

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS CON
DIFERENTES USOS DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE
COMALAPA, CHALATENANGO, EL SALVADOR.**

POR:

**KEILIM ISSELA MELGAR RAMIREZ
MARIA JOSE NIETO MARROQUIN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS CON
DIFERENTES USOS DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE
COMALAPA, CHALATENANGO, EL SALVADOR.**

PRESENTAN:

**KEILIM ISSELA MELGAR RAMÍREZ
MARÍA JOSÉ NIETO MARROQUÍN**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÓNOMO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

LIC. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y
MEDIO AMBIENTE:**

ING. AGR. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASCENCIO

DOCENTES DIRECTORES:

ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

ING. AGR. M. Sc. EDWIN DANIEL GARCÍA INESTROZA

Ph.D. PABLO SILES GUTIÉRREZ

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. AGR. Y LIC. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Comalapa, departamento de Chalatenango, entre mayo y octubre de 2016, en el marco del proyecto ABES (Agro biodiversidad para Servicios Ecosistémicos), financiado por USAID e implementado por la Universidad de Colombia (British Colombia), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA). El objetivo principal fue cuantificar las reservas de Carbono en diferentes usos de la tierra en un paisaje fragmentado, con los que se espera establecer las bases para futuros proyectos de compensación o pago por servicios ambientales para beneficiar a los productores de la zona. Se estimó el Carbono almacenado en ocho diferentes usos de la tierra: cultivo con baja densidad de árboles (menos de 50 árboles por hectárea), cultivo con alta densidad de árboles (más de 50 árboles por hectárea), pastura sin árboles, pastura con baja densidad de árboles (menos de 100 árboles por hectárea), pasturas con alta densidad de árboles (más de 100 árboles por hectárea), bosque secundario, área en descanso y cultivos perennes abandonados. En cada sistema se estableció un área de muestreo de 1,000 m², con 50 m de largo y 20 m de ancho. En cada parcela se evaluó la riqueza de especies con diámetro a la altura del pecho mayores de 2.5 cm por medio del Índice de Valor de importancia, la biomasa aérea (arbórea, necromasa, hojarasca) y la materia orgánica en suelos mediante un análisis químico por el método de Walkely y Black. La biomasa arbórea se estimó por medio de modelos alométricos que se adaptaron a las especies encontradas (*Cordia alliodora*, árboles de bosque seco tropical y *Musa spp*). Los resultados muestran que en promedio se almacenan entre 4.39 a 81.14 Mg de C ha⁻¹ en la biomasa aérea y de 24.77 a 39.65 Mg de C ha⁻¹ en suelos. Se determinó además que la biomasa arbórea y los suelos son los componentes del sistema que almacenan la mayor cantidad de C. En relación a los sistemas, el bosque es el que almacena la mayor cantidad de C (104.50 Mg ha⁻¹), seguido del Cultivo (48.54 Mg ha⁻¹). Debido a lo anterior, se concluye que las especies arbóreas dentro de las parcelas de los productores permiten incrementar el almacenamiento de Carbono en el sistema, además de brindar otros servicios ecosistémicos que son de beneficio no solo para los productores sino también como una importante estrategia de mitigación ante el cambio climático.

Palabras claves: Almacenamiento de Carbono, paisaje fragmentado, Bosque, Cultivo, pasturas, Comalapa. Chalatenango.

ABSTRACT

The research was carried out in the municipality of Comalapa, department of Chalatenango, between May and October 2016, within the framework of the project ABES (Agro biodiversity for Ecosystem Services), funded by USAID and implemented by the University of Colombia), The International Center for Tropical Agriculture (CIAT) and the Salvadoran Research Program on Development and Environment (PRISMA). The main objective was to quantify carbon stocks in different land uses in a fragmented landscape, with which it is expected to establish the basis for future compensation or payment for environmental services projects to benefit the producers in the area. The carbon stored in eight different uses of the land was estimated: low density tree cultivation (less than 50 trees per hectare), high density tree cultivation (more than 50 trees per hectare), treeless pasture, Tree density (less than 100 trees per hectare), high density tree pastures (more than 100 trees per hectare), secondary forest, rest area and abandoned perennial crops. In each system a sampling area of 1,000 m², 50 m long and 20 m wide, was established. In each plot we evaluated the richness of species with a diameter at chest height greater than 2.5 cm, aerial biomass (arboreal, necromass, leaf litter) and organic matter in soils. Tree biomass was estimated using allometric models that were adapted to the species found (*Cordia alliodora*, tropical dry forest trees and *Musa spp*). The results show that on average, between 4.39 and 81.14 Mg of C ha⁻¹ are stored in the aerial biomass and 24.77 to 39.65 Mg of ha⁻¹ carbon in soils. It was also determined that tree biomass and soils are the components that store the largest amount of carbon. In relation to the systems, the forest is the one that stores the largest amount of Carbon (104.50 Mg ha⁻¹), followed by the Crop (48.54 Mg ha⁻¹). Due to the above, it is concluded that the tree species within the plots of the producers, allow to increase the storage of Carbon in the system, besides providing other ecosystem services that are of benefit not only for the producers but also as an important strategy of Mitigation in the face of climate change.

Key Words: Carbon Storage, Fragmented Landscape, Forest, Crop, Pasture, Comalapa. Chalatenango.

AGRADECIMIENTOS

A mis familia: Enrique Moisés Melgar (Q.D.D.G), Dixzi Mabel Ramírez, Dixi Daniela Melgar, Emerson Moisés Melgar y María Antonia Melgar por su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional.

A mis asesores: Ing. Agr. M.sC. Luis Fernando Castaneda Romero, Ing. Agr. M.sC. Edwin Daniel García Inestroza y Ph.D Pablo Siles Gutiérrez por su disposición y continuo interés en el avance logrado en la investigación y brindar su conocimiento el proceso de desarrollo de la investigación.

A Equipo técnico del proyecto UES-ABES: (especialmente al Ing. Leopoldo Serrano, Edgar Torres, Arquímedes León y Bernardo León) por su invaluable aporte en la recolección de datos.

A Personal de la Mancomunidad La Montañona: por su valiosa colaboración.

A Ing. Agr. M.sC. Miguel Rafael Paniagua por ser un valioso apoyo durante la fase de procesamiento de datos.

A Ing. Agr. Fredy Alexander Quinteros Hernández: por brindarme su apoyo y motivación.

A Roberto Carlos Berrios: por estar a mi lado en los momentos difíciles.

Keilim Issela Melgar Ramírez.

INDICE

Contenido	Página
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	2
2.1. Cambio climático.	2
2.2. Gases de efecto invernadero (GEI).	2
2.3. Ciclo del Carbono.	3
2.4. La agricultura y las emisiones de Gases Efecto Invernadero.	4
2.5. Reservorios de Carbono.	4
2.5.1. Carbono de la biomasa de plantas vivas	5
2.5.2. Carbono de la biomasa de plantas muertas.....	5
2.5.3. Carbono del suelo	6
2.5.4. Carbono en los sistemas agroforestales.	6
2.5.5. Carbono en paisajes fragmentados.	8
2.6. Relación Carbono biomasa.....	9
2.7. Metodologías para estimar Carbono.	9
2.7.1. Método directo.....	9
2.7.2. Método indirecto.	10
2.8. Modelos alométricos.....	10
2.9. Marco legal en El Salvador sobre medio ambiente y cambio climático.	11
2.9.1. Ley del Medio Ambiente.	11
2.9.2. Ley forestal.....	11
2.9.3. Estrategia Nacional del Medio Ambiente.	11
2.9.3.1. Estrategia Nacional de Biodiversidad	11
2.9.3.2. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos.....	12
2.9.3.3. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental.	12
2.9.3.4. Estrategia Nacional de Cambio Climático.	12
2.10. Programa REDD + MbA y el PREP	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Descripción del estudio.....	14
3.1.1 Ubicación.....	14
3.2. Selección de los productores.....	14
3.3. Caracterización de las fincas	14
3.4. Sistemas en estudio.	15
3.4.1. Cultivo	15
3.4.2. Pasturas	15
3.4.3. Bosque	15
3.5. Metodología de campo.	15

3.5.1.	Muestreo de vegetación.	15
3.5.2.	Muestreo de hojarasca.	16
3.5.3.	Muestreo de necromasa.	16
3.5.4.	Muestreo de suelos.	16
3.6.	Fase de laboratorio.	17
3.6.1.	Secado y pesado de la hojarasca.	17
3.6.2.	Preparación de muestras botánicas.	17
3.6.3.	Determinación de la materia orgánica del suelo.	17
3.7.	Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI).....	17
3.8.	Estimación de carbono almacenado.	17
3.8.1.	Carbono en biomasa arbórea.	17
3.8.2.	Carbono en hojarasca.	18
3.8.3.	Carbono en la necromasa.....	18
3.8.4.	Carbono orgánico en suelo.....	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.	21
4.1.	Caracterización de las fincas.	21
4.1.1.	Tenencia de la tierra y tamaño de las fincas.	21
4.1.2.	Fuentes de ingreso.	21
4.1.3.	Agricultura y ganadería.....	22
4.1.4.	Manejo de la hojarasca.....	22
4.2.	Especies arbóreas encontradas.....	22
4.3.	Familias de las especies arbóreas encontradas.	26
4.4.	Especies de mayor importancia según el Índice de Valor de Importancia.....	26
4.4.1.	Especies encontradas en el sistema bosque.	27
4.4.2.	Especies encontradas en el sistema Cultivo.	28
4.4.3.	Especies encontradas en el sistema Pasturas.....	29
4.5.	Reserva de Carbono de la biomasa aérea y de suelos en los sistemas.....	29
4.5.1.	Reservas de Carbono en el suelo.....	31
4.5.2.	Reservas de Carbono en la biomasa aérea.....	32
4.5.3.	Reservas de Carbono en cada componente.....	33
4.6.	Reservas de Carbono por productor.	35
5.	CONCLUSIONES.....	38
6.	RECOMENDACIONES.....	39
7.	BIBLIOGRAFIA.....	40
8.	ANEXOS.....	49

INDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Relación de DAP con la masa de los árboles.	9
Cuadro 2. Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arbórea.....	18
Cuadro 3. Especies arbóreas encontradas y su respectivo almacenamiento de Carbono.....	22
Cuadro 4. Familias de las especies arbóreas encontradas en el estudio	26
Cuadro 5. Especies de mayor Índice de Valor de Importancia en el sistema bosque.....	27
Cuadro 6. Especies de mayor Índice de Valor de Importancia en el sistema cultivo	28
Cuadro 7. Especies de mayor Índice de Valor de Importancia en el sistema pasturas.....	29
Cuadro 8. Estimación de Carbono en la biomasa aérea y de suelos en diferentes usos de suelos.	30
Cuadro 9. Carbono que aportan los componentes en cada uso de suelo.	34
Cuadro 10. Carbono en la biomasa aérea y suelos para cada productor	35

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Reservas de Carbono en el suelo.	31
Figura 2. Reserva de Carbono en la biomasa aérea.	32

INDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
Figura A-1: Esquema general del método de muestreo utilizado	49
Figura A-2: Clúster de fotografías durante la investigación.	50
A-1: instrumento de evaluación para realizar la caracterización de las fincas.	51

1. INTRODUCCION

El CO₂ es responsable del 50% del calentamiento global debido a la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra (Jobbágy y Jackson 2000). Una forma de mitigar sus efectos es almacenarlo en la biomasa mediante la fotosíntesis, a través de sistemas agroforestales, que son formas de uso de la tierra donde los árboles o arbustos interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con cultivos o animales, asociados de forma simultánea o secuencial (Nair 2004).

Según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del año 2005, el total de emisiones de GEI ha sido de 14,453.40 Gg de CO₂; el sector de agricultura en general emite 3,115.40 GgCO₂ que equivale al 21.55% del total de las emisiones (MARN 2013). Ante este problema es necesario proponer soluciones que permitan que la agricultura pueda ser una opción viable para mitigar los efectos del cambio climático.

Para comenzar a establecer mecanismos que incluyan a los productores en las estrategias de mitigación del cambio climático es necesario estimar el crecimiento, acumulación de biomasa aérea y la fijación de carbono asociada (Alberto y Elvir 2008).

