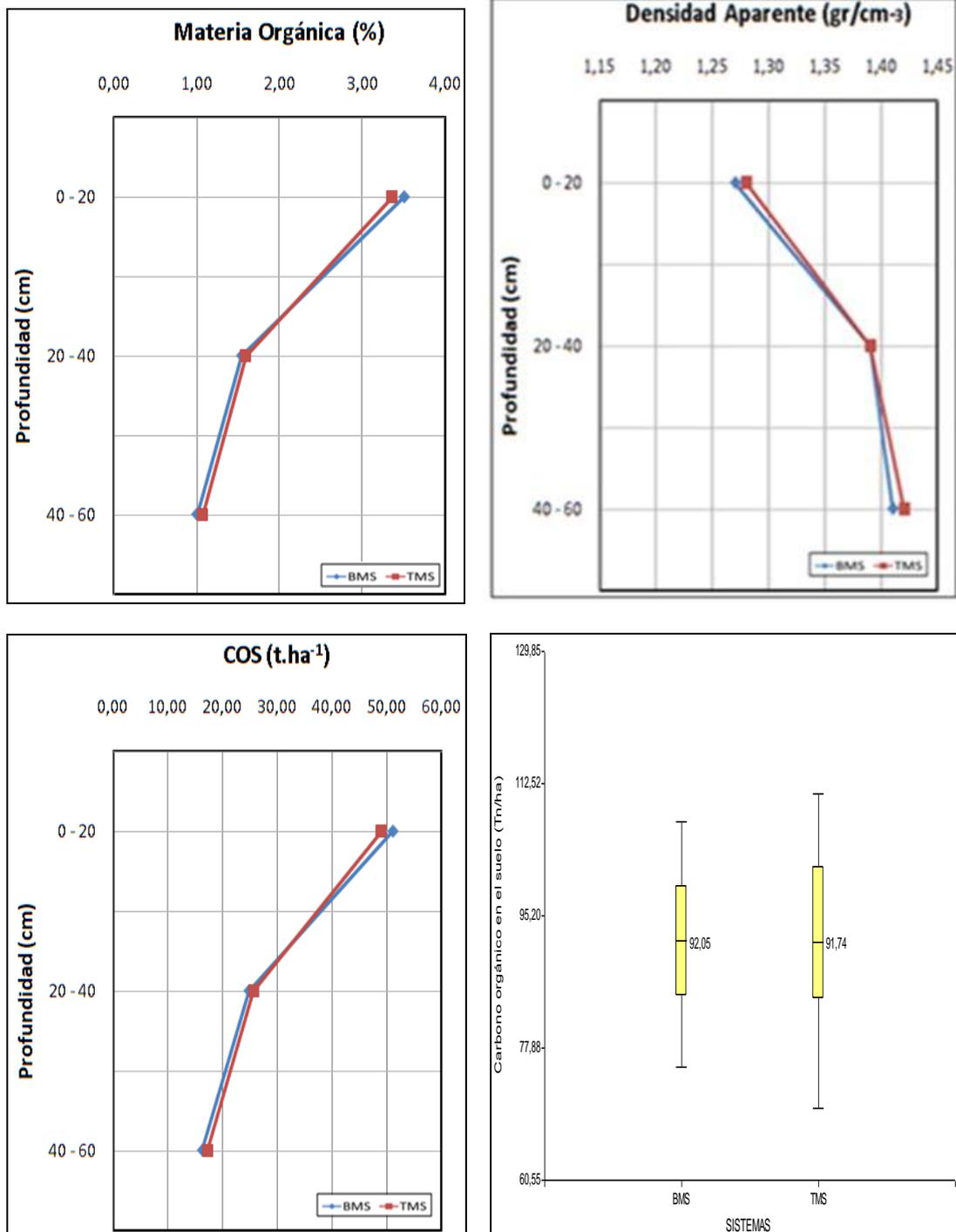


Figura 16. Materia orgánica del suelo (%) evaluada a tres profundidades (a); densidad aparente (g/cm³) en tres profundidades (b); Carbono orgánico del suelo (t.ha⁻¹) en tres profundidades (c); boxplot del carbono orgánico del suelo (t.ha⁻¹) en dos sistemas de cultivo (d).

4.4. Relación de las reservas de carbono total sobre el suelo y carbono orgánico del suelo

En el Cuadro 18 y Figura 17 se muestra que para el sistema de manejo en bosque (BMS), el contenido de carbono sobre el suelo representa un 42.34%, mientras que para el sistema de manejo tradicional (TMS) solo representa un 23.66% del carbono total. El mayor porcentaje de carbono de ambos sistemas se encuentra en el carbono orgánico del suelo que va desde 57.66% a 76.34% del carbono total del sistema BMS y TMS respectivamente.

Por otro lado se aprecia las reservas totales en cada sistema, la cual es el resultado de la sumatoria del carbono sobre el suelo y carbono en el suelo (COS); y observamos que el sistema de manejo en bosque (BMS) es superior con 160 t.ha⁻¹ de carbono, con respecto al sistema tradicional (TMS) que posee 120 t.ha⁻¹ de carbono.

Cuadro 18. Carbono total sobre el suelo y carbono orgánico del suelo en dos sistemas.

Sistema de cultivo	Carbono total sobre el suelo (CBV) (t.ha ⁻¹)		Carbono orgánico total del suelo (COS) (t.ha ⁻¹)		Carbono total (t.ha ⁻¹)
	(t/ha)	%	(t/ha)	%	
	BMS	67.59	42.34	92.05	
TMS	28.44	23.66	91.75	76.34	120

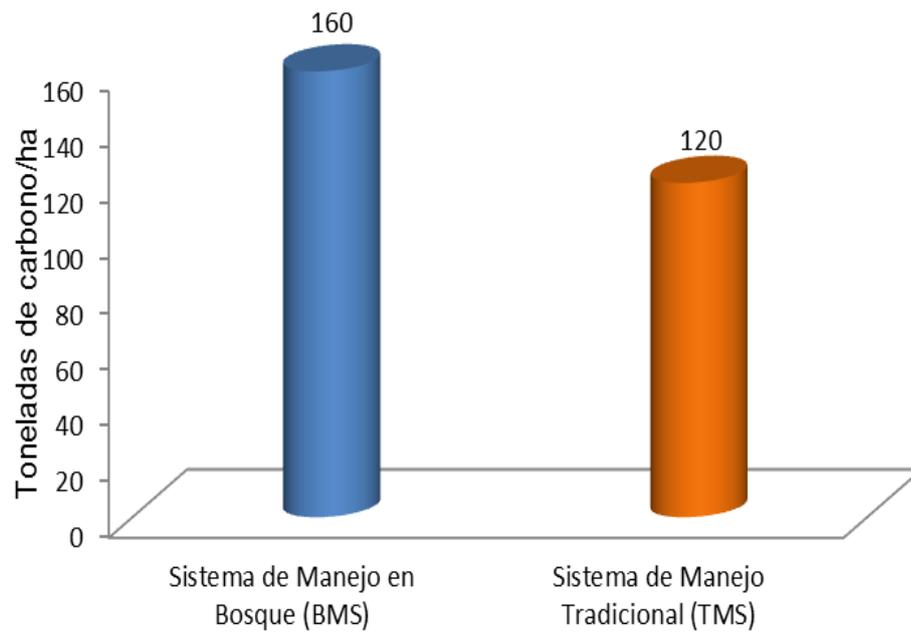


Figura 17. Carbono total en dos sistemas de manejo con cacao.

V. DISCUSIÓN

5.1. Inventario de especies forestales espontáneas e introducidas, en los sistemas BMS y TMS

En el Cuadro 7 se observa la riqueza de especies del sistema BMS, dichas especies poseen múltiples beneficios; existen arboles medicinales, ornamentales, recuperadores de suelos y aguas, arboles semilleros y especies con gran valor en la construcción. Estas especies por ser propios de la zona no requieren de muchos cuidados para su crecimiento como el lagarto caspi, yacushapana, ojú, indano, etc., y especies selectivas de valor comercial como la caoba, cedro, tornillo, cumala que se encuentran perturbados por la extracción tradicional (INRENA, 1996). Así mismo (INADE, 2002) en inventarios forestales realizados anteriormente en la zona de San Martín, encontraron las especies Tornillo, moena amarilla, pino chuncho, huayruro, topa, bolaina, entre otros.

En caso de madera, las especies forestales introducidas, son de excelente calidad y gran durabilidad, semidura y semipesada; son muy trabajables y tienen amplio mercado en el Perú para construcción, carpintería y ebanistería, la cual al momento de aprovechar se convertirán en muebles y el carbono presente en la madera se almacenará por mucho más tiempo (REYNEL *et al.*, 2003); por otro lado las especies forestales maderables

generan ingresos económicos para el productor por la venta de madera (LOPEZ *et al.*, 2002).

Por otro lado, tienen la capacidad de fijar nitrógeno al suelo (Cuadro 8), por parte de la guaba que beneficia al cultivo establecido mejorando la calidad de su suelo. Otros beneficios como la obtención de postes y parquet de las especies de alta densidad, machiembrado y ebanistería de las especies de densidad media.

5.2. Carbono sobre el suelo (biomasa vegetal vivo y muerto, herbácea y hojarasca) en dos sistemas de cultivo

Las variables biomasa y carbono al ser concomitantes, guardan semejante relación porcentual, por lo mismo, las reservas totales de biomasa y carbono sobre el suelo lo conforman los árboles vivos y muertos, la herbácea/arbustiva y hojarasca. En consecuencia, las reservas de carbono de las especies forestales (espontaneas e introducidas) en el sistema BMS son mayores al sistema TMS, además que también posee mayor cantidad de árboles muertos caídos y en pie (Cuadro 14). El BMS contiene 51.63 t.ha^{-1} de carbono, similares resultados se obtuvieron en las especies forestales de un sistema de pastos (*Paspalum conjugatum* Berg.) de 10 años, en el sector Los Milagros en Tingo María, con 54.28 t.ha^{-1} (YQUISE, 2008), por lo que se puede decir que en pastos el carbono almacenado se incrementa cuando se incorpora el componente arbóreo, en muchos casos, superando a los bosques secundarios (TRUMBMORE *et al.*, 1995; BALESIDENT *et al.*, 2000).