En El Salvador existen muy pocos estudios sobre estos aspectos, por lo cual esta investigación puede dar un valioso aporte para continuar realizando este tipo de esfuerzos a nivel de pequeños y medianos productores, en el contexto de las acciones que debe realizar la academia y el país en el marco del cambio climático.

El objetivo principal de la investigación fue cuantificar el almacenamiento de carbono en diferentes usos de la tierra en un paisaje fragmentado en el municipio de Comalapa, Chalatenango, lo que permitirá establecer las bases para futuros proyectos de compensación o pago por servicios ambientales, para beneficiar a los productores y poder incrementar los servicios ecosistémicos en sus fincas.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Cambio climático.

Según la ONU (1992) en la Convención Marco sobre Cambio Climático, desarrollada en Río de Janeiro, Brasil, por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

El IPCC¹ (2001) lo define como todo cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables.

Según el informe presentado por el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) en El Salvador, se espera que el cambio climático produzca una reducción de los caudales superficiales de agua y desbordamientos en los ríos; mientras que en el rubro de agricultura provocaría pérdidas en las cosechas de granos básicos que pueden rondar los 11 millones para el año 2025, debido a las sequías, si no se adoptan medidas oportunas (Oviedo 2010).

Un aumento en el nivel del mar de 13 a 55 cm, especialmente en las áreas de manglar, sería otro de los efectos adversos esperados, lo cual ocasionaría plagas en bosques; aumento en la sedimentación y la erosión; pérdida de humedad potencial del suelo; impacto en las instalaciones portuarias y turísticas, entre otros aspectos. En cuanto al impacto que tendría en los ecosistemas, el PNUD menciona que se produciría la desaparición de casi la mitad de los humedales salvadoreños, con la consiguiente pérdida de especies y su capacidad de brindar servicios ambientales vitales para el desarrollo de la sociedad (Oviedo 2010).

2.2. Gases de efecto invernadero (GEI).

Son gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Su concentración atmosférica es baja, pero tienen una importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en

¹ IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Tercer informe sobre evaluación, cambio climático. GI. PNUMA. p 13.

el planeta. Los gases de invernadero más importantes son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂) metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC) y ozono (O₃) (Camilloni 2015).

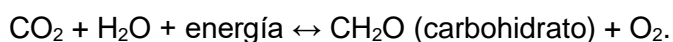
2.3. Ciclo del Carbono.

Los diferentes procesos de bloqueo de la síntesis y descomposición por los cuales el carbono es difundido en el suelo, plantas, animales y el aire, en conjunto la biosfera, comprende el ciclo del carbono (White, citado por Messa 2009). Este ciclo es dinámico y continuo, y consiste en el intercambio de carbono en forma de CO₂ entre la atmósfera, los combustibles fósiles, los océanos, la vegetación y los suelos de los ecosistemas terrestres (FAO, citado por Hernández *et al.* 2014).

El ciclo terrestre del carbono involucra varios reservorios (océanos, biosfera y atmósfera) y permanece en un balance relativo. Sin embargo, perturbaciones humanas relativamente pequeñas pueden tener efectos muy grandes sobre él (Falkowski *et al.* 2000). Cualquier desequilibrio entre los flujos de entrada y salida se refleja en la concentración del CO₂ atmosférico. La absorción del CO₂ atmosférico por las plantas a través de la fotosíntesis está en equilibrio con la respiración de las plantas y el suelo (Bolin y Sukumar 2000).

El carbono en la tierra se almacena en cinco grandes compartimientos: reservas geológicas, océanos, atmósfera, suelos y biomasa forestal. Existen en la atmósfera entre 730,800 g y 791,700 g de carbono, principalmente en forma de dióxido de carbono (CO₂). Formando parte mayoritaria de la vegetación terrestre se encuentra capturado (más o menos transitoriamente) 850 Pg² de Carbono, de los cuales en materia viva están 550 Pg y como necromasa otros 300 Pg (Gallardo y Merino 2007).

Según Wodzicki (2001), el CO₂ es un gas importante en el efecto invernadero. La cantidad de CO₂ en la atmósfera es controlado por el ciclo del carbono. El primer componente del ciclo del carbono es la fotosíntesis y respiración de las plantas:



Durante el día, las plantas usan la energía del Sol para convertir el CO₂ de la atmósfera más agua, en carbohidrato y oxígeno. Este proceso es la fotosíntesis. Durante la noche,

² Pg: 1015 g de C

hacen lo opuesto, se llama respiración. Usan el carbohidrato más el oxígeno para producir energía cuando no hay sol (Wodzicki 2001).

2.4. La agricultura y las emisiones de Gases Efecto Invernadero.

A nivel mundial habitualmente se asigna a la agricultura un nada despreciable 14% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, si tenemos en cuenta la energía utilizada en la agricultura y los cambios de uso del suelo para aumentar la superficie agraria estas emisiones pueden superar el 30% de las totales (Bermejo 2010).

La agricultura, y sobre todo la ganadería, son los principales causantes de la deforestación y la destrucción de ecosistemas valiosos. Entre 1994 y 2004, por ejemplo, la superficie dedicada al cultivo de soja para piensos en Latinoamérica se multiplicó por más de dos, extendiéndose a 39 millones de hectáreas y destruyendo selvas tropicales y otros hábitats de extraordinaria importancia en términos de biodiversidad y de captura de carbono (Steinfeld *et al.* 2009).

La agricultura captura carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis de las plantas. A nivel global la producción primaria neta de la agricultura (es decir, el carbono capturado de la atmósfera por las plantas a través de la fotosíntesis, menos el emitido a través de la respiración) fija unos 7,000 millones de toneladas anuales de carbono, una cantidad que se aproxima al liberado por la quema de combustibles fósiles e industria. Una pequeña parte de este carbono se incorpora a los suelos a través de los residuos de las cosechas. El resto circula por la cadena trófica (es decir, la alimentación ganadera y humana fundamentalmente), incorporándose también al suelo una mínima parte a través de los residuos animales, y siendo liberado el resto principalmente a través de la respiración (Field *et al.* 2007).

La agricultura desempeña un importante papel en lo que respecta al cuidado de los suelos y su contenido en carbono. La erosión y degradación de los suelos provocada por una agricultura intensiva y por la falta de aportes de materia orgánica (sustituida por fertilizantes químicos, ha empobrecido de forma preocupante buena parte de la superficie agrícola del mundo (SEAE 2010).

2.5. Reservorios de Carbono.

Las reservas terrestres de carbono de todo el carbono almacenado en los ecosistemas se encuentran en: Biomasa de plantas vivas (aérea y subterránea); Biomasa de plantas

mueras (aérea y subterránea) y Suelo (en materia orgánica de la tierra y en cantidades ínfimas, como biomasa animal y de microorganismos).

En la orientación del IPCC (2000), a estos reservorios se los describe como biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono del suelo.

2.5.1. Carbono de la biomasa de plantas vivas

La biomasa aérea abarca todos los troncos leñosos, ramas y hojas de árboles vivos, plantas rastreras, enredaderas y epífitas, así como las plantas del sotobosque y la vegetación herbácea. En el caso de los suelos agrícolas, incluye árboles (si hay), cultivos y maleza. Kearney *et al.* (2012) reportó reservas de Carbono en un rango de 0 a 121.2 Mg ha⁻¹ para la biomasa aérea en la zona de la mancomunidad La Montañona. En otro estudio realizado en Nicaragua, se estimó el Carbono almacenado en bosques secundarios jóvenes (10 – 25 años) obteniendo valores entre 25.2 y 68.8 Mg ha⁻¹ (Suarez *et al.* 2002). La biomasa subterránea abarca las raíces, la fauna del suelo y los microorganismos.

2.5.2. Carbono de la biomasa de plantas muertas

La materia orgánica muerta es decir, la necromasa, incluye, árboles caídos y tocones, desechos leñosos gruesos, la capa de hojarasca y el carbón vegetal (o materia orgánica parcialmente carbonizada) sobre la superficie del suelo. La reserva de carbono de la hojarasca en una selva tropical suele ser aproximadamente 5 Mg ha⁻¹ al año, con un periodo medio de permanencia en la capa de hojarasca de aproximadamente 1 año.

Los árboles muertos pueden tardar aproximadamente 10 años en descomponerse y la necromasa constituye aproximadamente el 10% del total de reserva de carbono aéreo en un bosque natural saludable. Debido a que la tala suele enfocarse en aprovechar los árboles más valiosos y dañar muchos otros, la necromasa puede constituir 30-40% de la reserva de carbono aérea luego de la tala. Si se utiliza fuego para realizar el desmonte, el carbono resultante se emitirá en forma directa o permanecerá por aproximadamente una década (Hairiah *et al.* 2010)

La hojarasca puede llegar a representar hasta un 9% del total de las reservas de Carbono de un bosque secundario (Etchevers *et al.* 2001).

2.5.3. Carbono del suelo

El carbono del suelo abarca el carbono orgánico, carbono inorgánico y el carbón vegetal. El bicarbonato, un tipo de carbono inorgánico, está presente en los suelos calcáreos pero es insignificante en los suelos neutros y ácidos. El principal tipo de carbono en el suelo se encuentra en diversas etapas de humificación, y los plazos de recambio llegan hasta cientos (o incluso miles) de años. En las turberas, los plazos de recambio pueden alcanzar los miles de años.

En los suelos minerales, el cambio en el carbono orgánico del suelo es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa de suelo (IPCC, 1997). La concentración de carbono orgánico en los suelos generalmente disminuye con la profundidad y a mayor proporción de reservorios relativamente estables menor la concentración total de carbono. La respuesta más fuerte de la reserva de carbono en el suelo a los cambios en la cobertura terrestre ocurre en los primeros 20-30 cm. Sin embargo, los datos empíricos sólo suelen permitir detectar cambios en la capa de 0-5 cm de profundidad (Locatelli 2007).

En un sistema de regeneración natural (Acahual) se encontró que cerca de un 85% (equivalente a 169 Mg ha⁻¹) del Carbono está contenido en el componente suelo (Etchevers *et al.* 2001).

En un estudio realizado en Perú por Alegre *et al.* (2006) en el cual se cuantificaron las reservas de carbono en diferentes usos de suelo, obtuvieron datos promedio de 68,33 y 19,63 Mg ha⁻¹ en bosques secundarios de 15 y 3 años respectivamente; 22.36 Mg ha⁻¹ para cultivos anuales (maíz) y 35.74 Mg ha⁻¹ para pasturas degradadas.

2.5.4. Carbono en los sistemas agroforestales.

Los sistemas agroforestales (SAF) son formas de uso y manejo de los recursos naturales en las cuales, especies leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Somarriba 1994).

Un sistema agroforestal típico crea una interacción sinérgica entre los cultivos y los árboles para sostener la productividad, mientras que al mismo tiempo el carbono es secuestrado continuamente para la mitigación del clima, los sistemas agroforestales tienen dos beneficios principales para conservar carbono: Almacenaje directo de Carbono a corto y mediano plazo (décadas y hasta siglos) en los árboles y en el suelo y la

reducción indirecta de la emisión de los gases de efecto invernadero causada por la deforestación y la agricultura migratoria (Rojas 2005).

En los sistemas agroforestales el secuestro de carbono es un proceso dinámico y se puede dividir en fases: cuando se establecen muchos sistemas probablemente son fuentes de gases de efecto invernadero, luego sigue una fase rápida de acumulación y período de maduración cuando el carbono es almacenado en los troncos, raíces y en el suelo y al final del periodo de rotación, cuando los árboles son cosechados y la tierra retornada al cultivo (sistemas secuenciales), parte del carbono será lanzado de nuevo a la atmósfera. Por lo tanto, un secuestro efectivo de carbono solo puede ser considerado si hay un balance positivo después de varias décadas al compararlas con una reserva de carbono inicial (Albrecht y Kandji, citado por Acosta y Tupaz 2007).

Uno de los sistemas agroforestales más utilizados en la zona de Chalatenango es el de poda y cobertura también denominado Quesungual, nombrado así en honor a la villa del Norte de Honduras donde fue documentado por primera vez (Hellin, citado por Kearney *et al.* 2017).