Menores reservas se obtuvieron para el sistema TMS que posee 17.06 t.ha⁻¹ de carbono, sin embargo en un sistema tradicional de la zona de Aucayacu, en la especie *Inga edulis* Mart. de un SAF con *Theobroma cacao* L. de 8 años, se obtuvieron 30.77 t.ha⁻¹ de carbono (YQUISE, 2008), lo cual es casi el doble, comparado a los resultados en la presente investigación, razón que se le puede atribuir, es la diversidad de especies introducidas que existe en el TMS las cuales aun están en crecimiento. Por lo que, SALGADO (2004), FONAM (2005), manifiesta que la capacidad de captura y almacenamiento de carbono depende de las especies empleadas, densidad de los plantación, manejo silvicultural, condiciones ecológicas, calidad de sitio y posibles fugas.

Para el componente cacao (Cuadro 11) se observa que el sistema BMS es superior, con 6.63 t.ha⁻¹ de carbono con respecto al sistema TMS que posee 6.35 t.ha⁻¹; lo que significa un 4.2% de diferencia. Resultados contrarios obtuvieron el Instituto de Cultivos Tropicales en relación a la biomasa de cacao (*Theobroma cacao* L.) en estas parcelas, se determinó que la mayor cantidad de carbono almacenado en cacao se presenta en el sistema tradicional (TMS) con 4.87 t.ha⁻¹ de carbono y menor cantidad en el sistema de manejo en bosque (BMS) con 3.01 t.ha⁻¹ de carbono; ello significa un 38.28% de diferencia (ICT, 2009). Este resultado se le atribuye a la relación directa en razón al índice de radiación fotosintéticamente activa (ICT, 2009). Esta diferencia también puede atribuirse a la edad de las plantas, ya que existe áreas donde el cacao no ha prosperado desde su establecimiento y se tuvo que realizar recalces. Al respecto, CALLO – CONCHA *et al.* (2001) y NORBERTO (2006) afirman que los ecosistemas que almacenan más carbono en la biomasa vegetal son los de

mayor edad, puesto que suelen preservar individuos mayores y consecuentemente más robustos y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa.

Otro causa también puede ser la reacción del suelo, ya que estas parcelas tienen una variación de pH desde 4.2 hasta 8.4, que ha permitido o no un crecimiento adecuado de la especie *Theobroma cacao* L. (cuyo pH óptimo es de 6.0 a 6.5) y valores más bajos o más altos causan problemas de toxicidad e inhibición que puede generar muerte de la planta (ICT, 2010).

Al comparar los 44 genotipos de cacao, se encontró tres grupos (Cuadros 12, 13 y Figura 15), donde: el grupo 1 y 2 corresponde a zonas donde existen suelos rocosos y el cacao tuvo problemas de crecimiento, entonces se realizó recalces y por ende posee menor edad. Y el grupo 3, que corresponden a áreas donde el cultivo no tuvo problemas en su crecimiento y desarrollo y por ello tiene mayor edad. Estos resultados nos confirman que la acumulación de carbono está en función de la edad de las plantas, tipo de suelos, manejo agronómico y condiciones climáticas óptimas para el cacao. Como menciona LAPEYRE *et al.* (2004), que los niveles de carbono presentan una alta dispersión entre zonas, debido a la variabilidad innata de los sistemas y del suelo en que se desarrollan. Mientras que, FONAM (2005) afirma que el potencial de almacenamiento de carbono varía considerablemente dependiendo del clima, condiciones de suelo y manejo de los sistemas.

Para las reservas de carbono herbáceo/ arbustivo, se observa que es el componente de menores reservas, en comparación a los demás, con 0.19 t.ha⁻¹ para el BMS y 0.13 t.ha⁻¹ para el sistema TMS (Cuadro 15). Similares resultados se obtuvo en un sistema agroforestal de cacao (6 años) con capirona y bolaina (7 años) en Mariscal Cáceres-Pajarillo, donde se encontró 0.22 t.ha⁻¹ (LARREA, 2007). Sin embargo el Instituto de Cultivos Tropicales encontró resultados contrarios, con 0.42 t.ha⁻¹ de carbono para el TMS y de 0.41 t.ha⁻¹ de carbono para el BMS. Las bajas y similares contribuciones de reservas de carbono, podría deberse a que en ambos sistemas se introdujo la cobertura viva *Callisia repens* L. (ICT, 2009).

Para las hojarascas, el sistema TMS fue superior con 3.92 t.ha⁻¹ de carbono con respecto al BMS que posee 3.33 t.ha⁻¹ de carbono (Cuadro 15). En similares investigaciones se encontró valores de 1.58 t.ha⁻¹ de carbono para el sistema BMS, y 1.45 t.ha⁻¹ de carbono en el TMS (ICT, 2009). Estos resultados son menores y contrarios a los obtenidos en la presente investigación. Los factores que podrían estar influyendo en la acumulación de hojarascas son el manejo agronómico (podas), en índice de (FAR) que permite el mayor desarrollo del cacao. Sin embargo, el carbono en la hojarasca es un componente pequeño en términos de biomasa, esto hace que, normalmente, su inclusión sea discrecional (CHIDIAK *et al.*, 2006). Pero, la hojarasca, ramas y restos de cortas juegan un papel preponderante, puesto que, se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá

convirtiéndose en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono (IPCC, 2003).

5.3. Carbono orgánico del suelo (COS) en dos sistemas de cultivo

Las reservas de COS son mayores en la primera profundidad (Cuadro 17), para ambos sistemas BMS y TMS (51.10 t.ha⁻¹ y 48.90 t.ha⁻¹ respectivamente), luego disminuye progresivamente. Sin embargo el carbono total a tres profundidades tuvo una corta diferencia con 92.05 t.ha⁻¹ para BMS y t.ha⁻¹ para TMS.

Estas diferencias, puede atribuirse a la cantidad y densidad de especies forestales que conforman el sistema BMS. En trabajos similares KSTATE (2006), afirma que los suelos que se forman bajo bosques tienden a acumular altos niveles de COS próximos a la superficie y tienen niveles de carbono más bajos en el subsuelo. Por lo que CATRIONA (1998), manifiesta que los sumideros de COS de los diferentes ecosistemas tropicales, varían entre 60 y 115 t.ha⁻¹, rango dentro del cual se ubica, los resultados del presente trabajo.

Otro motivo de diferencia puede ser la textura del suelo, ya que los suelos con mayor arcilla corresponden al BMS, mientras que el TMS posee suelos arenosos y rocosos en gran parte de su área. Por lo que ASB (1999), menciona que el factor que modifica significativamente los tenores de carbono, es la textura del suelo. Especialmente los suelos con alto contenido de arcilla (como las montmorillonitas), tienen la propiedad de estabilizar la materia

orgánica, evitando su rápida descomposición y por lo tanto acumula por mayor tiempo el carbono, puesto que en capas arenosas, al igual que en capas con arcilla caolinita faltan sitios de absorción y no es imposible la estabilización del carbono (JANDI, 2001).

Otro factor que puede marcar diferencias es el manejo de los suelos ya que el carbono en el suelo disminuye cuando los sistemas de bosque primario son cambiados a otro uso; esto se explica porque, existe una pérdida de materia orgánica del suelo debido a un aumento de actividad microbiana y la descomposición (CHAPIN *et al.*, 2002). Razón por la cual, CALLO – CONCHA *et al.* (2001); ALEGRE *et al.* (2002); FAO (2002); DELANEY (2005) y LOGUERCIO (2005) afirman que los ecosistemas forestales y agroforestales, almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa vegetal y en el suelo.

5.4. Relación de las reservas de carbono sobre el suelo y carbono orgánico del suelo

La relación existente entre el contenido de carbono en los sistemas evaluados con respecto al carbono sobre el suelo y carbono orgánico del suelo son diferentes; mientras que en el BMS el carbono sobre el suelo representa un 42.34% del carbono total del sistema, en el TMS solo representa el 23.66%. Los mayores porcentajes de carbono se encuentran en el suelo, con el 57.66% y el 76.34% del carbono total de los sistemas BMS y TMS respectivamente.

Por lo que la relación de las reservas de carbono sobre el suelo va ascendiendo hasta valores cercanos al 50% es decir, conforme la biomasa aérea se incrementa se va equilibrando con el carbono del suelo hasta que se equilibra y muchas veces lo supera (YQUISE, 2008). Es decir, en los sistemas de menor edad, el mayor aporte de carbono corresponde al edáfico. Mientras que, los sistemas de mayor edad, los valores de carbono sobre el suelo van ascendiendo con los años hasta equilibrarse o superar al edáfico.

La diferencia en reservas de carbono existente entre ambos sistemas está dada mayormente por las especies arbóreas, que acumulan mayor biomasa en el BMS. El bosque secundario donde se instaló el cacao no fue intensivamente disturbado y tampoco se realizó el rozo y la quema a diferencia del TMS; ya que estos factores de rozo y quema (RQ) ha sido reportado como una de las formas más significativas de pérdidas de biomasa vegetal (NYE y GREENLAND, 1960; EWEL *et al.*, 1981; KAUFFMAN *et al.*, 1995). Por el contrario, se realizó un rozo selectivo tratando de ralea el bosque a fin de aprovechar la sombra natural existente requerido por el cultivo principal-cacao (BEER *et al.*, 1998; citados por ICT, 2006) a su vez reduciendo el impacto ambiental, conservando la biodiversidad de flora como de fauna y atribuyendo belleza paisajística.