En los sistemas de poda y cobertura se pueden intercalar árboles los cuales pueden ser establecidos, o por regeneración natural o llevados al lugar durante la conversión de bosque secundario a área agrícola, los productores escogen cuales especies de árboles mantener en el terreno según sus intereses. La mayoría de árboles son especies que representan una mínima competencia de elementos para los cultivos de interés y que además proveen nutrientes y materia orgánica (Fonte *et al.* 2010). Al eliminar la quema se reduce la mortalidad de árboles, incrementa la regeneración de los árboles, mantiene la cobertura de mulch sobre el suelo, y reduce los incendios espontáneos y la contaminación del aire (Kearney *et al.* 2017).

En un estudio realizado sobre sistemas agroforestales en el municipio de Las Vueltas, Chalatenango (perteneciente a la mancomunidad La Montañona), se estimó el Carbono en 5 fincas con 5 tratamientos: manejo convencional, manejo orgánico, sistema de poda y cobertura establecido a partir de un manejo convencional, sistema de poda y cobertura establecido a partir de un bosque-barbecho y parcela de referencia bosque-barbecho. Se cuantificó 3.9, 9.6, 8.2, 16.9 y 34.3 Mg ha⁻¹, respectivamente para Carbono almacenado en la biomasa leñosa; 28.8, 24.9, 28.1, 30.5 y 31.4 Mg ha⁻¹, respectivamente, en suelo (Kearney *et al.* 2017).

2.5.5. Carbono en paisajes fragmentados.

Al deforestar extensas áreas de bosques se crean paisajes fragmentados, lo cual actúa de manera negativa sobre la biodiversidad debido a que reduce y deteriora hábitats naturales e interrumpe la conectividad, lo que puede afectar significativamente el tamaño de las poblaciones de especies (Saunders *et ál.* 1991, Kattan 2002).

En el pasado, la mayor parte del continente americano estuvo cubierto por extensas áreas de bosques tropicales, pero en la actualidad la deforestación ha reducido estas áreas dejando paisajes fragmentados con numerosos parches de bosque remanente inmersos en una matriz agrícola y ganadera. En estos agropaisajes es común encontrar distintos usos de la tierra con presencia de cobertura arbórea como bosques ribereños, bosques secundarios, árboles dispersos en potreros y árboles presentes en áreas agrícolas (Laurance 2001).

En años recientes se ha demostrado que la cobertura arbórea, tanto a escala de finca como de paisaje, genera servicios ecosistémicos importantes como mantener procesos ecológicos, conservar la biodiversidad y remover carbono atmosférico (Harvey 2001, Montagnini y Nair 2004).

En un estudio realizado en Costa Rica en donde se determinó la diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica, se encontró que los depósitos promedio de carbono en la biomasa de los árboles aportaron 188.35 Mg ha⁻¹ en bosques ribereños, 103.69 Mg ha⁻¹ en bosques secundarios, 22.3 Mg ha⁻¹ en pasturas con alta cobertura arbórea y 20.6 Mg ha⁻¹ en pasturas con baja cobertura arbórea. Los autores concluyeron que los bosques ribereños y los árboles en pasturas juegan un papel importante en la conservación de la biodiversidad arbórea y poseen un alto potencial para el almacenamiento de carbono en el ámbito local y de paisaje (Chacón *et al.* 2008).

En un estudio realizado por Acosta *et al.* (2001) en 3 regiones intertropicales de México encontraron que los suelos contenían en promedio reservas de Carbono de 94 Mg ha⁻¹ en áreas de sistemas naturales (bosques); 67 Mg ha⁻¹ para sistemas de cultivos permanentes, 76.5 Mg ha⁻¹ para cultivos mixtos y 87 mg ha⁻¹ para cultivos anuales.

En otro estudio en donde se determinó la fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral

ecuatoriano se encontró un total de 78.7 Mg ha⁻¹ para el sistema Café + laurel y 81.8 Mg ha⁻¹ para cacao + laurel (Corral *et al.* 2006).

Lapeyre *et al.* en el año 2004 determinaron las reservas de Carbono en la biomasa aérea en diferentes usos de la tierra en Perú en donde se obtuvieron valores de 62.1 Mg ha⁻¹ para bosque secundario (20 años), 4.4 Mg ha⁻¹ para maíz, 2.3 Mg ha⁻¹ para sistema pastos y 19.3 Mg ha⁻¹ para café bajo sombra.

Lal (1998) reporta que es posible capturar el Carbono atmosférico en suelos a través de prácticas de manejo que aumenten la biomasa de las plantas, reduzcan la erosión del suelo y la oxidación microbiana de la materia orgánica del suelo.

2.6. Relación Carbono biomasa.

La reserva de carbono en un árbol individual depende de su tamaño. Los árboles con troncos de 10-19 cm de diámetro pueden tener una biomasa de aproximadamente 135 kg/árbol. Con aproximadamente 900 árboles por ha, la biomasa asociada correspondiente es de 121.50 t/ha (60.75 Mg de C ha⁻¹). Aun así, la mayor cantidad de biomasa se encuentra en los escasos árboles realmente grandes. Con un diámetro a la altura del pecho (DAP) menor o igual a 70 cm, la biomasa por árbol podría ser de aproximadamente 20,000 kg (20 t). Con 10 árboles/ha, la correspondiente biomasa sería de aproximadamente 200 t/ha (100 Mg ha⁻¹). La tabla que figura a continuación resume este ejemplo. Por lo tanto, las implicancias de los grandes árboles en la biomasa (y en el carbono) por hectárea son muy significativas. (White y Minang 2001).

Cuadro 1. Relación de DAP con la masa de los árboles.

DAP (cm)	Kg/árbol	Nº de árboles por ha	Masa (t/ha)	C en Mg ha ⁻¹
10 – 19	135	900.00	121.15	60.58
20 – 29	2,250	70.00	157.50	78.75
30 – 49	8,500	20.00	170.00	85.00
50 – 70	20,000	10.00	200.00	100.00

Fuente: Modificado de White y Minang 2001.

2.7. Metodologías para estimar Carbono.

2.7.1. Método directo.

También es conocido como método destructivo, consiste en medir los parámetros básicos de un árbol, entre los más importantes el DAP, altura total, diámetro de copa y longitud de copa; derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste,

ramas y follaje). A continuación se detallan los pasos a seguir para realizar este tipo de medición (Gonzales 2009):

- Selección de árboles (al menos 20 individuos por especie).
- Medición DAP, altura.
- Derribe, corta en secciones y pesado de cada componente.
- Muestra y cálculo de porcentaje de humedad y peso seco.
- Sumatoria de peso de las secciones es igual a la biomasa total del árbol.
- Elaboración y ajuste del modelo alométrico.

2.7.2. Método indirecto.

Dentro de este método se utilizan técnicas de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco; es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, citado por Francis 2000).

Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho (d), altura comercial (h_c) y total (h_t), crecimiento diamétrico, área basal y la densidad específica de la madera (Francis 2000).

2.8. Modelos alométricos

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas desarrolladas para describir el comportamiento de una variable (dependiente) como el volumen, biomasa o carbono en árboles individuales (Picard *et al.* 2012, citado por Lerma y Orjuela 2014), utilizándose generalmente, modelos “alométricos” de la forma $y = ax^b$, donde “y” es biomasa (en toneladas, kilogramos, otras) y “x” es diámetro a 1.30 metros sobre el nivel del suelo (Ortíz 1993 citado por Aguilar 2001). La obtención de la respuesta a estas variables de interés necesita la medición de variables dasométricas básicas de árboles en pie (variables independientes), tal como el diámetro del fuste a la altura de pecho (DAP), la altura total (ht), altura de reiteración (hr) (entendiéndose esta altura, la medida desde la base del árbol hasta la base de la copa) y otras (Picard, citado por Lerma y Orjuela 2014).

Ortíz, citado por Aguilar (2001) indica que los modelos alométricos se fundamentan en la hipótesis de que el crecimiento proporcional de alguna característica dimensional de un organismo (variable “y”), es una razón constante (el coeficiente “b”) del crecimiento proporcional de alguna otra característica dimensional del mismo organismo, en este

caso la variable “x”. A pesar de ser un modelo no lineal, puede linealizarse utilizando logarítmicos, asimismo el modelo permite la inclusión de la altura del árbol como variable independiente o desarrollar variables combinadas utilizando el diámetro y la altura, por ejemplo, diámetro elevado al cuadrado por la altura ($y = d^2 h$).

2.9. Marco legal en El Salvador sobre medio ambiente y cambio climático.

2.9.1. Ley del Medio Ambiente.

La ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refieren a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada, y la protección ambiental como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en general; y asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en esta materia (MARN 2012).

2.9.2. Ley forestal.

En 1973 la Asamblea Legislativa de la Republica de El promulgó la ley forestal la cual tiene como objetivo: establecer disposiciones que permitan el incremento, manejo y aprovechamiento en forma sostenible de los recursos forestales y el desarrollo de la industria maderera; los recursos forestales son parte del patrimonio natural de la Nación y corresponde al Estado su protección y manejo. Esta Ley busca establecer las condiciones para estimular la participación del sector privado en la reforestación del territorio nacional con fines productivos, sin incluir las áreas protegidas, parques nacionales y los bosques salados, ya que estos no deben ser objeto de explotación comercial por parte del Estado ni de la inversión privada, no obstante la ley garantiza la protección de estos recursos naturales protegidos (MARN 2012a).

2.9.3. Estrategia Nacional del Medio Ambiente.

La Estrategia Nacional de Medio Ambiente es uno de los instrumentos de la Política Nacional del Medio Ambiente 2012, que tiene como gran objetivo revertir la degradación ambiental y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. Esta estrategia se divide en cuatro temas fundamentales en el país los cuales se mencionan a continuación (MARN 2012b):

2.9.3.1. Estrategia Nacional de Biodiversidad

La Estrategia Nacional de Biodiversidad reconoce que la degradación ambiental y los factores que la generan, junto con el cambio climático, son las principales amenazas a la

biodiversidad en El Salvador. Además, considera que al revertir la degradación ambiental no solo se mejoran las condiciones para conservar la riqueza biológica, sino que también se reduce la enorme vulnerabilidad del país frente al cambio climático. Esta Estrategia se articula alrededor de tres ejes fundamentales: Integración estratégica de la biodiversidad en la economía; restauración y conservación inclusiva de ecosistemas críticos, y biodiversidad para la gente (MARN 2012d).

2.9.3.2. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos.

La Estrategia Nacional de Recursos Hídricos se ha estructurado alrededor de tres ejes fundamentales: agua para la vida, agua y economía, agua y territorio. Estos tres ejes estrechamente vinculados entre sí, expresan tres miradas a la problemática hídrica: desde la gente y los ecosistemas, desde la economía y sus requerimientos de agua y desde el territorio, incluyendo la dimensión transfronteriza tan crítica para El Salvador. Dentro de esos ejes se define un conjunto de líneas prioritarias de acción. Para describir la problemática hídrica del país se ha enfatizado en 10 aspectos importantes los cuales se centran en el derecho humano al agua potable y el saneamiento, escasez de agua y desperdicio, contaminación de ríos, contaminación y sobreexplotación de acuíferos, cambio de uso del suelo y pérdida de la capacidad de regulación hídrica, extracción de áridos y alteración de cauces de ríos, degradación de humedales (lagos, lagunas y esteros), impactos de la variabilidad climática: sequías, inundaciones y deslizamientos, adaptación al cambio climático, cuencas y acuíferos transfronterizos (MARN 2012e).

2.9.3.3. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental.

La Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental abarca varios aspectos: la contaminación de suelos por agroquímicos y tóxicos; manejo inadecuado de desechos sólidos y peligrosos; sistemas obsoletos de alcantarillado sanitario; aguas residuales domésticas e industriales sin tratar; rastros municipales insalubres, entornos comunitarios insalubres. La Estrategia se compone de tres ejes fundamentales: el primero es el manejo integral de residuos sólidos, materiales peligrosos y descontaminación de suelos, el segundo eje se refiere al tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas, El tercer eje es sobre saneamiento básico para las zonas peri-urbanas y rurales del país (MARN 2012c).

2.9.3.4. Estrategia Nacional de Cambio Climático.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático de El Salvador, pretende trazar el rumbo, así como proponer ciertos mecanismos y principios en esa materia. La estrategia se ha estructurado alrededor de tres ejes fundamentales: Mecanismos para enfrentar pérdidas

y daños recurrentes, Adaptación al Cambio Climático y Mitigación del Cambio Climático. Se incluyen también cinco temas críticos: Sensibilización, educación y formación, Investigación, Tecnología y Financiamiento (MARN 2012f).