VI. CONCLUSIONES

1. Las especies espontáneas del sistema de manejo en bosque (BMS) encontradas fueron 273 plantas, de las cuales las más abundantes son: 30 plantas de goma caspi (*Vochysia haenkeana* Mart), 26 de copalillo (*Protium aracouchini* Aubl), 20 de ingaina (*Myrsine oligophylla* Zalbruckner), 20 de sacha copal (*Protium* sp.), 16 de yacushapana negra (*Terminalia oblonga*), 15 de quillo casha (*Zanthoxylum caribacum*), 12 de fapina (*Cupania latifolia*), 11 de ocuera amarilla (*Pollalesta* sp.) y 10 de bellaco caspi (*Himatanthus sucuuba* Spruce). Las especies introducidas fueron 106 plantas de paliperro (*Vitex pseudolia*), 101 de capirona (*Calycophyllum spruceanum*), 43 de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) y 17 de pumaquiro (*Astilosperma macrocarpum*); haciendo un total de 540 plantas en todo el sistema (espontáneas e introducidas)

Las especies introducidas del sistema de manejo tradicional (TMS) encontradas fueron 437 plantas, de donde: 104 plantas son de guaba (*Inga edulis* Mart.), 103 de paliperro (*Vitex pseudolia*), 100 de capirona (*Calycophyllum spruceanum*), y 35 de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke).

2. Dentro del sistema de manejo de bosque (BMS), se determinó 67.59 t.ha⁻¹ de carbono sobre el suelo; que comprende: en el componente forestal fue de 51.63 t.ha⁻¹, en los árboles muertos en pie fue de 3.01 t.ha⁻¹, en los árboles muertos caídos fue de 2.8 t.ha⁻¹, en el componente cacao fue de 6.63 t.ha⁻¹, la parte herbácea alcanzó 0.19 t.ha⁻¹ y hojarascas con 3.33 t.ha⁻¹.

Dentro del sistema de manejo tradicional (TMS), se determinó 28.44 t.ha⁻¹ de carbono sobre el suelo; que comprende: en el componente forestal introducido fue de 17.06 t.ha⁻¹, para los árboles muertos en pie fue de 0.62 t.ha⁻¹, en los árboles muertos caídos fue de 0.36 t.ha⁻¹, en el componente cacao fue de 6.35 t.ha⁻¹, la parte herbácea con 0.13 t.ha⁻¹ y hojarascas con 3.92 t.ha⁻¹.

3. Se determinó las reservas de carbono orgánico del suelo, que están distribuidas en 92,05 t.ha⁻¹ para el sistema de manejo en bosque (BMS) y 91,75 t.ha⁻¹ para el sistema de manejo tradicional (TMS).
4. El contenido de carbono orgánico del suelo está en relación directa con el contenido de carbono sobre el suelo. Y es así como se observa que existe diferencia estadística entre ambos sistemas, con un total de 160 t.ha⁻¹ y 120 t.ha⁻¹ de carbono en los sistemas BMS y TMS respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- Siendo los suelos muy variables, es necesario continuar con la evaluación de biomasa en otros sectores agroforestales con la finalidad de tener una estimación más exacta.
- Realizar trabajos similares utilizando distintas metodologías que permitan la comparación a nivel regional y nacional, permitiendo dar mayor validez a los resultados obtenidos en cada tipo de sistema de manejo con el cultivo de cacao.
- Sociabilizar los resultados de la presente investigación a fin de incentivar el cultivo en forma asociada con árboles forestales con el fin de conservar la biomasa y mitigar la contaminación ambiental.

VIII. ABSTRACT

DETERMINATION OF CARBON STOCKS IN TWO CROPPING SYSTEMS WITH 44 GENOTYPES OF CACAO (*Theobroma cacao* L.) IN SAN MARTÍN

For the purpose of determining the carbon reservoir on the ground, in the soil, the floristic composition; an investigation was conducted in two farming systems (agroforestry, with forest management BMS and traditional management TMS) fortified with 44 genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Banda Schilcayo-San Martin, Perú. The variables evaluated were: biomass and carbon on the soil, soil organic carbon, total carbon and inventory of tree species. For the component cocoa design was a completely randomized block in divided plots with three repetitions, where experimental plot corresponds to the system and the sub-plot, the genotypes; and biomass estimation was based on an equation allometric relationship (LARREA, 2007). For the other components are used the methodology on the basis of the manual for the determination of the total reserves of carbon in the different systems of land use in Peru (AREVALO *et al.* 2003) And for the comparisons used the t-test for the inference based on two samples.

In the system BMS with cocoa, the amount of carbon stored in the air part was 67.59 t.ha⁻¹ (42.34%) and in the soil of 92.05 t.ha⁻¹ (57.66%), reached in total 160 t.ha⁻¹ and in the system TMS with cocoa, the amount of

carbon stored in the air part was 28.44 t.ha⁻¹ (23.66%) and in the soil of 91.75 t.ha⁻¹ (76.34%), determining a total of 120 t.ha⁻¹.

So, carbon stocks stored in systems which are less disturbed (forests raleado) are greater than the of systems with greater disturbance (rozo, tomb, burning). In addition, the production of carbon is a function of the age of the systems (LARREA, 2007), the density and type of association between the agricultural and forest industries.

Key word: Cocoa, agroforestry system, biomass, carbon.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E., MARTINEZ, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. En Acevedo, E.: Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8-13 p.
- AGGARWAL, P., CHOUDHARRY, K., SINGH, A., CHAKRABORTY, D. 2006. Variation in soil strength and rooting characteristics of wheat in relation to soil management. Geoderma. 136 p.
- AGUILERA, S.M. 2000. Importancia de la Protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección del Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. 77-85 p.
- ALEGRE, J., AREVALO, L., RICSE, R. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. ICRAF/INIA. Perú. [En línea]: Virtual centre, (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>, documentos, 18 Ago. 2011).
- ARÉVALO, L., PALM, C., ALEGRE, J. 2003. Manual de determinación de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. ICRAF, CODESU, INIA e INRENA.

- ARSHAD, M., FRANZLUEBBERS, A., AZOOZ, R. 2004. Surface-soil structural properties under grass and cereal production on a Mollic Cyroboralf in Canada. *Soil till.* 77 p.
- ASB. 1999. Climate Change Working Group Final Report, Phase I. Carbon Sequestration and Trace Gas Emissions in Slash and Bum and Alternative Land Used in the Humid Tropics. Nairobi, Kenya. 35 p.
- BALESDENT, J., CHENU, C., BALABANE, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage, *Soil and Tillage Research.* 215 p.
- BARTRA. 2009. Caracterización preliminar morfológica y de productividad de 42 genotipos promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.) colectados en la Cuenca del Huallaga – San Martín. Universidad Nacional de San Martín. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Tarapoto, Perú. 22 p.
- BEER, J., MUSCHLER, R., KASS, D., SOMARRIBA, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- BIBLIOTECA VIRTUAL WIKIPEDIA. 2007. Ciclo del carbono. [Em línea]: Wikipedia, (http://www.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_carbono, documento, 25 Jul. 2011).
- BORIE, G., AGUILERA, S., PEIRANO, P. 1999. Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola.* 29 - 32.

- CALLO – CONCHA, D., CRISHNAMURTHY, L., ALEGRE, J. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonía del Perú. Simposio Internacional Monitoreo de la Captura de Carbono en ecosistemas Forestales del 18 al 20 de octubre del 2001. Valdivia, Chile. 23 p.
- CARRASCO, M. 1992. El suelo como sistema químico. Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Miscelaneas Agrícolas N 38, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 345 p.
- CASTRO, R., CORDERO, S., ACEVEDO, C. 2002. Casos latinoamericanos de cambio climático y desarrollo. San José: Copeico de San Pedro 320: 63.
- CATRIONA, P. 1998. Actualidad forestal tropical. Boletín de manejo forestal producido por la Organización de Maderas Tropicales para fomentar la conservación y el manejo sostenible de los recursos forestales tropicales en la región de América Latina y el Caribe (Japón). 6 (4): 31.
- CAVELIER, J., MITCHELL, T., DUPUY, J., EUSSE, A., SANTOS, C. 1999. Efectos de largo plazo de la deforestación en las propiedades de los suelos y la vegetación en un bosque de tierras bajas en Colombia. [En línea]: Ecotrópicos, (<http://ecotropicos.saber.ula.ve>., documentos, 29 Oct. 2011).
- CEDISA. 2003. Experiencias agroforestales en el Cumbaza – San Martín. Tarapoto, Perú. 27 p.

- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). 2008. Guía para el diseño de proyectos MDL forestal y de bioenergía. Turrialba, Costa Rica. 29 p.
- CENTRO MUNDIAL AGROFORESTAL (ICRAF). 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. 12 p.
- CENTRO MUNDIAL AGROFORESTAL (ICRAF). 2010. ICRAF en Perú: Estableciendo Raíces en la Amazonía. Perú. Boletín informativo. 1(2): 10.
- CHAPIN, F.S., MATSON, P.A., MOONEY, H.A. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer – Verlag. New York. 436 p.
- CHIDIAK, M., MOREYRA, A., GRECO, C. 2006. Captura de carbono y desarrollo forestal sustentable en la Patagonia-Argentina: Sinergias y Desafíos. CENIT-CEPAL-UDESA. LC/BUE/R.255. Buenos Aires, Argentina. 136 p.
- COMISIÓN ECÓNOMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE Y BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (CEPAL Y BID). 2010. Cambio climático una perspectiva regional. Cumbre de la Unidad de América Latina y el Caribe. Riviera Maya (México). 33 p.
- CONAM. 2001. Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima, Perú.