2.10. Programa REDD + MbA y el PREP

La Política Nacional de Medio Ambiente ha adoptado la mitigación basada en adaptación (MbA) y ha lanzado el programa REDD + MbA, el cual busca promover la restauración de ecosistemas fragmentados y paisajes degradados a través de los Sistemas Agroforestales (SAF) como una opción de reforestación para incrementar las reservas de Carbono, de esta forma se busca contribuir a la mitigación del cambio climático (MARN 2012b).

El Salvador prioriza el incremento de las reservas forestales de carbono, principalmente mediante la transformación de prácticas agrícolas, pero también impulsa la reducción de emisiones mediante la reducción de las tasas de deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales existentes en el país (manglares, otros bosques naturales y sistemas agroforestales como los cafetales bajo sombra). (MARN 2012g).

El punto de partida para la propuesta estratégica REDD+ El Salvador ha sido la adaptación, de modo que El Salvador es el primer país en el mundo, cuya Estrategia Nacional REDD+ adopta explícitamente un enfoque de mitigación basada en la Adaptación (MbA). Bajo este enfoque, la meta principal de la Estrategia Nacional REDD+ es la Adaptación mediante una restauración del paisaje a gran escala, logrando a la vez mejoras en materia de mitigación por el aumento de las reservas de carbono en el territorio mediante la captura y fijación de emisiones de gases de efecto invernadero en el suelo restaurado y en la vegetación (MARN 2012g).

La Estrategia Nacional REDD+ busca contribuir a las grandes metas de la Política Nacional del Medio Ambiente 2012 que son revertir la degradación ambiental y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. Asimismo, se enmarca dentro del Programa Nacional de Restauración de Ecosistemas y Paisajes (PREP) que busca la restauración del paisaje rural a gran escala a través de la masificación de prácticas agropecuarias basadas en la agroforestería y en la restauración y conservación inclusiva de ecosistemas críticos, especialmente humedales y ecosistemas forestales remanentes tales como bosques de galería, plantaciones forestales, sistemas agroforestales existentes como los cafetales y bosques en Áreas Naturales Protegidas (MARN 2012g).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del estudio.

3.1.1 Ubicación.

La investigación se desarrolló de marzo a octubre de 2016, en el municipio de Comalapa, Chalatenango, uno de los siete municipios que integran La Mancomunidad La Montañona (Chalatenango, Las Vueltas, Ojos de Agua, El Carrizal, La Laguna y Concepción Quezaltepeque). Se encuentra a 490 metros al nivel del mar, entre los 14°08'00" latitud Norte y 88°57'00" longitud Oeste; con una temperatura promedio de 31° y humedad relativa de 71% (MAG 2010). En cuanto al relieve predominan terrenos escarpados, en su mayoría con pendientes mayores al 12%.

Limita al Norte con Dulce Nombre de María; al este, con La Laguna; al Sur, con Concepción Quezaltepeque; al Oeste con Santa Rita y Dulce Nombre de María. La extensión territorial del municipio es de 28.22 km². En 2005 su población era de 4,516 habitantes. Administrativamente se divide en 4 cantones y 20 caseríos (Candray *et al.* 2009)

3.2. Selección de los productores.

La población total de productores considerados dentro del área de intervención del proyecto ABES fue de 160 (seleccionados aleatoriamente del listado total de familias del municipio), el cual tenía como objetivo principal, conocer la situación socioeconómica de los productores del municipio de Comalapa, Chalatenango. De éstos, se seleccionaron 40 fincas tomando de base los siguientes criterios: área de la finca (una manzana como mínimo), que tuvieran al menos dos de los tres sistemas evaluados (granos básicos, pastos y bosques secundarios) y disponibilidad del propietario o propietaria para colaborar en la investigación (García 2015)³.

3.3. Caracterización de las fincas

La caracterización socioeconómica de las fincas en estudio, se hizo tomando como base la información generada por el CIAT (Valbuena 2014), para lo cual utilizaron un instrumento que consta de 13 preguntas que incluyen la información general de los productores, aspectos relacionados a la producción y manejo de sus parcelas (A-1).

³ García E. 2015. selección de productores y muestreo de carbono (entrevista) Chalatenango.SV. CIAT

3.4. Sistemas en estudio.

Se seleccionaron ocho usos de la tierra, tomando de referencia las densidades de árboles, los cuales se describen a continuación:

3.4.1. Cultivo

Se denomina cultivo en este estudio, a las parcelas o áreas de la finca en donde el productor siembra o haya sembrado en los dos últimos años, cultivos como el maíz, frijol y maicillo. Se dividió en:

- a) Cultivo con baja densidad de árboles (menos de 50 árboles por hectárea). (CBD).
- b) Cultivo con alta densidad de árboles (más de 50 árboles por hectárea) (CAD).

3.4.2. Pasturas

Se clasifican como pasturas a las áreas dentro de la finca destinadas para la siembra de forraje y pasto para el ganado. Se dividió en:

- a) Pastura tradicional o sin árboles (cero arboles por hectárea) (PT).
- b) Pastura con baja densidad de árboles (menos de 100 árboles por hectárea). (PBD).
- c) Pastura con alta densidad de árboles (más de 100 árboles por hectárea). (PAD).

3.4.3. Bosque

Se consideran aquellas áreas dentro de la finca en donde no se trabaja la tierra, se divide en tres:

- a) Bosque secundario: área dentro de la finca abandonada o en descanso con un tiempo mayor a 5 años a partir de su último uso (BS).
- b) Áreas en descanso (AD) área dentro de la finca abandonada o en descanso con un tiempo menor a 5 años a partir de su último uso.
- c) Cultivos perennes abandonados: se considera en esta categoría a aquellas parcelas dedicadas a cultivos perennes que se dejaron de trabajar, en donde se incluyen las especies de Cítricos, Café y Musáceas (CPA).

3.5. Metodología de campo.

3.5.1. Muestreo de vegetación.

En cada finca y uso de la tierra seleccionado se determinó el área de mayor representatividad en base a la topografía del terreno. En ésta, se estableció una parcela

temporal de medición rectangular con un tamaño de 0.1 ha (20 m x 50 m). En cada parcela se desarrolló el conteo de árboles y se identificó el nombre de la especie, su DAP (Diámetro a la Altura del Pecho en centímetros) y altura total (H) en metros para todos los individuos con DAP mayor a 2.5 cm (Figura A-1). La identificación de las especies arbóreas se realizó en el campo con la ayuda de personas locales que conocían los nombres comunes (Figura A-2), y luego con el uso de guías dendrológicas se determinó el nombre científico (Acevedo 2005, Gentry 1993, Holdridge *et al.* 1997). Para los árboles que no se identificaron en campo, se colectaron las muestras para ser evaluadas con los encargados del proyecto HUMIDTROPICS, ABES del CIAT y otros especialistas.

3.5.2. Muestreo de hojarasca.

En cada parcela de medición se establecieron cuatro puntos de muestreo de la hojarasca. La selección de los puntos de muestreo se definió con un patrón sistemático a 3 m de las esquinas de las parcelas (Figura A-1), donde se colectó todo el material muerto y verde en un área de 0.25 m² y colocado en bolsas de polietileno para posteriormente ser pesado en basculas electrónicas.

3.5.3. Muestreo de necromasa.

Se utilizó el método de líneas de intercepción para estimar el volumen de madera gruesa caída en la parcela (MAP 2006). Se utilizó una cinta métrica para medir la distancia y se colocó sobre el suelo para crear una línea de transepto. Se midió todo el material leñoso con un diámetro mayor a 0.5 cm que estuviera a lo largo del intercepto o línea (Figura A-1). El material leñoso con diámetro < 0.5 cm no se tomó en cuenta ya que este está incluido en el muestreo de hojarasca.

3.5.4. Muestreo de suelos

En el transepto delimitado para el muestreo de necromasa se tomaron muestras de suelo en tres puntos, a 3 m, 25 m y 47 m (Figura A-1), a 20 cm de profundidad, ya que esta profundidad es la que se considera de mayor representatividad para estimar materia orgánica en el suelo (Aguilar *et al.* 2012). Las submuestras se extrajeron con ayuda de un barreno, posteriormente se mezcló y se homogenizó para obtener una muestra compuesta (debidamente rotulada) de una libra, la cual fue enviada al laboratorio del CENTA para determinar su contenido de materia orgánica.

3.6. Fase de laboratorio.

3.6.1. Secado y pesado de la hojarasca.

Las muestras de hojarasca fueron colocadas en bolsas de papel y secadas al horno a 70° C por 72 horas y posteriormente se pesaron utilizando una balanza electrónica.

3.6.2. Preparación de muestras botánicas.

Las muestras botánicas colectadas de las especies que no fueron identificadas en campo, se prepararon, secaron al horno a 70° C por 60 horas. Este proceso se realizó con la finalidad de conservar la muestra vegetal para posteriormente ser identificada con una guía taxonómica.

3.6.3. Determinación de la materia orgánica del suelo.

La materia orgánica del suelo fue analizada en el laboratorio de suelos del CENTA por el método de Walkley y Black o combustión húmeda.

3.7. Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI)

El índice de valor de importancia define cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema (Cottam y Curtis 1956 citado por Campo y Dubal 2014).

Se determinó la frecuencia y dominancia en base a la cantidad de individuos por especie y su área basal.

Frecuencia: (número de individuos de la especie/ número total de individuos) * 100

Dominancia: área basal por especie/ total del área basal) * 100

El IVI resulta de sumar la frecuencia relativa y dominancia de las especies.

3.8. Estimación de carbono almacenado.

3.8.1. Carbono en biomasa arbórea

El carbono en la biomasa arbórea fue estimado por medio de ecuaciones alométricas basadas en el DAP. Las ecuaciones alométricas fueron seleccionadas de la literatura, para especies encontradas en el bosque seco tropical, de acuerdo a la selección descrita en cuadro 2.

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arbórea

Especie	Modelo	Fuente
<i>Cordia alliodora</i>	$B = 10^{-0.755 + 2.072 \cdot \log_{10}(\text{DAP})}$	Segura <i>et al.</i> 2006, citado por González 2009
Árboles de bosque seco tropical (usando densidad de madera)	$\text{AGB} = p e^{(-0.0667 + 1.784 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)}$	Chave <i>et al.</i> 2005
Árboles de bosque seco tropical	$y_i = 0.37(\text{DAP})^{1.96}$	Nàvar 2009
Musa spp	$W = 0.03(\text{DAP})^{2.13}$	Arifin <i>et al.</i> 2001, citado por Rapidel <i>et al.</i> 2011

Fuente: Adaptado de González, 2009.

La biomasa de todos los árboles por parcela fue extrapolada por hectárea (el área de muestreo fue de 0.1 ha) y posteriormente el carbono fue estimado multiplicando por 0.5, ya que las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales en su gran mayoría asumen el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general (Brown y Lugo citado por Segura 1999).

3.8.2. Carbono en hojarasca

Los pesos obtenidos de los muestreos de hojarasca fueron extrapoladas de los cuadrantes medidos (0.25 m²) a hectárea. Para determinar el carbono en hojarasca se multiplicó el peso seco de la biomasa por 0.5, ya que según Ramírez y Montalvo (2006) la mitad del peso seco es Carbono.

3.8.3. Carbono en la necromasa

El volumen (V) (m³ ha⁻¹) de la necromasa para un transecto individual se determinó usando ecuación propuesta por van Wagner (1998)

$$V (m^3 ha^{-1}) = \frac{\pi^2 \sum (d_n)^2}{8L}$$

Donde d_n es el diámetro de cada pieza de necromasa y L es la longitud del transecto usado. La biomasa se estimó a partir de datos de densidad de la necromasa existente en la literatura (0.4 para necromasa de tamaño medio). El carbono al igual que con la hojarasca y la biomasa aérea se obtuvo de multiplicar el peso seco por 0.5.

3.8.4. Carbono orgánico en suelo

Para obtener el porcentaje de materia orgánica de cada muestra se modificó la fórmula propuesta por Hernández *et al.* (2014) para obtener el carbono por hectárea almacenado a la profundidad de muestreo:

$$CS = CC \times (VS \times Da)$$

Donde:

CS: carbono del suelo (Mg ha⁻¹)

CC: contenido de C (%) obtenido de dividir el porcentaje de la materia orgánica entre 1.72

VS=Volumen de suelo en una ha (10,000 m² x 0.2 m de profundidad).

Da: densidad aparente (se asumirá un valor de 1 t/m³)

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Caracterización de las fincas.

Para resultados de este apartado, se tomó como base el estudio realizado en la zona por Valbuena (2014) del CIAT.

4.1.1. Tenencia de la tierra y tamaño de las fincas.

Los 40 productores considerados son dueños de la parcela; uno de los requisitos para seleccionar a los productores de este estudio es que tuvieran como mínimo una 0.1 hectáreas de terreno. Sin embargo, en un sondeo realizado en la zona se determinó que la mayoría de productores de la zona trabajan en tierra arrendada (57.14%), 40% trabajan tierras propias y 2.86% es tierra prestada.

Según Valbuena (2014) el tamaño promedio de las fincas es de 2.42 mz, la mayoría de productores poseen menos de 10 mz de terreno, sin embargo, hay un grupo reducido que tienen hasta 60 mz de terreno (7.5 %).

Basado en el tamaño de la finca, se pueden identificar cuatro grupos: muy pequeño (área menor a 0.5 mz de terreno), pequeño (área menor o igual a 1 mz de terreno), mediano (área menor o igual a 3 mz) y grande (área de terreno de más de 3 mz), (Valbuena 2014). Los productores considerados en este estudio pueden clasificarse como medianos (42.50%) y grandes (57.50%).

4.1.2. Fuentes de ingreso.

Existen diversas fuentes de ingresos para los productores de la zona, El 37% de los productores encuestados dijeron que sus ingresos provienen de la agricultura, el 20% mencionan que los pequeños negocios, 17% dijo que la ganadería, 9% menciona que de la construcción, otro 9% dijo que recibe ayuda del extranjero, el 6% son asalariados y 3% son jornaleros.

Esto concuerda con los resultados de Valbuena (2014), ya que los productores muy pequeños y pequeños productores se ven obligados a buscar fuera de las fincas los ingresos económicos necesarios para el sustento de la familia; la mayoría medianos productores también obtienen sus ingresos fuera de la finca; sin embargo, las actividades como venta de cultivos e ingresos por animales contribuyen a aumentar los ingresos; en el caso de los grandes productores obtienen los ingresos principalmente de la venta de animales (ganado) y complementan sus ingresos con trabajo fuera de la finca.

4.1.3. Agricultura y ganadería

En el municipio de Comalapa, Chalatenango, 22.85% de los productores se dedican a la ganadería y poseen entre 2 y 40 animales, con un promedio de 3 animales.

El maíz, frijol y sorgo son los cultivos de mayor importancia en la zona, los dos primeros tienen mayor relevancia ya que el 100% de los productores los cultivan; con respecto al sorgo, 71.42% lo cultiva principalmente para alimento de ganado (para ensilado) o de aves. El 60 % de los productores destinan el 58% del maíz y el 45.71% del frijol para la venta.

El 100% de los productores la preparación de la tierra la realiza, aplicando herbicidas y luego limpiando de machete. La primera fertilización la realizan con formula química 16-20-0 y una segunda con sulfato de amonio.

Únicamente un 9% de los productores realizan quema de rastrojos para preparar el terreno para la siembra, pero esta práctica la realiza de forma parcial (controlada), es decir, que los colocan en montones y los queman en diferentes sitios de las parcelas.

4.1.4. Manejo de la hojarasca

Una practica comun en la zona es dejar los rastrojos de los cultivos para consumo del ganado durante los meses de enero a mayo. El 77% de los productores acostumbran dejar la hojarasca como cobertura del suelo, ya que es una práctica muy difundida entre la población, el 11.42% la quema y otro 11.42% la saca del terreno.

4.2. Especies arbóreas encontradas

En el muestreo se encontró un total de 2,330 árboles, de 93 especies y 45 familias. Los datos se obtuvieron mediante la sistematización del número de individuos de cada familia encontrada, los resultados se detallan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Especies arbóreas encontradas y su respectivo almacenamiento de C.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Total	Carbono (Mg ha ⁻¹)	∑ DAP (m)
Aceituno	<i>Simarouba glauca</i>	Simaroubaceae	24	1.25	2.76
Achote	<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	1	0.03	0.12
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	52	7.74	10.53
Almendra de río	<i>Andira inermis</i>	Papilionoideae	25	1.78	4.75

Anona	<i>Annona diversifolia</i>	Annonaceae	7	0.46	1.08
Barillo	<i>Calophyllum brasiliense</i> var. <i>Rekoi</i>	Clusiaceae	6	0.80	1.07
Café	<i>Coffea arabica</i>	Rubiaceae	85	3.29	8.55
Caimito	<i>Chrysophyllum cainito</i>	Sapotaceae	1	0.01	0.04
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	Lauraceae	1	0.06	0.17
Capulín	<i>Trema micrantha</i>	Ulmaceae	6	0.07	0.39
Carao	<i>Cassia grandis</i>	Caesalpinaceae	1	0.01	0.07
Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculiaceae	26	1.44	3.02
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	57	4.69	8.70
Cedro macho	<i>Cedrela salvadorensis</i>	Meliaceae	2	0.29	0.49
Cedro Montes	<i>Cedrela oaxacensis</i>	Meliaceae	7	0.03	0.21
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	2	0.01	0.04
Cerezo	<i>Parathesis vulgata</i>	Myrsinaceae	1	0.01	0.03
Chaparro	<i>Curatella americana</i>	Dilleniaceae	127	7.84	15.70
Chapelmo	<i>Clitoria glaberrima</i>	Fabaceae	18	0.67	1.94
Chichipince	<i>Hamelia patens</i>	Rubiaceae	2	0.01	0.07
Chilamate	<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	2	0.01	0.10
Chupamiel	<i>Combretum erianthum</i>	Combretaceae	19	0.30	1.40
Cicahuite	<i>Lysiloma auritum</i>	Fabaceae	2	0.04	0.15
Cincho	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	Papilionoideae	7	0.61	0.97
Cincuya	<i>Annona purpurea</i>	Annonaceae	4	0.07	0.29
Cirín	<i>Conostegia icosandra</i>	Melastomataceae	104	4.97	11.34
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	Myrtaceae	4	0.06	0.31
Cobano	<i>Swietenia humilis</i>	Meliaceae	39	2.52	5.53
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	5	0.32	0.83
Conacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	4	0.06	0.31
Contamal	<i>Luehea speciosa</i>	Tiliaceae	31	1.82	4.00
Copinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	Caesalpinaceae	25	1.91	2.68
Cordoncillo	<i>Citharexylum mocinnii</i>	Verbenaceae	8	0.81	1.10
Cortez amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Bignoniaceae	10	0.15	0.75
Cortez blanco	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	Bignoniaceae	16	0.87	1.81

Granado	<i>Punica granatum</i>	Punicaceae	1	0.06	0.17
Guachipilin	<i>Diphysa americana</i>	Papilionoideae	13	0.49	1.46
Guacuco	<i>Eugenia salamensis</i>	Myrtaceae	179	15.46	26.54
Guanaba	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	2	0.01	0.08
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>	Moraceae	23	1.44	3.14
Guayabo	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	146	9.69	19.28
Guilguishte	<i>Karwinskia calderonii</i>	Rhamnaceae	5	0.27	0.67
Hoja de jarra	<i>Xylosma flexuosum</i>	Flacourtiaceae	11	0.19	0.84
Huerta	<i>Musa sp</i>	Musaceae	41	5.91	18.51
Ixcanal	<i>Acacia cornigera</i>	Mimosaceae	3	0.11	0.39
Izote	<i>Yucca guatemalensis</i>	Liliaceae	17	1.43	2.44
Jague	<i>Clusia multiflora</i>	Clusiaceae	47	1.53	4.80
Jiote	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	54	2.33	6.32
Jocote	<i>Spondias purpurea</i>	Anacardiaceae	11	1.46	2.20
Jocote naro	<i>Stenmmadenia obovata</i>	Apocynaceae	2	0.02	0.12
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	176	60.37	20.36
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	Fabaceae	6	1.41	1.38
Limón	<i>Citrus limon</i>	Rutaceae	4	0.09	0.35
Limón pérsico	<i>Citrus latifolia</i>	Rutaceae	1	0.14	0.27
Madrecacao	<i>Gliricidia sepium</i>	Papilionoideae	272	14.23	32.84
Mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i>	Sapindaceae	3	0.25	0.45
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	7	1.32	2.17
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	26	1.24	3.31
Mano de león	<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	4	0.07	0.31
Manzana rosa	<i>Syzygium jambos</i>	Myrtaceae	2	0.23	0.40
Maquilishuat	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	26	2.02	3.00
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	16	0.58	1.48
Matazano	<i>Casimiroa sapota</i>	Rutaceae	2	0.02	0.13
Memble	<i>Poeppigia procera</i>	Caesalpiniaceae	4	0.10	0.37
Mulato	<i>Triplaris melaenodendron</i>	Polygonaceae	20	0.01	3.04
Nacaspilo	<i>Inga preusii</i>	Mimosaceae	4	0.22	1.80
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	55	2.59	6.18
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	6	0.54	1.15
Naranja	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae	3	0.55	0.88

agria					
Nixtamalillo	<i>Margaritaria nobilis</i>	Euphorbiaceae	38	2.08	4.50
Ojushte	<i>Brosimum alicastrum</i>	Moraceae	5	0.54	0.82
Pacún	<i>Sapindus saponaria</i>	Sapindaceae	3	0.02	0.14
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	3	0.03	0.20
Paterno	<i>Inga paterno</i>	Mimosaceae	1	0.22	0.34
Pepeto	<i>Inga vera</i>	Mimosaceae	34	0.70	1.09
Pie de venado	<i>Bauhinia unguolata</i>	Caesalpiniaceae	79	7.55	13.34
Pimiento	<i>Piper nigrum</i>	Piperaceae	3	0.01	0.09
Pito	<i>Erythrina berteriana</i>	Papilionoideae	1	0.01	0.08
Polvo de queso	<i>Albizia niopoides</i>	Fabaceae	1	0.01	0.14
Quebracho	<i>Acacia centralis</i>	Fabaceae	2	0.06	1.06
Quina	<i>Coutarea hexandra</i>	Rubiaceae	6	1.30	1.46
Roble	<i>Licania arborea</i>	Chrysoblanaceae	5	0.10	0.35
San Andrés	<i>Tecoma stans</i>	Bignoniaceae	2	0.10	0.28
Sucunam	<i>Vernonia sp</i>	Asteraceae	52	1.67	4.98
Tecoma-suche	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Cochlospermaceae	20	0.99	2.00
Tempate	<i>Jatropha curcas</i>	Euphorbiaceae	3	0.04	0.21
Tihuilote	<i>Cordia dentata</i>	Boraginaceae	33	3.55	5.94
Uña de gato	<i>Machaerium biovulatum</i>	Fabaceae	1	0.02	0.09
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>	Sapotaceae	8	0.01	0.71
Zapotillo	<i>Pouteria glomerata</i>	Sapotaceae	2	0.01	0.04
Zorrillo	<i>Roupala glaberrima</i>	Proteaceae	97	6.52	14.66
Zunsa	<i>Licania platypus</i>	Chrysoblanaceae	8	1.40	2.87
Total			2,330	198.37	313.52

Las tres especies de mayor importancia respecto a la captura de C son *Cordia alliodora*, *Eugenia salamensis* y *Gliricidia sepium*, con 60.37, 15.46 y 14.23 Mg ha⁻¹ de C, respectivamente. A pesar que *Gliricidia sepium* tiene 272 individuos, no es la especie que almacena la mayor cantidad de C, debido a que son árboles pequeños con un DAP medio de 0.12 m y reciben frecuentemente podas, esto concuerda con lo reportado por White y Minang (2001) quienes mencionan que los árboles grandes tienen implicaciones significativas en cuanto a la biomasa arbórea y consecuentemente en el almacenamiento de C.