- DELANEY, N. 2005. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial de carbono. [En línea]: FONDEF, (<http://www.fondef.cl/bases/fondef/proyecto.html>, documentos, 26 Set. 2011).
- DEXTER, A., CZYZ, E., GATE, O. 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res.* 412 p.
- EWEL, J., BERISH, C., BROW, B., PRICE, N., RAICH, J. 1981. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. *Ecology* 62: 816-829.
- FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE (FONAM). 2005. Boletín CO₂ Comercio. Dedicado a informar sobre las oportunidades del mercado de carbono. FONAM/CONAM/Embajada de los Países Bajos/. [En línea]: FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guiaMDL.pdf>, documentos, 15 Mar. 2011).
- FORTÍN, M., ROCHETTE, P., PATIEY, E. 1996. Carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. *Soil Sci.* 60 p.
- FUJISAKA, S., CASTILLA, C., ESCOBAR, G., RODRIGUEZ, B., VENEKLAAS, E., THOMAS, R., FISHER, M. 1998. The effects of forest conversion on annual crops or pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agric. Ecosyst. Environ.* 69: 17-26.

- HASMA, O., ANDERSON, J. 2005. Plant litter quality and decomposition: and historical overview. In: Driven by nature: plant litter quality and decomposition. CAB International, Eallingford, UK. pp 3-30.
- ICCO. 2002. Organización Internacional del Cacao – Informe Anual. Londres, Reino Unido.
- INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO (INADE). 2002. Macrozonificación ecológica – económica de Condorcanqui – Imaza. Volumen I. Lima, Perú.
- INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT). 2006. Biomasa y carbono almacenado en un sistema de manejo mejorado de cacao en la Selva Alta Peruana. Tarapoto, Perú.
- INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT). 2009. Cuantificación de la biomasa y la reserva de carbono en dos sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la estación experimental El Choclino. Investigación Agroforestal. Tarapoto, Perú.
- INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT). 2010. Avances de investigación, manejo de suelos en sistemas agroforestales. Expositor: Zúñiga L. Diapositiva 16.
- INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT). 2010. Manual técnico para la producción de cacao orgánico. Instituto de Cultivos Tropicales-ACOPAGRO. Tarapoto, Perú. 40 p.

- INSTITUTO NACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES (INRENA). 1996. 2003. Monitoreo de la Deforestación en la Amazonia Peruana. Lima, Perú.
- INSTITUTO NACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES (INRENA). COOPERACIÓN TÉCNICA DE FINLANDIA – INDUFOR. 2001. Lineamientos para la Gestión Forestal.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2000. Land Use, land-use change, and forestry special report. Cambridge University Press. 377 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. [En línea]: Ipcc, (<http://www.ipcc-nggip-iges.or.jp/>, documentos, 10 Oct. 2011).
- JANDI, R. 2001. Medición de tenencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria. 48 p.
- KAUFFMAN, J., CUMMINGS, D., WARD, D., BABBITT, R. 1995. Fire in the Brazilian Amazon: I Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forest. *Oecología* 104: 397-408.
- KANSAS STATE UNIVERSITY (KSTATE). 2006. El Carbono Orgánico del Suelo y el Ciclo Global del Carbono. Kansas State University y Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.

Carbon series. Department of Agronomy. [En línea]: OZNET, (<http://www.oznet.ksu.edu>, documentos, 16 Oct. 2011).

KRULL, E., SKJEMSTAD, J., BALDOCK, J. 2004. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains Research y Development Corporation report N° COS 00029.

KULLI, B. 2002. Analysis of flow patterns. The influence of soil compaction and soil structure on the infiltration pathways of dye tracer solutions and the quantitative evaluation of flow patterns. Thesis for the degree of doctor of Natural Sciences. Swiss Federal Institute of Technology. 109 p.

LAPEYRE, T., ALEGRE, J., AREVALO, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú In: Ecología Aplicada 3(1,2): 35-44.

LARREA, G. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. y determinación de la ecuación alométrica para el cacao. Tesis de Ingeniera Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 80 – 85 p.

LOGUERCIO, G. 2005. Cambio Climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. Secretaria Académica – CIEFAP. [En línea]: CIEFAP, (www.ciefap.org.ar/novedades/notas/nota1/default.html, documentos, 30 Abr. 2011).

- LOPEZ, A., SCHLONVOIGT, A., IBRAHIM, M., KLEINN, C., KANNINE, M. 2002. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona de Costa Rica. *Revista Agroforestería en las Américas*. Costa Rica. 95 p.
- MARTINEZ, E. 2001. Manual de quemas controladas, el manejo del fuego en la prevención de incendios forestales. España, Mundi Prensa. 175 p.
- MARTINEZ, E., FUENTES, P., ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *SciELO* 8(1): 68-96.
- MINAG. 2007. Caracterización de las zonas productoras de cacao en el Perú.
- NORBERTO, C. 2006. Metodologías para el análisis costo-beneficio de usos del suelo y fijación de carbono en sistemas forestales para el mecanismo de desarrollo limpio. Proyecto Forestal de Desarrollo (SAGPyA/BIRF). Buenos Aires, Argentina. 20 p.
- NYE, P., GREENLAND, D. 1960. The soil under shifting cultivation. *Tech. Commun. N° 51*. Commonwealth Agric. Bur., Harpenden, UK.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 2001. Soil carbon sequestration for improved and management. *World soil reports 96*. Roma. Italia. 58 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma, Italia. 96 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 2010. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Avances en la Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo en América Latina y el Caribe. PNUMA. Santiago de Chile, Chile. 80 - 83 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 2011. Situación de los Bosques en el Mundo. Roma, Italia. 19 - 20 p.

RAMIREZ, R., CADAVID, L., RIOS, J., TAMAYO, S. 2005. Efecto de la quema controlada en las propiedades de un Andisol ubicado en el corregimiento de Santa Elena.

REYES, J., MARTINEZ, E., SILVA, P., ACEVEDO, E. 2002. Labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile Central. Boletín N° 18. Sociedad chilena de la ciencia del suelo y Universidad de Talca. IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Talca, Chile. 78-81 p.

REYNEL, C., PENNINGTON, R.T., PENNINGTON, T.D., FLORES, C., DAZA, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana; un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Lima, Perú. 50 p.

SALGADO, L. 2004. El Mecanismo de Desarrollo Limpio en actividades de uso de la tierra, cambio de uso y forestería (LULUCF) y su potencial en la región Latinoamericana. División de Desarrollo Sostenible y

Asentamientos Humanos. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo.
Santiago de Chile, Chile. 84 p.

SANCHEZ, L. 2002. Reacción de cultivares de cacao a la inoculación artificial de *Moniliophthera roreri*. In. El cacaotero colombiano.

SEGURA, M., ANDRADE, H. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Agroforestería en las Américas 2008. Editorama S.A. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 91 p.

SOMARRIBA, E., VILLALOBOS, M., SUCRE, L., LOPEZ, M., TORRES, F., TORRES, A., RODRIGUEZ, K. 2008. El proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca. Agroforestería en las Américas 2008 N. Editorama S.A. CATIE. Costa Rica. 9 p.

SWIFT, R. 2001. Sequestration of carbon by soil. Soil Sci., 166 p.

TRUMBMORE, S., DAVIDSON, E., NEPSTAD, D., MARTINELLI, L. 1995. Belowground Cycling of Carbon in Forests and Pastures of Eastern Amazonia. Global Biogeochemical Cycles: [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>, documentos, 05 Ene. 2007).

UNFCCC. 2005. "The Mechanisms under the Kyoto Protocol: The Clean Development Mechanism, Joint Implementation and Emissions Trading".

[En línea]: Unfccc, (unfccc.int/Kyoto_protocol/mechanisms/items/1673. Documentos, 27 Jun. 2011).

WADE, D., LUNDSFORD, J. 1990. La quema como medio de ordenación forestal: el uso de quemas controladas en los Estados Unidos. En revista Unasyva. Vol 41. N° 162. FAO. 20-27 p.

WONG, M., GIBBS, P., NORTCLIFF, S., SWIFT, R. 2000. Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soil. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 134 p.

WRIGHT, A., HONS, F. 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. Soil Sci. Soc. Am. J., 69, 141 p.

YQUISE, A. 2008. Carbono Almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú. Tesis de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, mención Forestales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 77 p.

ANEXO

Anexo 1. Inventario total de especies forestales espontáneas en BMS

Cuadro 19. Riqueza de especie espontánea total encontradas en inventario forestal.