4.3. Familias de las especies arbóreas encontradas

Las 2,330 especies encontradas se agrupan en 45 familias, de las cuales se presentan las 10 principales en cuanto al número de individuos (cuadro 4).

Cuadro 4. Familias de las especies arbóreas encontradas en el estudio

Familia	Número de especies	Equivalencia de la población total (%)
Fabaceae	6	6.45
Rutaceae	6	6.45
Mimosaceae	5	5.38
Papilionoideae	5	5.38
Annonaceae	4	4.30
Bignoniaceae	4	4.30
Caesalpinaceae	4	4.30
Meliaceae	4	4.30
Myrtaceae	4	4.30
Anacardiaceae	3	3.23
Otras familias (35)	48	51.62
Total	93	100.00

Las familias Fabaceae y Rutaceae, son las que agrupan la mayor cantidad de especies (6 cada una), ambas constituyen un 12.90 % del total. Más de la mitad (51.62%) de la población, representada por 48 especies, están agrupadas en la categoría otras especies. Esto permite evidenciar que en los sistemas en estudio existen 10 familias que son de mayor presencia en la zona comparado con las otras 35 familias de la categoría otras.

Al realizar una comparación con el cuadro 3, las familias con mayor número de especies no coinciden con las de las tres especies que almacenan la mayor cantidad de C (Boraginaceae, Myrtaceae y Papilionoideae), las cuales están dentro de la categoría de Otras familias, esto indica que pocas familias agrupan la mayor parte de la individuos de una especie, es decir existe una predominancia de familias con menos de tres especies.

4.4. Especies de mayor importancia según el Índice de Valor de Importancia

Se calculó el Índice de Valor de Importancia combinando el área basal y la frecuencia de las especies encontradas en los tres sistemas evaluados, los cuales se detallan a continuación:

4.4.1. Especies encontradas en el sistema bosque

En el sistema bosque se encontraron 39 especies en el uso de suelo AD, 48 especies en el uso de suelo bosque secundario y 51 especies en Cultivo perenne abandonado, en el cuadro 5 se detallan las diez principales en cada uso de suelos.

Cuadro 5. Especies de mayor Índice de Valor de Importancia en el sistema bosque

Sistema bosque					
AD*		BS*		CPA*	
Especie	IVI	Especie	IVI	Especie	IVI
<i>Persea americana</i>	30.00	<i>Conostegia icosandra</i>	22.34	<i>Musa sp</i>	72.49
<i>Roupala glaberrima</i>	18.08	<i>Gliricidia sepium</i>	18.75	<i>Coffea arábica</i>	22.19
<i>Inga pavoniana</i>	16.88	<i>Luehea speciosa</i>	14.84	<i>Cedrela odorata</i>	13.65
<i>Mangifera indica</i>	12.02	<i>Curatella americana</i>	13.29	<i>Eugenia salamencis</i>	11.58
<i>Eugenia salamencis</i>	10.94	<i>Cordia alliodora</i>	11.43	<i>Persea americana</i>	9.70
<i>Cedrela odorata</i>	8.95	<i>Bursera simaruba</i>	9.57	<i>Cordia alliodora</i>	6.94
<i>Tabebuia rosea</i>	8.25	<i>Roupala glaberrima</i>	8.52	<i>Inga pavoniana</i>	5.89
<i>Psidium guajava</i>	7.45	<i>Cordia dentata</i>	8.28	<i>Mangifera indica</i>	4.71
<i>Guazuma ulmifolia</i>	7.42	<i>Clusia multiflora</i>	7.32	<i>Swietenia humilis</i>	4.67
Otros (30 sp)	80.00	Otros (49 sp)	85.66	Otros (42 sp)	48.19

AD: Área en descanso; **BS:** Bosque secundario; **CPA:** Cultivo perenne abandonado.

Las especies que tienen mayor contribución a la estructura del paisaje del sistema bosque son *Persea americana* (30%), *Conostegia icosandra* (22.34%) y *Musa sp* (72.49%), combinando su número de individuos y área basal. Sin embargo, el paisaje total está constituido en su mayoría por más de 30 especies, las cuales representan 80% en AD, 85.66% en BS y 48.19 en CPA. En el caso del uso de suelo CPA, la especie *Musa sp* representa un 70% de contribución esto se debe a que el tallo de la especie es de un diámetro superior comparado con otras especies.

En los usos de suelo BS y CPA se reportó una cantidad similar de especies (58 y 51 respectivamente) esto se debe al tiempo de manejo de las parcelas que tienen más de cinco años de no ser cultivadas, este tiempo ha permitido que muchas especies puedan crecer mediante la regeneración natural, en cambio en AD las parcelas tienen menos de cinco años de no ser cultivadas lo que no ha permitido que las especies se reproduzcan

en las parcelas, muchos árboles no se incluyeron debido a que su DAP era menor a 2.5 cm.

4.4.2. Especies encontradas en el sistema Cultivo

En el cuadro 6 se muestran las especies encontradas en las parcelas del sistema cultivo detalladas por cada uso del suelo.

Cuadro 6. Especies de mayor Índice de Valor de Importancia en el sistema cultivo

Sistema cultivo			
CAD		CBD	
Especie	IVI (%)	Especie	IVI (%)
<i>Gliricidia sepium</i>	48.66	<i>Cordia alliodora</i>	43.21
<i>Curatella americana</i>	25.37	<i>Gliricidia sepium</i>	21.16
<i>Cordia alliodora</i>	18.49	<i>Byrsonima crassifolia</i>	21.01
<i>Psidium guajava</i>	14.26	<i>Cedrela odorata</i>	18.92
<i>Byrsonima crassifolia</i>	14.07	<i>Eugenia salamencis</i>	18.57
<i>Eugenia salamencis</i>	10.82	<i>Guazuma ulmifolia</i>	17.08
<i>Andira inermis</i>	10.30	<i>Anacardium occidentale</i>	16.87
<i>Bauhinia unguolata</i>	8.90	<i>Simarouba glauca</i>	13.87
<i>Hymenaea courbaril</i>	8.10	<i>Vernonia sp</i>	10.43
Otros (24 sp)	41.05	Otros (4 sp)	18.88

CAD: Cultivo con alta densidad; **CBD:** Cultivo con baja densidad

En este sistema, *Gliricidia sepium* y *Cordia alliodora* son las especies que predominan en el paisaje en los dos usos de suelo. De 34 especies encontradas en CAD, 24 representan un 41.05%, difiere únicamente con un 7.61% con la especie con mayor IVI (*G. sepium* con 48.66%). En CBD, se encontraron únicamente 13 especies, de las cuales las 9 detalladas en el cuadro representan un 181.12% del total. Las especies principales son en su mayoría forestales, con usos forrajeros o maderables. En ambos usos de suelo se encuentran presentes las tres especies que almacenan la mayor cantidad de C (*C. alliodora*, *E. salamensis* y *G. sepium*), esto indica que estas especies son consideradas de utilidad por los productores en las parcelas de cultivo a su vez que contribuyen en gran medida a la configuración y estructura del paisaje.

4.4.3. Especies encontradas en el sistema Pasturas

El sistema pasturas está constituido por tres usos de suelos, sin embargo, potrero tradicional no registra árboles, es por tal motivo que en el cuadro 7 se describen únicamente dos usos de suelos.

Cuadro 7. Especies de mayor Índice de Valor de Importancia en el sistema pasturas

Sistema pasturas			
PAD		PBD	
Especie	IVI (%)	Especie	IVI (%)
<i>Curatella americana</i>	31.47	<i>Psidium guajava</i>	59.82
<i>Gliricidia sepium</i>	26.87	<i>Eugenia salamencis</i>	16.02
<i>Eugenia salamencis</i>	23.42	<i>Gliricidia sepium</i>	15.83
<i>Andira inermis</i>	14.1	<i>Leucaena leucocephala</i>	14.48
<i>Byrsonima crassifolia</i>	13.91	<i>Anacardium occidentale</i>	14.14
<i>Cordia alliodora</i>	13.49	<i>Tabebuia rosea</i>	13.13
<i>Roupala glaberrima</i>	12.6	<i>Byrsonima crassifolia</i>	12.86
<i>Hymenaea courbaril</i>	10.2	<i>Swietenia humilis</i>	12.62
<i>Anacardium occidentale</i>	7.9	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	6.22
Otros (20 sp)	46.1	Otros (11 sp)	34.87

*: **PAD:** Potrero con alta densidad, **PBD:** potrero con baja densidad

En el uso de suelo PAD se encontraron 29 especies, de las cuales, 20 son las que contribuyen mayormente (46.10%) a la configuración y estructura del paisaje; en el caso de PBD *Cordia alliodora* es la especie que reporto mayor IVI (43.21%), en este uso de suelo únicamente se registraron 13 especies. Al comparar ambos usos de suelo se puede observar que en ambos se encuentran presentes las tres especies que almacenan la mayor cantidad de C (*C. alliodora*, *E. salamensis* y *G. sepium*), por tanto son muy especies características en las parcelas dedicadas a las pasturas debido a los usos que los productores pueden darles (madera, leña, postes, entre otros). Sin embargo los productores muestran atención en introducir más especies forrajeras en los potreros tal como se puede evidenciar en el PBD, donde se encuentra *Leucaena leucocephala*.

4.5. Reserva de Carbono de la biomasa aérea y de suelos en los sistemas.

El Carbono de la biomasa aérea está compuesto por el C en biomasa, necromasa y hojarasca; mientras que el C de suelos está constituido por el C orgánico del suelo (cuadro 8).

Cuadro 8. Estimación de C en la biomasa aérea y de suelos en diferentes usos de suelos.

Sistema	Uso del suelo*	Carbono suelo	Carbono biomasa aérea	Total
		Mg ha-1		
Bosque	AD	38.51	70.95	109.46
	BS	39.65	49.92	89.58
	CPA	37.46	81.14	118.60
	Promedio	38.61	65.89	104.50
Cultivo	CAD	31.05	26.34	57.40
	CBD	24.77	9.00	33.77
	Promedio	28.69	19.84	48.54
Pasturas	PAD	32.21	27.54	59.75
	PBD	33.36	7.49	40.85
	PT	30.77	4.38	35.15
	Promedio	32.12	14.03	46.16

*: **AD**: Área en descanso; **BS**: Bosque secundario; **CPA**: Cultivo perenne abandonado; **CAD**: Cultivo con alta densidad; **CBD**: Cultivo con baja densidad; **PAD**: pastura con alta densidad; **PBD**: pastura con baja densidad y **PT**: Potrero tradicional.

Al analizar los datos promedio en cada sistema, se encontró que en Cultivo y Potrero, el C en suelo (28.69 y 32.12 Mg ha⁻¹, respectivamente) se almacena en mayor cantidad que en la biomasa aérea (19.84 y 14.03 Mg ha⁻¹, respectivamente); sin embargo, el sistema bosque reportó un comportamiento contrario, ya que el C almacenado en la biomasa aérea (65.89 Mg ha⁻¹) es superior al C almacenado en el suelo (38.61 Mg ha⁻¹).

Como se logra apreciar en la figura 1; el mayor valor (81.14 Mg ha⁻¹) se encontró en el Cultivo Perenne Abandonado (CPA); mientras que el menor (4.38 Mg ha⁻¹) en el Potrero Tradicional (PT). Los resultados obtenidos están dentro del rango reportado por Kearney *et al.* (2012) en la mancomunidad La Montañona, que fue de 0.00 a 121.20 Mg C ha⁻¹ para la biomasa aérea. Estos autores también reportaron que 191,600 Mg C son almacenados en la biomasa aérea en el mismo sitio. De éste, 72% (137,955 Mg) se almacena en Bosques, 6% (11,496 Mg) en Arbusto/Matorral y 22% (42,152 Mg) en Tierra Cultivada. Sin embargo, el valor es bajo comparado con un estudio realizado en Nicaragua, en donde se estimó el C almacenado en bosques secundarios jóvenes (10 – 25 años) entre 25.2 y 68.8 Mg ha⁻¹ (Suarez *et al.* 2002 citado por Kearney *et al.* 2012).

Esto se debe principalmente a que en el sistema bosque existe mayor cantidad de árboles los cuales representan una valiosa fuente de almacenamiento de C, que puede

llegar a superar el C en el suelo. Este resultado concuerda con lo obtenido por Kearney *et al.* (2012), ya que el valor más alto de biomasa aérea fue reportado para los sitios de bosque.

Esto refleja la importancia de la incorporación de árboles en las parcelas de los productores, ya que esto se traduce en un almacén de C total, es decir si se convirtiera el potrero tradicional a potrero con baja densidad (< de 100 árboles por ha), se incrementaría en 5.7 Mg ha⁻¹ de Carbono y un 24.6 Mg ha⁻¹ si se convierte a potrero con alta densidad (> de 100 árboles por ha).

Para el caso de las parcelas de cultivo, se pueden incrementar en 23.63 Mg ha⁻¹ las reservas de C incorporando mayor cantidad de árboles, es decir, pasar de una densidad mayor a 50 árboles por ha.

En el caso de convertir los terrenos de cultivo anuales a Cultivos perennes, se podría superar los 118.60 Mg de C ha⁻¹ reportados en esta investigación, lo que significa una diferencia de 70.06 Mg de C ha⁻¹.

El IPCC (2000), reporta valores de 230 Mg C ha⁻¹ para bosque, 80 Mg C ha⁻¹ para agroforestación y 29 Mg C ha⁻¹ para cultivos anuales. Comparados con estos valores, los obtenidos en Comalapa, Chalatenango, son bajos, ya que se tiene en promedio 65.89 Mg C ha⁻¹ para bosque, 19.84 Mg C ha⁻¹ para cultivo y 14.03 Mg C ha⁻¹ para potrero.

4.5.1. Reservas de Carbono en el suelo

Las reservas de C en el suelo variaron de 39.66 a 24.77 Mg ha⁻¹ con un promedio de 32.13 Mg ha⁻¹.

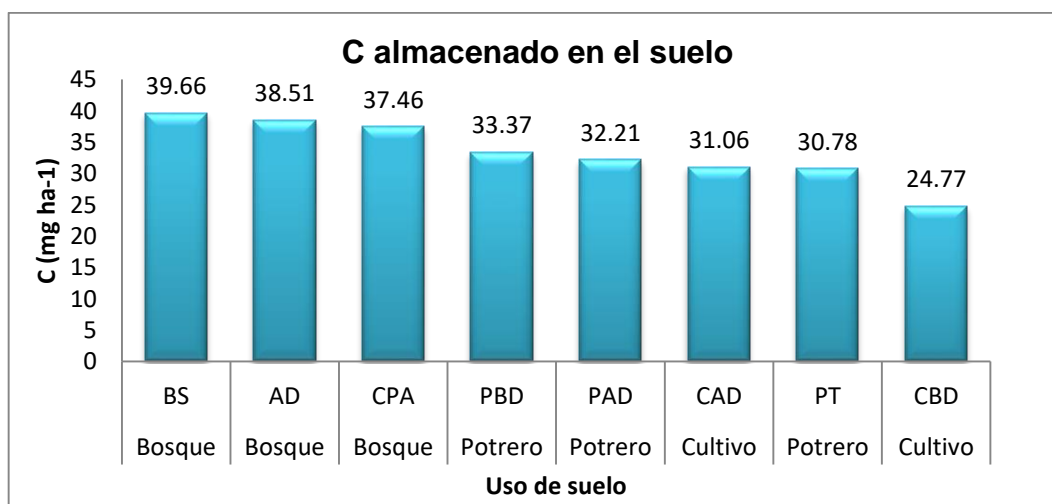


Figura 1. Reservas de Carbono en el suelo.

AD: Área en descanso; **BS:** Bosque secundario; **CPA:** Cultivo perenne abandonado; **CAD:** Cultivo con alta densidad; **CBD:** Cultivo con baja densidad; **PAD:** pastura con alta densidad; **PBD:** pastura con baja densidad y **PT:** Potrero tradicional.

Según la figura 1, BS registró el mayor valor de C en el suelo (39.65 Mg ha⁻¹) y el CBD el menor (24.77 Mg ha⁻¹). Estos valores son similares a los reportados por Kearney *et al.* (2012) e incluso superan al valor medio, en donde las reservas de C en el suelo superficial variaron de 2.9 a 54.4 Mg ha⁻¹, con un promedio de 11.8 Mg ha⁻¹.

Comparando con otro estudio realizado en Perú, en el cual las reservas de C en el suelo fueron de 68,33 y 19,63 Mg ha⁻¹, en bosques secundarios de 15 y 3 años respectivamente, los valores reportados en esta investigación fueron inferiores, variando de 37.61 a 39.65 Mg ha⁻¹ con un promedio de 38.61 Mg ha⁻¹, considerando que hay parcelas que tienen más de 40 años de estar en descanso; 22.36 Mg ha⁻¹ para cultivos anuales (maíz) los valores son cercanos a los reportados por los autores antes mencionados, ya que se tiene en promedio 28.69 Mg ha⁻¹ con un rango de 24.77 a 31.05 Mg ha⁻¹; para pasturas degradadas estos autores reportan 35.74 Mg ha⁻¹, al compararlos con los valores reportados para pasturas en esta investigación (30.77 a 33.36 Mg ha⁻¹) son similares.

4.5.2. Reservas de Carbono en la biomasa aérea

Las reservas de C en la biomasa aérea tuvieron un rango de 81.14 a 4.38 Mg ha⁻¹, con un valor promedio de 27.22 Mg ha⁻¹.

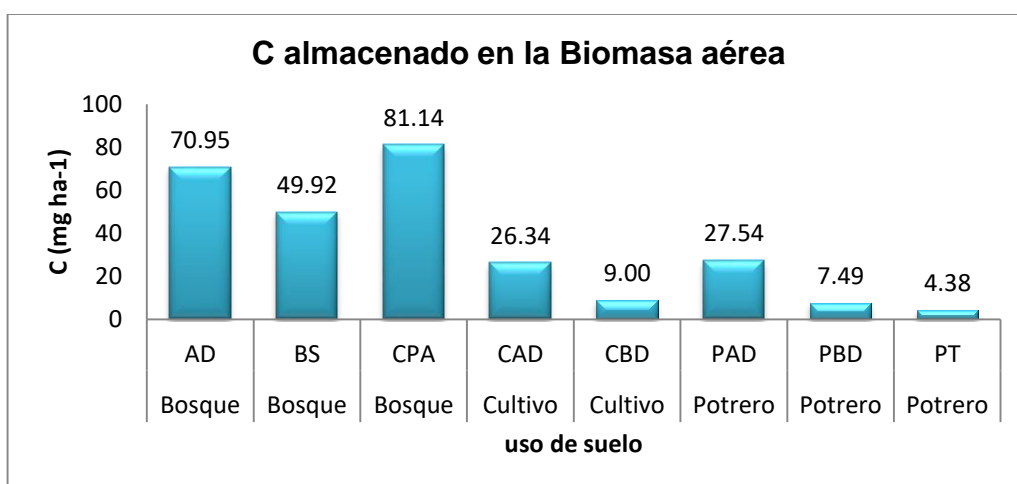


Figura 2. Reserva de Carbono en la biomasa aérea.

AD: Área en descanso; **BS:** Bosque secundario; **CPA:** Cultivo perenne abandonado; **CAD:** Cultivo con alta densidad; **CBD:** Cultivo con baja densidad; **PAD:** pastura con alta densidad; **PBD:** pastura con baja densidad y **PT:** Potrero tradicional.

Al analizar los datos promedio se determinó que en los sistema Cultivo y Pasturas el componente suelo almacena la mayor cantidad de C (28.69 y 32.12 Mg ha⁻¹, respectivamente) comparado con lo que se almacena en la biomasa aérea (19.84 y 14.03 Mg ha⁻¹, respectivamente) en el sistema bosque, en la biomasa aérea se almacena la mayor cantidad de C (65.89 Mg ha⁻¹). Esto se debe principalmente a que en el sistema bosque, existe una mayor cantidad de árboles los cuales representan una valiosa fuente de almacenamiento de C, que puede llegar a superar el C en el suelo. Este resultado concuerda con lo obtenido por Kearney *et al.* (2012), ya que el valor más alto de biomasa aérea fue reportado para los sitios de bosque (32.4 Mg C ha⁻¹). Sin embargo comparado con un estudio realizado en Chile en varios sistemas de bosque siempre verde Schlegel (2001) este valor es bajo (140.07 Mg ha⁻¹). Los valores reportados para esta investigación son superiores a los registrados para bosque secundario en Colombia por Herrera *et al.* (2000) 20.48 Mg ha⁻¹ en biomasa aérea para bosques secundarios.

Esto refleja la importancia de la incorporación de árboles en las parcelas de los productores, ya que se traduce en un mayor almacenamiento de C, es decir si se convirtiera el potrero tradicional a potrero con baja densidad (< de 100 árboles/ha) se incrementaría en 5.7 Mg ha⁻¹ de C y un 24.6 Mg ha⁻¹, si se convierte a potrero con alta densidad (> de 100 árboles/ha).

Para el caso de las parcelas de cultivo, se pueden incrementar 23.63 Mg ha⁻¹ las reservas de C incorporando mayor cantidad de árboles, es decir pasar de una densidad mayor a 50 árboles por ha.

En caso de convertir los terrenos de cultivo anuales a perennes, se podría superar los 118.60 Mg de C ha⁻¹ reportados en esta investigación. Lo que significa una diferencia de 70.06 Mg de C ha⁻¹.

4.5.3. Reservas de Carbono en cada componente

Se cuantificó el C para cada uno de los componentes en estudio: suelo, hojarasca, necromasa y biomasa arbórea. Los resultados se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Carbono que aportan los componentes en cada uso de suelo.

Sistema	Uso del suelo*	Carbono en Mg ha ⁻¹				Porcentaje que aporta cada componente			
		S	H	N	B	S	H	N	B
Bosque	AD	38.50	7.47	1.66	61.80	35.20	6.83	1.52	56.50
Bosque	BS	39.70	7.94	0.70	41.30	44.30	8.87	0.78	46.10
Bosque	CPA	37.50	8.51	1.17	71.50	31.60	7.18	0.99	60.30
Cultivo	CAD	31.10	5.8	0.61	19.90	54.10	10.10	1.07	34.70
Cultivo	CBD	24.80	5.77	0.09	3.15	73.30	17.10	0.25	9.33
Potrero	PAD	32.20	5.31	0.51	21.70	53.90	8.89	0.85	36.40
Potrero	PBD	33.40	5.21	0.04	2.24	81.70	12.80	0.11	5.47
Potrero	PT	30.80	4.18	0.20	0.00	87.50	11.90	0.58	0.00

*: **AD**: Área en descanso; **BS**: Bosque secundario; **CPA**: Cultivo perenne abandonado; **CAD**: Cultivo con alta densidad; **CBD**: Cultivo con baja densidad; **PAD**: pastura con alta densidad; **PBD**: pastura con baja densidad y **PT**: Pastura tradicional. **S**: suelo; **H**: hojarasca; **N**: necromasa; **B**: biomasa arbórea.

En cinco de los ocho usos del suelo (CAD, CBA, PAD, PBD y PT), el componente que aporta la mayor cantidad de C es el suelo; representando un 54.10, 73.30, 53.90, 81.70 y 87.50 %, respectivamente. Esto se debe principalmente a que los árboles que existen en estos usos del suelo (a excepción del PT) son jóvenes y no llegan a representar una cantidad significativa de almacenamiento de Carbono.

Lo contrario se reporta en los usos de suelo AD, BS y CPA en donde el componente Biomasa arbórea representa el mayor almacén de C con valores de 56.50, 46.10, 60.30%, respectivamente. Este resultado difiere con lo reportado por Acosta *et al.* (2009), quienes determinaron los almacenes de C en el estrato aéreo y el suelo en rodales de diferente composición de especies arbóreas en la región de Tlaxco, México, en donde el rodal que presentó mayor contenido de C fue el de pino-oyamel (Po), con 300.9 Mg ha⁻¹; de este total 212 Mg ha⁻¹, que representa poco más del 70%, se encontró en el suelo de 0 a 40 cm de profundidad.

Etchevers *et al.* (2001), reportan que en un sistema de regeneración natural (Acahual) cerca del 85% (equivalente a 169 Mg ha⁻¹ del C) está contenido en el componente suelo. Los resultados son similares para los usos de suelo CAD, CBA, PAD, PBD y PT, en donde el componente suelo fue el que aportó la mayor cantidad de C; sin embargo, en los

usos de suelo AD, BS y CPA, que son los que pertenecen al sistema bosque, mostraron un comportamiento diferente ya que la Biomasa arbórea fue la que aportó mayor cantidad de C.