N. Científico	N. Común	Familia	DAP (cm) (prom.)	Altura (prom.)	Uso
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Ana caspi	Fabaceae	22	12.1	
<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce)	Bellaco caspi	Apocynaceae	21.7	8.82	
	Brea caspi		13	4.05	
<i>Guazuma crinita</i> Mart	Bolaina blanca	Sterculiaceae	16.2	10	
<i>Ficus</i> sp.	Came	Moraceae	18.4	8.25	Árbol dendrofaunístico
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro		4.5	2.25	muebles, construcción
	Cetico		35.1	12.57	
<i>Protium aracouchini</i> (aubl)	Copalillo	Burseraceae	28.1	11	
	Cumala colorada		15.1	7.22	
<i>Cupania latifolia</i>	Fapina	Sapindaceae	26.6	11	madera para aserrió
<i>Genipa americana</i> Mart.	Jagua	Rubiaceae	31.8	9.53	
<i>Vochysia haenkeana</i> Mart	Goma caspi	Vochysiaceae	28.8	11.3	
<i>Inga edulis</i> Mart.	Guaba	Mimosaceae	5	2.18	
<i>Schefflera morototoni</i>	Huarmi huarmi	Araliaceae	21.9	9	Moldadientes, palos de fósforo.
<i>Zanthoxylum sprucei</i>	Hualaja	Rutaceae	29	12.4	Madera liviana, muebles
<i>Ormosia coccinea</i>	Huayruro	Fabaceae	26	10	Lavados vaginales, carbón, leña.
<i>Birsonim schrysophylla</i>	Indano	Malpigiaceae	39.5	11.57	
<i>Myrsine oligophylla</i> Zalbruckner	Ingaina	Myrsinaceae	19.8	9.1	
<i>Duguetia</i> sp.	Lagarto pashaca	Fabaceae	34	19.76	
<i>Citrus aurantifolia</i>	Lima	Rutaceae	5.1	3.38	
	Llambo pashaca				
<i>Cassia</i> sp.	blanca	Caesalpinaceae	28.5	14.5	
<i>Mangifera indica</i>	Mango	Anacardiaceae	18.95	5.76	Medicinal, comestible
	Mapiche		9.3	3.87	
<i>Apeiba membranaceae</i>	Maquizapa ñaccha	Tiliaceae	34.5	8.85	
<i>Aniba amazónica</i>	Moena amarilla	Lauraceae	1.5	1.3	
<i>Nectandra</i> sp.	Moena blanca	Lauraceae	20.5	10.5	Madera para construcción.
	Ñallo caspi		20.5	10.72	
	Muyaca		13.2	5.65	
<i>Pollalesta</i> sp.	Ocuera amarilla	Asteraceae	25.68	10.91	Leña, contiene bastante agua.
<i>Ficus althiellimintica</i>	Ojé	Moraceae	80.8	19	Doctor del bosque, vermífugo
<i>Persea</i> sp.	Palta moena	Lauraceae	24.8	10.5	muebles de buena calidad
	Pashaca blanca		33.5	14.5	
<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber	Pino chuncho	Fabaceae	43.4	17.2	Madera blanca para aserrió
		Fabaceae-			
<i>Crudia</i> sp.	Pisho	Papilionoidae	23.14	11	
<i>Vismia</i> sp.	Pishirina negra	Fabaceae	14.3	4.83	
<i>Cassia multifuga</i>	Puca pashaca	Caesalpinaceae	25.9	7.82	
<i>Bombacopsis nervosa</i>	Punga	Bombaceae	49.24	12	Madera suave, para triplay.
<i>Zanthoxylum caribacum</i>	Quillo casha	Rutaceae	19	8	
<i>Ficus</i> sp.	Renaco blanco	Moraceae	36.5	11.4	Árbol dendrofaunístico
<i>Inga velutina</i>	Roscapacae	Mimosaceae	17.4	8.16	Leña, aporta N. al suelo.
<i>Protium</i> sp.	Sacha copal	Burseraceae	21.5	8	Leña, difícil de romper
	Sacha chacruna		13.8	3.85	
	Shamoja		17.8	3.8	
<i>Inga</i> sp.	Shimbillo blanco	Mimosaceae	23.1	11	
<i>Ochroma lagopus</i>	Topa	Bombacaceae	36.6	13	
<i>Sclerobium paniculatus</i>	Ucshaquiro	Caesalpinaceae	27.9	11.59	Tanino muy fuerte
	Yacu shapana				
<i>Terminalia oblonga</i>	Negra	Combretaceae	38.1	15.07	
	Yahuar caspi		10.7	5.5	
<i>Pollalesta discolor</i> (Kunth)	Yanavara	Asteraceae	24.4	11	
<i>Duguetia</i> sp.	Yanahuasca	Annonaceae	27.6	6.5	Hospedera de mariposas
	N.N		22	8	

DISTRIBUCION ESPACIAL DE ESPECIES ARBOREAS EN EL SISTEMA DE MANEJO MEJORADO (BMS)

Estación : Experimental "El Choclorino"

Bloque : I

Fecha : 02/10/10

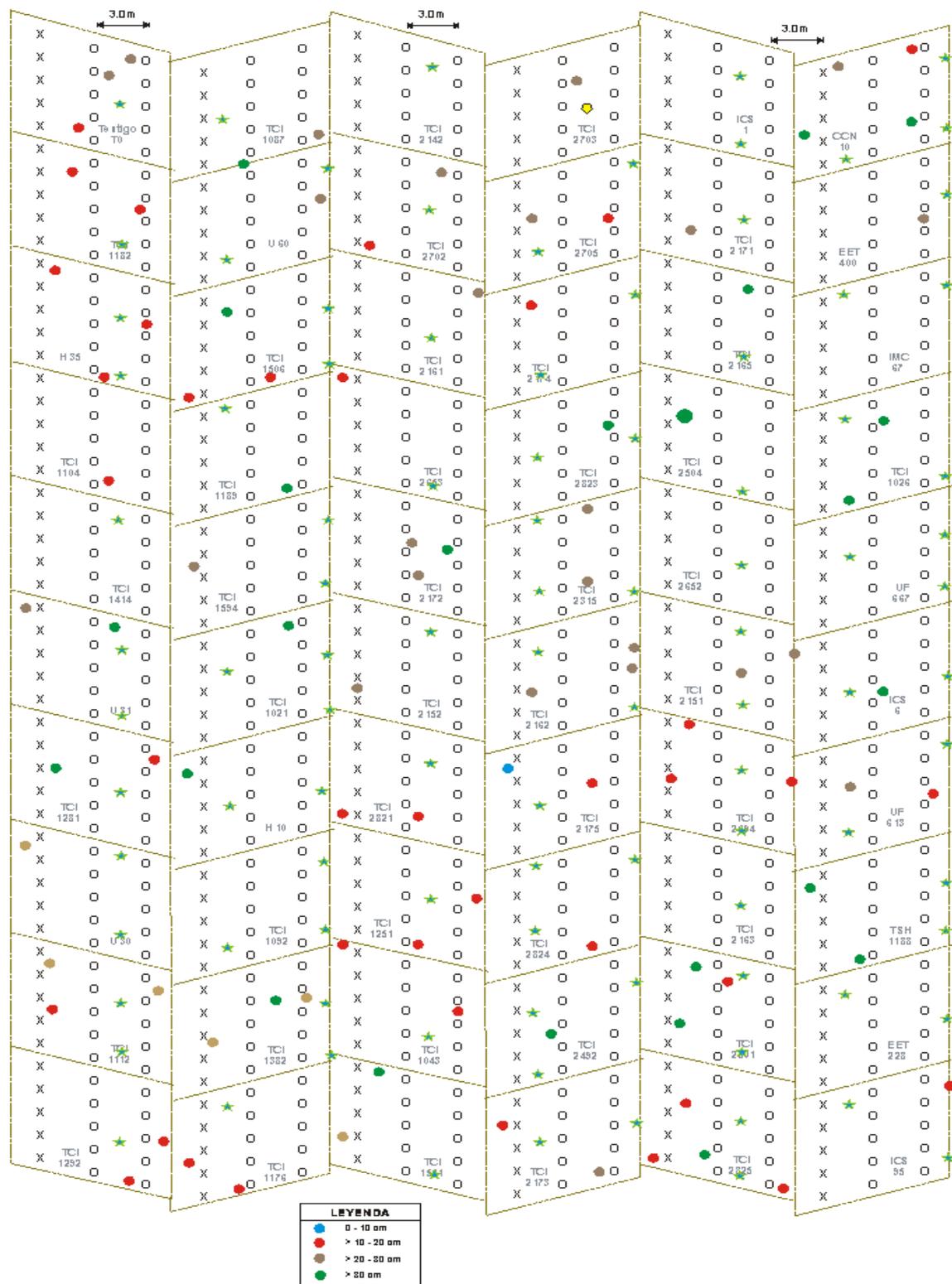


Figura 18. Distribución de especies espontáneas. BMS-Bloque I.

DISTRIBUCION ESPACIAL DE ESPECIES ARBOREAS EN EL SISTEMA DE MANEJO MEJORADO (BMS)

Estación: Experimental "El Choclino"

Bloque: II

Fecha: 02/10/10

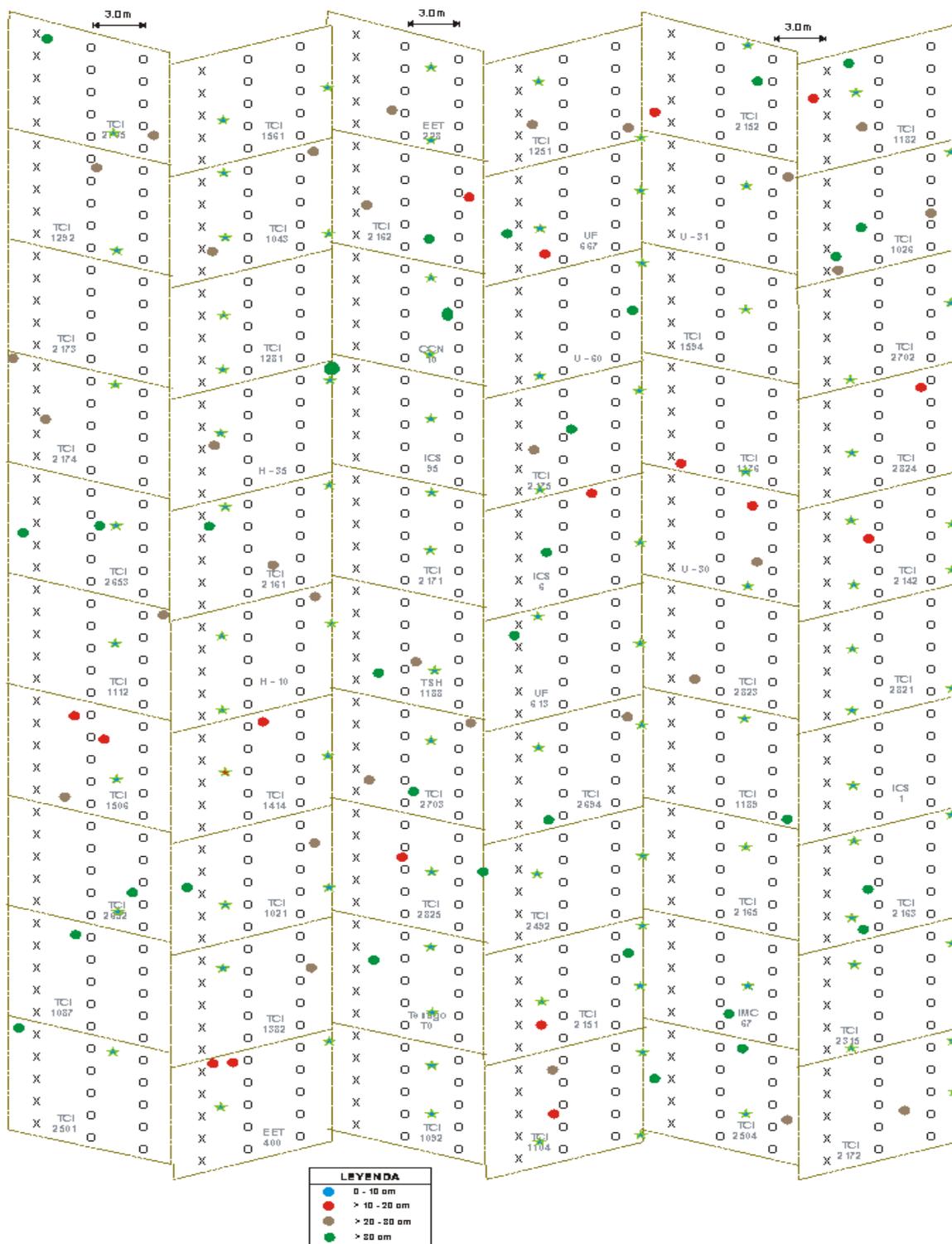


Figura 19. Distribución de especies espontáneas. BMS-Bloque II

Anexo 2. Biomasa y carbono sobre el suelo

2.1. Biomasa y carbono en especies forestales en dos sistemas

Cuadro 20. Biomasa y carbono en especies forestales (espontáneas e introducidas) conformadas en sus respectivos bloques.

Sistema	Bloque	N° de plantas	Biomasa forestal (t)	Carbono (t)
BMS	I	187	65.5	29.5
BMS	II	172	66.9	30.1
BMS	III	181	56.8	25.6
TMS	I	170	23.4	10.6
TMS	II	135	19.2	8.6
TMS	III	132	14.3	6.4
BMS (total)		540	189.2	85.2
TMS (total)		437	56.9	25.6

2.2. Biomasa y carbono en cacao en dos sistemas

Cuadro 21. Comparativo de biomasa y carbono para cacao (*Theobroma cacao* L.); tres bloques de cada sistemas (BMS y TMS) (n=88; promedio \pm error estándar).

Bloque	Biomasa en cacao (t/ha)	Carbono en cacao (t/ha)
I	16.27 \pm 0.31 a	7.32 \pm 0.14 a
II	14.17 \pm 0.30 b	6.38 \pm 0.14 b
III	12.85 \pm 0.35 c	5.78 \pm 0.16 c
p-valor		0.0001

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$), según prueba de Duncan.

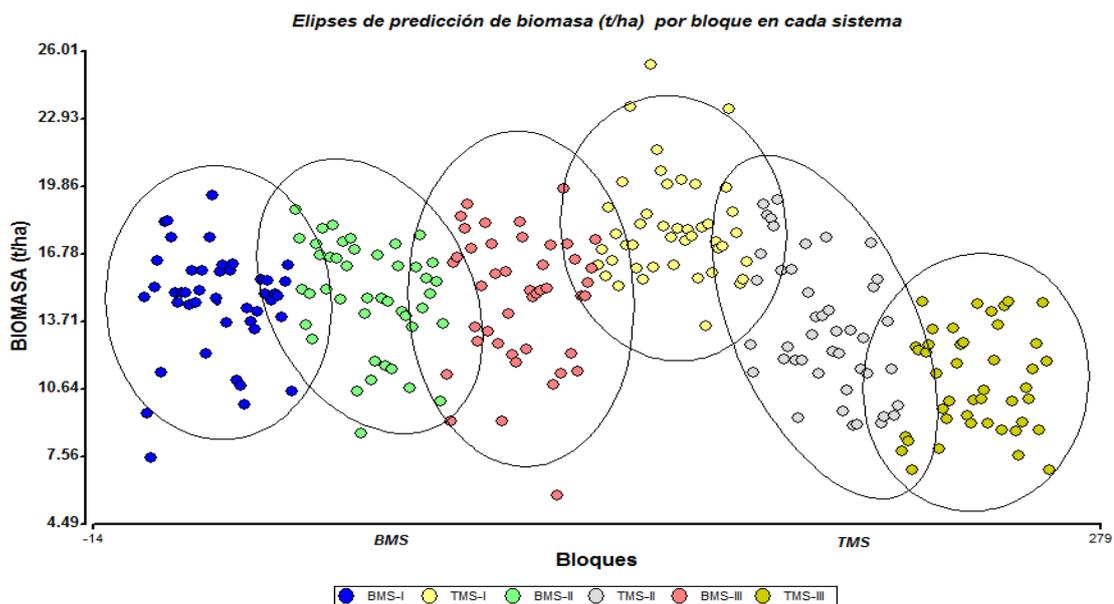


Figura 21. Predicciones de biomasa y carbono

2.3. Biomasa y carbono en árboles muertos en pie

Cuadro 22. Reservas de biomasa y carbono en árboles muertos en pie, conformado en sus respectivos bloques, y el total en los sistemas BMS y TMS.

Sistema	Bloque	# de árbol muerto en pie	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (t/sistema)	Carbono (t/sistema)
BMS	I	4	811.47	0.81	0.37
BMS	II	6	3001.84	3.00	1.35
BMS	III	8	2865.66	2.87	1.29
TMS	I	0	0.00	0.00	0.00
TMS	II	10	1016.74	1.02	0.46
TMS	III	4	362.18	0.36	0.16
BMS (total)		18	6678.98	6.68	3.01
TMS (total)		14	1378.92	1.38	0.62

2.4. Biomasa y carbono en árboles muertos caídos

Cuadro 23. Biomasa y carbono en árboles muertos caídos, conformado en sus respectivos bloques de los Sistemas BMS y TMS.

Sistema	Bloque	N° de árbol muerto caído	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (t/sistema)	Carbono (t/sistema)
BMS	I	26	2491.99	2.49	1.12
BMS	II	9	2509.04	2.51	1.13
BMS	III	8	1220.33	1.22	0.55
TMS	I	12	457.83	0.46	0.21
TMS	II	8	219.97	0.22	0.10
TMS	III	8	116.85	0.12	0.05
BMS (total)		43	6221.37	6.22	2.80
TMS (total)		28	794.65	0.79	0.36

Cuadro 24. Comparativo de biomasa y carbono en herbáceas de tres bloques de los sistemas BMS y TMS (n = 2; promedio \pm error estándar).

Bloque	n	Biomasa herbácea (t/ha)	Carbono herbácea (t/ha)
III	2	0.37 \pm 0.06 a	0.17 \pm 0.02 a
I	2	0.35 \pm 0.27 a	0.16 \pm 0.12 a
II	2	0.34 \pm 0.05 a	0.15 \pm 0.02 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$), según prueba de Duncan.

Cuadro 25. Biomasa y carbono en hojarasca en tres bloques de los sistemas BMS y TMS (n=2; promedio \pm error estándar).

Bloque	n	Biomasa hojarasca (t/ha)	Carbono hojarasca (t/ha)
I	2	10.13 \pm 1.33 a	4.56 \pm 0.60 a
II	2	7.75 \pm 1.01 a	3.49 \pm 0.46 a
III	2	6.29 \pm 0.40 a	2.83 \pm 0.18 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$), según prueba de Duncan.

Anexo 3. Biomasa y carbono orgánico del suelo

Cuadro 26. Análisis físico – químico de suelos en los dos sistemas BMS y TMS.

BMS – Bloque I.

Sistema	Bloque	Campo	Profund. (cm)	pH	M.O (%)	ANÁLISIS MECÁNICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES			
						Arena	Limo	Arcilla	CLASE TEXTURAL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
						%								
BMS	I	Punto 1	0-20	7.07	4.38	13.40	24.00	62.60	Arc	41.59	39.45	1.99	0.15	0.00
BMS	I	Punto 1	20-40	7.40	1.62	15.40	28.00	56.60	Arc	38.53	37.49	0.97	0.08	0.00
BMS	I	Punto 1	40-60	7.44	0.91	19.40	10.00	70.60	Arc	36.98	36.09	0.82	0.07	0.00
BMS	I	Punto 2	0-20	6.38	3.68	15.40	14.00	70.60	Arc	47.93	44.57	3.31	0.05	0.00
BMS	I	Punto 2	20-40	4.90	1.81	13.40	12.00	74.60	Arc	48.65	44.87	2.63	0.05	1.10
BMS	I	Punto 2	40-60	6.48	1.08	15.40	14.00	70.60	Arc	48.63	46.45	2.07	0.11	0.00
BMS	I	Punto 3	0-20	4.71	2.68	37.40	22.00	40.60	Arc	15.58	12.42	1.91	0.06	1.20
BMS	I	Punto 3	20-40	4.43	1.50	37.40	16.00	46.60	Arc	16.10	10.17	1.55	0.07	4.30
BMS	I	Punto 3	40-60	4.39	1.25	35.40	16.00	48.60	Arc	14.68	6.97	0.92	0.18	6.60
BMS	I	Punto 4	0-20	5.05	2.62	23.40	24.00	52.60	Arc	24.95	20.48	3.59	0.07	0.80
BMS	I	Punto 4	20-40	4.90	1.85	15.40	32.00	52.60	Arc	21.64	16.36	2.45	0.03	2.80
BMS	I	Punto 4	40-60	5.02	1.76	27.40	18.00	54.60	Arc	15.24	13.22	1.65	0.17	0.20
BMS	I	Punto 5	0-20	7.46	5.12	13.68	22.72	63.60	Arc	44.01	42.41	1.49	0.11	0.00
BMS	I	Punto 5	20-40	8.07	1.60	9.68	24.72	65.60	Arc	42.20	41.54	0.56	0.09	0.00
BMS	I	Punto 5	40-60	8.29	0.49	13.68	32.72	53.60	Arc	39.64	39.10	0.43	0.12	0.00
BMS	I	Punto 6	0-20	5.53	2.60	29.68	29.72	40.60	Arc	16.59	13.86	2.67	0.05	0.00
BMS	I	Punto 6	20-40	4.96	1.40	25.68	26.72	47.60	Arc	18.71	11.05	1.62	0.04	6.00
BMS	I	Punto 6	40-60	4.61	0.97	25.68	20.72	53.60	Arc	19.41	7.44	0.92	0.15	10.91
BMS	I	Punto 7	0-20	5.09	2.63	33.68	34.72	31.60	Fra-Arc	7.75	5.51	1.07	0.07	1.10
BMS	I	Punto 7	20-40	4.78	1.05	33.68	26.72	39.60	Fra-Arc	10.82	4.38	0.58	0.05	5.80
BMS	I	Punto 7	40-60	4.52	0.90	33.68	24.72	41.60	Arc	11.43	3.32	0.38	0.13	7.60

BMS – Bloque II

Sistema	Bloque	Campo	Profund. (cm)	pH	M.O (%)	ANALISIS MECANICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES			
						Arena	Limo	Arcilla	CLASE TEXTURAL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
						%								
BMS	II	Punto 1	0-20	5.79	3.33	17.68	28.72	53.60	Arc	20.57	17.30	3.20	0.07	0.00
BMS	II	Punto 1	20-40	5.06	1.21	13.68	22.72	63.60	Arc	21.42	14.42	2.74	0.06	4.20
BMS	II	Punto 1	40-60	4.95	0.93	15.68	18.72	65.60	Arc	24.67	13.18	2.30	0.09	9.10
BMS	II	Punto 2	0-20	5.65	3.72	11.68	26.72	61.60	Arc	25.93	23.43	2.42	0.07	0.00
BMS	II	Punto 2	20-40	5.11	1.74	11.68	24.72	63.60	Arc	26.02	20.14	1.60	0.07	4.20
BMS	II	Punto 2	40-60	4.95	0.92	11.68	20.72	67.60	Arc	45.08	37.76	0.92	0.09	6.30
BMS	II	Punto 3	0-20	7.74	2.20	13.68	30.72	55.60	Arc	39.00	37.44	1.52	0.05	0.00
BMS	II	Punto 3	20-40	7.97	1.66	11.68	30.72	57.60	Arc	41.50	40.91	0.56	0.03	0.00
BMS	II	Punto 3	40-60	8.19	1.05	9.68	32.72	57.60	Arc	39.33	38.68	0.48	0.17	0.00
BMS	II	Punto 4	0-20	6.62	2.64	21.68	28.72	49.60	Arc	30.22	27.97	2.14	0.11	0.00
BMS	II	Punto 4	20-40	7.12	0.97	25.68	24.72	49.60	Arc	31.04	29.56	1.39	0.09	0.00
BMS	II	Punto 4	40-60	7.10	0.94	23.68	28.72	47.60	Arc	29.63	28.61	0.85	0.17	0.00
BMS	II	Punto 5	0-20	7.10	3.97	16.12	27.00	56.88	Arc	39.66	36.96	2.55	0.15	0.00
BMS	II	Punto 5	20-40	6.82	1.53	20.12	19.00	60.88	Arc	38.98	37.14	1.73	0.12	0.00
BMS	II	Punto 5	40-60	7.05	0.90	22.12	17.00	60.88	Arc	39.53	38.10	1.32	0.10	0.00
BMS	II	Punto 6	0-20	6.26	4.96	18.12	20.00	61.88	Arc	32.87	29.46	3.36	0.05	0.00
BMS	II	Punto 6	20-40	5.97	2.16	16.12	18.00	65.88	Arc	30.70	28.24	2.39	0.07	0.00
BMS	II	Punto 6	40-60	5.01	1.23	16.12	16.00	67.88	Arc	31.68	22.71	1.79	0.17	7.00
BMS	II	Punto 7	0-20	7.76	2.53	38.12	25.00	36.88	Fra-Arc	28.29	26.82	1.33	0.14	0.00
BMS	II	Punto 7	20-40	7.80	1.28	38.12	24.00	37.88	Fra-Arc	27.87	26.86	0.86	0.15	0.00
BMS	II	Punto 7	40-60	7.52	0.96	38.12	22.00	39.88	Fra-Arc	30.29	29.08	0.90	0.31	0.00

BMS – Bloque III

Sistema	Bloque	Campo	Profund. (cm)	pH	M.O (%)	ANALISIS MECANICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES			
						Arena	Limo	Arcilla	CLASE TEXTURAL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
						%					meq/100			
BMS	III	Punto 1	0-20	5.94	4.10	22.12	26.00	51.88	Arc	25.44	22.31	3.02	0.11	0.00
BMS	III	Punto 1	20-40	5.73	1.72	20.12	20.00	59.88	Arc	23.29	21.00	2.23	0.06	0.00
BMS	III	Punto 1	40-60	5.13	1.06	20.12	18.00	61.88	Arc	20.91	17.50	1.55	0.16	1.70
BMS	III	Punto 2	0-20	6.59	3.37	20.12	24.00	55.88	Arc	33.06	29.83	3.09	0.14	0.00
BMS	III	Punto 2	20-40	6.65	1.45	18.12	21.00	60.88	Arc	34.83	32.67	2.08	0.08	0.00
BMS	III	Punto 2	40-60	6.88	0.86	16.12	20.00	63.88	Arc	35.41	33.93	1.37	0.10	0.00
BMS	III	Punto 3	0-20	5.89	3.96	16.12	18.00	65.88	Arc	27.96	25.33	2.40	0.22	0.00
BMS	III	Punto 3	20-40	5.65	1.46	16.12	24.00	59.88	Arc	26.98	25.32	1.51	0.14	0.00
BMS	III	Punto 3	40-60	5.48	0.68	16.12	18.00	65.88	Arc	25.55	23.27	0.94	0.14	1.20
BMS	III	Punto 4	0-20	7.52	3.73	38.12	22.00	39.88	Fra-Arc	29.08	26.72	2.09	0.28	0.00
BMS	III	Punto 4	20-40	8.00	1.40	32.12	32.00	35.88	Fra-Arc	27.64	26.74	0.77	0.13	0.00
BMS	III	Punto 4	40-60	8.13	0.66	36.12	30.00	33.88	Fra-Arc	26.09	25.59	0.43	0.07	0.00
BMS	III	Punto 5	0-20	5.99	3.84	15.12	27.00	57.88	Arc	26.19	22.75	3.28	0.15	0.00
BMS	III	Punto 5	20-40	5.62	1.80	13.12	23.00	63.88	Arc	25.28	22.69	2.48	0.11	0.00
BMS	III	Punto 5	40-60	5.10	1.33	13.12	17.00	69.88	Arc	26.58	20.15	1.92	0.11	4.40
BMS	III	Punto 6	0-20	6.26	3.50	25.12	25.00	49.88	Arc	26.81	23.24	3.44	0.13	0.00
BMS	III	Punto 6	20-40	5.92	1.33	26.12	22.00	51.88	Arc	25.60	22.82	2.67	0.11	0.00
BMS	III	Punto 6	40-60	5.35	0.91	26.12	18.00	55.88	Arc	26.55	22.72	2.23	0.10	1.50
BMS	III	Punto 7	0-20	6.18	3.84	16.40	26.00	57.60	Arc	25.66	22.78	2.75	0.13	0.00
BMS	III	Punto 7	20-40	5.66	1.83	16.40	20.00	63.60	Arc	24.39	22.20	2.05	0.14	0.00
BMS	III	Punto 7	40-60	5.35	1.23	16.40	14.00	69.60	Arc	24.27	21.89	1.25	0.13	1.00

TMS – Bloque I

Sistema	Bloque	Campo	Profund. (cm)	pH	M.O (%)	ANÁLISIS MECÁNICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES			
						Arena	Limo	Arcilla	CLASE TEXTURAL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
						%					meq/100			
TMS	I	Punto 1	0-20	5.68	3.64	15.68	27.28	57.04	Arc	23.38	19.71	3.53	0.15	0.00
TMS	I	Punto 1	20-40	5.60	1.78	34.68	16.28	49.04	Arc	21.82	18.65	3.01	0.16	0.00
TMS	I	Punto 1	40-60	4.57	1.21	13.68	19.28	67.04	Arc	23.84	14.27	2.18	0.09	7.30
TMS	I	Punto 2	0-20	6.19	3.43	13.68	29.28	57.04	Arc	28.50	24.90	3.41	0.18	0.00
TMS	I	Punto 2	20-40	5.92	1.78	13.68	27.28	59.04	Arc	26.96	24.22	2.59	0.15	0.00
TMS	I	Punto 2	40-60	6.66	0.99	13.68	25.28	61.04	Arc	29.44	27.21	2.13	0.11	0.00
TMS	I	Punto 3	0-20	6.16	3.13	23.68	27.28	49.04	Arc	27.65	24.59	2.93	0.14	0.00
TMS	I	Punto 3	20-40	5.74	1.39	24.68	22.28	53.04	Arc	26.96	24.68	2.17	0.11	0.00
TMS	I	Punto 3	40-60	5.40	1.12	21.68	23.28	55.04	Arc	27.94	25.40	1.97	0.16	0.40
TMS	I	Punto 4	0-20	6.11	3.79	18.68	28.28	53.04	Arc	32.99	30.43	2.41	0.15	0.00
TMS	I	Punto 4	20-40	5.94	2.20	17.68	25.28	57.04	Arc	33.30	31.75	1.44	0.12	0.00
TMS	I	Punto 4	40-60	6.72	0.95	9.68	33.28	57.04	Arc	37.99	37.12	0.82	0.05	0.00
TMS	I	Punto 5	0-20	6.76	3.88	13.68	29.28	57.04	Arc	33.54	30.51	2.85	0.18	0.00
TMS	I	Punto 5	20-40	7.07	1.67	19.68	27.28	53.04	Arc	36.25	34.84	1.31	0.10	0.00
TMS	I	Punto 5	40-60	6.67	0.84	17.68	35.28	47.04	Arc	33.65	32.82	0.75	0.07	0.00
TMS	I	Punto 6	0-20	6.08	4.04	25.68	23.28	51.04	Arc	27.52	25.44	1.92	0.16	0.00
TMS	I	Punto 6	20-40	5.97	2.34	23.68	21.28	55.04	Arc	29.73	28.22	1.41	0.09	0.00
TMS	I	Punto 6	40-60	5.00	1.76	25.68	17.28	57.04	Arc	29.79	28.09	1.19	0.11	0.40
TMS	I	Punto 7	0-20	6.18	4.12	25.68	25.28	49.04	Arc	25.65	23.09	2.39	0.17	0.00
TMS	I	Punto 7	20-40	5.85	1.97	23.68	23.28	53.04	Arc	26.66	24.40	2.13	0.13	0.00
TMS	I	Punto 7	40-60	5.80	1.03	25.68	16.00	58.32	Arc	29.58	27.50	1.88	0.19	0.00

TMS – Bloque II

Sistema	Bloque	Campo	Profund. (cm)	pH	M.O (%)	ANÁLISIS MECÁNICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES			
						Arena	Limo	Arcilla	CLASE TEXTURAL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
						%				meq/100				
TMS	II	Punto 1	0-20	5.63	3.07	29.68	28.00	42.32	Arc	18.83	16.57	2.10	0.16	0.00
TMS	II	Punto 1	20-40	5.65	1.53	25.68	26.00	48.32	Arc	19.30	17.58	1.60	0.11	0.00
TMS	II	Punto 1	40-60	5.51	1.24	25.68	20.00	54.32	Arc	18.94	16.43	1.36	0.15	1.00
TMS	II	Punto 2	0-20	6.00	3.98	15.68	28.00	56.32	Arc	32.10	29.82	2.09	0.20	0.00
TMS	II	Punto 2	20-40	5.72	1.67	17.68	22.00	60.32	Arc	32.30	29.48	2.69	0.14	0.00
TMS	II	Punto 2	40-60	5.77	0.94	15.24	24.44	60.32	Arc	31.54	29.34	2.02	0.18	0.00
TMS	II	Punto 3	0-20	5.76	4.34	25.68	26.00	48.32	Arc	28.47	26.18	2.11	0.18	0.00
TMS	II	Punto 3	20-40	5.54	1.52	25.68	22.00	52.32	Arc	28.88	26.85	1.43	0.10	0.50
TMS	II	Punto 3	40-60	5.55	0.90	25.24	22.44	52.32	Arc	29.49	26.06	0.93	0.10	2.40
TMS	II	Punto 4	0-20	6.13	4.30	33.68	28.00	38.32	Fra-Arc	25.77	23.78	1.81	0.18	0.00
TMS	II	Punto 4	20-40	5.96	1.76	35.68	22.00	42.32	Arc	23.32	22.06	1.15	0.11	0.00
TMS	II	Punto 4	40-60	5.76	1.27	31.24	22.44	46.32	Arc	23.65	22.55	0.96	0.13	0.00
TMS	II	Punto 5	0-20	6.07	3.65	23.68	26.00	50.32	Arc	32.16	30.26	1.73	0.17	0.00
TMS	II	Punto 5	20-40	5.76	1.75	29.68	18.00	52.32	Arc	31.63	30.51	1.02	0.09	0.00
TMS	II	Punto 5	40-60	4.79	0.97	23.24	19.00	57.76	Arc	31.11	28.48	0.73	0.10	1.80
TMS	II	Punto 6	0-20	6.55	4.00	15.68	26.00	58.32	Arc	35.05	32.63	2.20	0.22	0.00
TMS	II	Punto 6	20-40	6.30	1.78	17.68	24.00	58.32	Arc	33.01	31.44	1.40	0.17	0.00
TMS	II	Punto 6	40-60	5.30	1.56	17.24	21.00	61.76	Arc	30.34	28.90	1.14	0.21	0.10
TMS	II	Punto 7	0-20	6.36	4.39	17.68	24.00	58.32	Arc	36.43	32.85	3.31	0.27	0.00
TMS	II	Punto 7	20-40	5.67	2.10	23.68	16.00	60.32	Arc	35.59	32.75	2.62	0.22	0.00
TMS	II	Punto 7	40-60	5.30	1.20	13.24	13.00	73.76	Arc	36.93	30.88	1.99	0.05	4.00

TMS – Bloque III

Sistema	Bloque	Campo	Profund. (cm)	pH	M.O (%)	ANÁLISIS MECÁNICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES			
						Arena	Limo	Arcilla	CLASE TEXTURAL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
						%					meq/100			
TMS	III	Punto 1	0-20	5.52	2.09	59.24	15.00	25.76	Fra-Arc-Are	7.96	6.89	0.67	0.21	0.20
TMS	III	Punto 1	20-40	5.00	1.18	53.24	15.00	31.76	Fra-Arc-Are	6.15	5.12	0.81	0.12	0.10
TMS	III	Punto 1	40-60	4.76	0.90	53.68	14.72	31.60	Arc-Are	8.00	7.33	0.43	0.04	0.20
TMS	III	Punto 2	0-20	5.99	2.08	63.24	15.00	21.76	Fra-Arc-Are	7.26	6.76	0.47	0.04	0.00
TMS	III	Punto 2	20-40	4.99	1.10	59.24	13.00	27.76	Fra-Arc-Are	9.52	6.06	0.81	0.04	2.60
TMS	III	Punto 2	40-60	4.49	0.83	55.68	10.72	33.60	Arc-Are	5.75	5.06	0.18	0.30	0.20
TMS	III	Punto 3	0-20	5.15	2.29	49.24	19.00	31.76	Fra-Arc-Are	3.77	3.51	0.21	0.04	0.00
TMS	III	Punto 3	20-40	4.64	1.17	43.24	15.00	41.76	Fra-Arc	5.27	4.15	0.50	0.02	0.60
TMS	III	Punto 3	40-60	4.24	1.09	35.68	12.72	51.60	Arc	18.55	10.21	0.72	0.12	7.50
TMS	III	Punto 4	0-20	5.21	2.36	59.24	19.00	21.76	Fra-Arc-Are	11.83	6.85	0.55	0.03	4.40
TMS	III	Punto 4	20-40	5.10	0.89	63.24	13.00	23.76	Fra-Arc-Are	12.80	11.06	1.66	0.07	0.00
TMS	III	Punto 4	40-60	5.03	0.91	59.68	12.72	27.60	Fra-Arc-Are	6.19	4.19	0.21	0.08	1.70
TMS	III	Punto 5	0-20	5.38	2.80	41.24	19.00	39.76	Fra-Arc	10.20	8.86	0.87	0.07	0.40
TMS	III	Punto 5	20-40	5.15	1.28	43.24	13.00	43.76	Arc	18.11	15.57	2.39	0.05	0.10
TMS	III	Punto 5	40-60	4.92	1.10	43.68	12.72	43.60	Arc	15.78	9.27	0.87	0.14	5.50
TMS	III	Punto 6	0-20	5.97	2.44	41.24	17.00	41.76	Arc	12.02	10.74	1.23	0.05	0.00
TMS	III	Punto 6	20-40	5.46	1.50	39.24	15.00	45.76	Arc	15.82	14.26	1.41	0.05	0.10
TMS	III	Punto 6	40-60	5.40	1.22	37.68	14.72	47.60	Arc	18.02	15.78	1.74	0.30	0.20
TMS	III	Punto 7	0-20	4.62	2.27	51.24	11.00	37.76	Arc-Are	8.32	6.86	0.63	0.03	0.80
TMS	III	Punto 7	20-40	4.20	1.28	47.68	10.72	41.60	Arc-Are	12.94	7.82	1.37	0.04	3.70
TMS	III	Punto 7	40-60	4.85	1.12	39.68	14.72	45.60	Arc	14.27	8.18	1.11	0.27	4.70

Anexo 4. Panel fotográfico

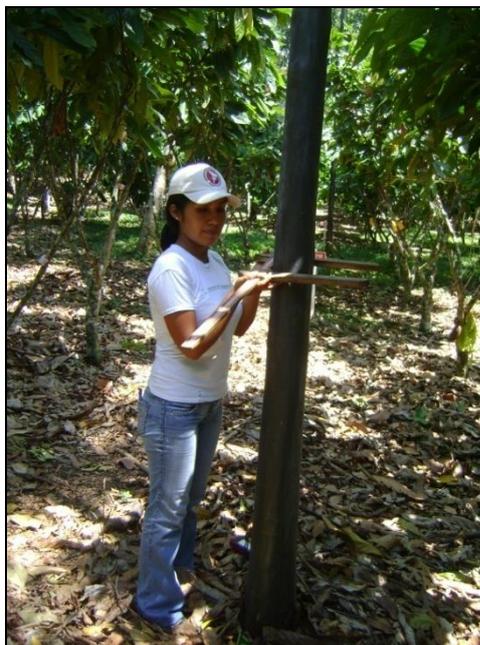


Figura 22. Midiendo el DAP (cm) de una especie introducida.



Figura 23. Midiendo la altura de la especie *Inga edulis* Mart.



Figura 24. Midiendo la altura de la especie *Theobroma cacao* L.



Figura 25. Midiendo el DAP del cacao (*Theobroma cacao* L.).