La necromasa no sobrepasa un 2% del total de las reservas de C para los usos del suelo en este estudio. La hojarasca reportó un rango de 6.83 a 17.08%, que equivale a 7.47 y 5.77 Mg ha⁻¹, respectivamente Hairiah *et al.* 2017, determinaron que la necromasa constituye aproximadamente el 10% del total de la reserva de C aéreo en un bosque natural saludable, comparados con esta investigación los valores encontrados para el sistema bosque alcanzan valores cercanos al 10% en el caso del Bosque secundario (BS) con 8.87%.

4.6. Reservas de Carbono por productor.

En el cuadro 10 se muestra el C en suelo y biomasa aérea (promedio) correspondiente a cada productor

Cuadro 10. Carbono en la biomasa aérea y suelos para cada productor

Productor	Promedio de Carbono suelo	Promedio de Carbono en la biomasa aérea	Carbono total
	Mg ha ⁻¹		
FL1	30.49	87.12	117.61
MEG	49.74	67.18	116.92
NEF	52.95	56.71	109.66
JO	35.32	61.50	96.82
RC	43.33	48.31	91.64
OL	42.26	47.63	89.89
MAA	44.93	37.44	82.37
AD	30.49	47.49	77.98
MIA	33.70	43.84	77.54
VD	26.74	49.12	75.87
JEC	36.91	36.82	73.73
JL	33.16	38.22	71.39
JEM	32.90	37.76	70.65
JSAL	36.37	34.09	70.46
MAC	31.35	35.86	67.21

OAL	31.26	33.79	65.05
MS	39.58	24.41	64.00
JC	32.90	29.59	62.48
RG	32.86	26.91	59.77
MG	30.49	26.34	56.83
JAL	34.02	20.53	54.55
JCG	37.71	15.09	52.80
JAL	40.12	11.13	51.25
FL2	28.88	20.00	48.89
JOG	32.09	16.77	48.86
RIL	31.24	16.82	48.06
LOC	32.63	14.98	47.60
BL	20.86	26.70	47.56
AVS	33.27	11.18	44.45
EL	27.28	15.54	42.82
LG	27.28	13.53	40.80
OM	31.29	8.41	39.70
EC2	32.90	4.84	37.73
EC1	28.08	6.19	34.27
AA	22.47	11.69	34.15
FC	24.07	9.87	33.94
SG	30.49	1.93	32.42
JFC	27.28	3.60	30.88
CB	17.73	7.42	25.15
EDB	16.55	5.15	21.71

Los valores encontrados en el Carbono total (C suelos y biomasa aérea) van desde 21.71 a 117.61 Mg ha⁻¹, correspondientes al productor EDB y FL1, respectivamente.

El mayor valor de C almacenado encontrado en productores que poseen los tres sistemas en estudio fue el de JO (96.82 Mg ha⁻¹), en todas sus parcelas posee una alta densidad de árboles, incorpora los rastrojos al suelo y deja como cobertura las hojas de las ramas de los árboles que poda, en uso de suelo CPA del sistema bosque predomina el café y tiene más de 40 años de manejar de forma similar las parcelas de la finca.

El productor RG se encuentra entre los valores intermedios de almacenamiento de C (59.77 Mg ha⁻¹) cuenta con Cultivo y Potrero con alta densidad de árboles, la mayor área de su terreno está destinado a potreros, en donde ha introducido especies forrajeras y pastos mejorados en años recientes, tiene más de 20 años de trabajar bajo un manejo de labranza mínima, fertiliza los pastos con estiércol de bovino, a los árboles en sus parcelas les realiza poda con poca frecuencia, dejando las hojas y demás residuos como cobertura del suelo.

El productor EDB es uno de los que tiene el valor más bajo de almacenamiento de C en su finca (21.71 Mg ha⁻¹), esto se debe principalmente a que maneja bajas densidades de árboles en las parcelas de Cultivo y Potrero, posee pasto natural y mejorado. El manejo que le da a los árboles es poco, realiza una poda por año, utiliza los residuos de cultivo como alimento para su ganado en época seca. Tiene más de 40 años de trabajar las parcelas bajo el mismo sistema.

Queda en evidencia que el manejo que los productores realizan en sus parcelas, es determinante en la cantidad de C que se almacena, la cantidad de árboles que existan en cada parcela influye en la cantidad de materia orgánica (biomasa, hojarasca y necromasa) presente en las parcelas.

Esto demuestra que la reforestación de los paisajes fragmentados es viable en términos de almacenamiento de C y además, según Ordoñez (2016), la Agroforestería, ofrece oportunidades para reconciliar los objetivos ecológicos de la restauración y mantener los medios de vida de quienes manejan y dependen directamente de los ecosistemas.

5. CONCLUSIONES

De los tres sistemas en estudio, tomando en cuenta los valores promedio, en bosque se encontró un mayor almacenamiento de C en suelo y en biomasa aérea (38.61 y 65.89 Mg ha⁻¹ respectivamente); mientras que Cultivo, es el sistema en donde se almacena la menor cantidad de C (28.69 y 19.84 Mg ha⁻¹ en promedio, respectivamente).

El componente suelo aporta la mayor cantidad de C en cultivo y pasturas; en el caso de bosque, la biomasa arbórea resultó ser el componente que aporta la mayor cantidad de C. La necromasa es el componente que almacena la menor cantidad de C en los tres sistemas.

El uso de suelo con la mayor cantidad de C almacenado es Bosque secundario con 39.65 Mg ha⁻¹ y el de menor fue Cultivo con baja densidad (24.77 Mg ha⁻¹). Cultivo perenne abandonado registro el mayor almacenamiento de C en biomasa aérea (81.14 Mg ha⁻¹), y PT el menor valor (4.38 Mg ha⁻¹), esto se debe principalmente a la cantidad de árboles, ya que en el PT se incluyeron las parcelas sin árboles.

Cordia alliodora es la especie que representa un mayor almacenamiento de C (60.37 Mg Ha⁻¹). Además existen 14 especies que almacenan 0.1 Mg de C ha⁻¹ (cada una), entre las más comunes están *Erythrina berteroana*, *Cassia grandis*, *Chrysophyllum cainito*, *Pouteria sapota* y *Triplaris melaenodendron*.

El manejo que le dan los productores a las parcelas tiene influencia sobre el almacenamiento de C, principalmente en la biomasa aérea, ya que los que tienen la mayor cantidad de árboles (Bosque), el componente biomasa aérea superó el almacenamiento de C en el suelo.

Al incorporar mayor densidad de árboles en las parcelas, se incrementaría la cantidad de C almacenado hasta en 24.6 Mg ha⁻¹.

La reforestación de paisajes fragmentados a través de los sistemas agroforestales en la zona de Comalapa, Chalatenango, es una estrategia de mucha importancia, porque se incrementa las reservas de C (hasta 118.60 Mg de C ha⁻¹), con un potencial de mitigación al cambio climático.

6. RECOMENDACIONES

Aumentar la densidad de árboles en las parcelas de cultivos y potreros con la finalidad de incrementar las reservas de C en la biomasa aérea.

Difundir en la zona sistemas de cultivos más diversos, como los sistemas agroforestales y silvopastoriles, para dinamizar constantemente las reservas de C en la biomasa aérea y suelos en las fincas.

Promover el cambio de uso de los terrenos abandonados a cultivos perennes con un buen manejo, ya que de esta forma se pueden conservar las reservas de C a niveles por encima de los reportados para las parcelas de los sistemas cultivos y pasturas, e incorporar especies frutales diversificadas para que los productores cuenten con una fuente de alimentos e ingresos adicionales.

Estimar el almacenamiento de C en los 6 municipios restantes de la mancomunidad La Montañona, con el propósito de crear una alianza entre los productores de la zona, para que puedan optar a proyectos de pago/compensación por servicios ambientales que generan sus fincas.

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar ecuaciones alométricas en las cuales se incorpore la altura de los árboles.

7. BIBLIOGRAFIA

Acevedo Rodríguez, P. 2005. An illustrated field guide to the native, naturalized or commonly cultivated vines and lianas of Puerto Rico and the Virgin Islands. Washington D.C. United States of America. Smithsonian institution. p 15.

Acosta, J; Tupaz F. 2007. Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.) en dos arreglos agroforestales de la granja Experimental Botana Universidad de Nariño, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis Ingeniero Ing. 78 p.

Acosta, M; Carrillo, F; Lavariega, M. 2009. Determinación de carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl et Cham. Terra Latinoamericana. Vol. 27: p. 105-114.

Acosta, M; Etchevers, JD; Monreal, K; Quednow; Hidalgo C. 2001. Un método para la medición de carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. COLPOS. 15 p.

Aguilar Arias, H; Malavassi, EO; Alvarado, BV; Chazdon, RL. 2012. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la península de Osa, Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana KURU. Vol. 9: 2215-2504.

Aguilar, SR. 2001. Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado en el área de aprovechamiento anual, Uaxantun, Flores, Peten. Guatemala. Tesis Ing. Universidad de San Carlos. 68 p.

Alberto, DM; Elvir, JA. 2008. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales en Honduras. INIA. 12 p.

Alegre, J; Arevalo L; Ricse, A. 2006. Agroforestería para la producción animal en América Latina: Reservas de Carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. (En línea). FAO. Consultado: 23 feb. 17. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s0a.htm>

ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 1998. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agrosistema café en Guatemala. 17 p.

Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería para las Américas*. Vol. 2: 32-35.

Bermejo, I. 2010. Agricultura y cambio climático: El agrícola es el sector con más emisiones de efecto invernadero a escala mundial. *Revista El Ecologista*. Vol. 67: 59-69.

Bolin, B; Sukumar, R. 2000. Global Perspective. In: *Land Use, Land Use Change and Forestry*. Eds. Watson, T; Noble, IR; Bolin, B; Ravindranath, NH, Verardo DJ, Dokken, DJ. Cambridge University Press. Cambridge. Inglaterra. p. 23–51.

Camilloni, I. 2015. Gases de efecto invernadero (en línea). Argentina. CRYCIT. Consultado 12 mar 2016. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/GasesEfect.htm>

Campo, MA; Duval V. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de vegetación natural. Parque Nacional Liué Cael. Argentina. *Revista Anales de Geografía*. Vol. 34. (2): 25-45.

Candray, MO; Rivas, EM; Tobar, JE. 2009. Anteproyecto Arquitectónico “Parque Ecoturístico La Montañona”, Municipio El Carrizal, Chalatenango. El Salvador. UES. p 10.

Casanova, LF; Caamal, MA; Petit, AC; Solorio, SJ; Castillo, CB. 2010. Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. *Revista Forestal Venezolana*. Vol. 54: 45-50.

Chacón, M; Harvey C; Delgado D. 2008. Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. (52): 19-32.

Chavé, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, MA; Chambers, JQ; Eamus, D; Fôlster, H; Fromard, F; Higuchi, N; Kira, T; Lescure, JP; Nelson, BW; Ogawa, H; Puig, H; Riera, B; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*. Vol. 145: 87–99.

Corral, R; Duicela, LA; Maza, H. 2006. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. Tesis Ms.C. Universidad Nacional de Loja. 15 p.

EPA (Agencia de Protección Ambiental), 2010. Carbon sequestration in agriculture and forestry. (en línea). Disponible en: <http://www.epa.gov/sequestration/science.html>

Etchevers, J; Acosta, M; Monreal, C; Quednow, K; Jimenez, L. 2001. Los stocks de Carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México: Simposio Internacional Medición Y Monitoreo de la Captura de Carbono en Sistemas Forestales. Valdivia, Chile. 19 p.

Falkowski, P; Scholes, R; Boyle, E; Canadell, J; Canfield, D; Elser, J; Gruber N; Hibbard, K; Hogberg, P; Linder, S; Mackenzie, F; Moore, B; Pedersen, T; Rosenthal Y; Seitzinger, S; Smetacek, V; Steffen, W. 2000. The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. Science vol. 290: 291-296.

FAO (Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura. (en línea). Roma, Italia. Consultado 13 Mar. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>

Field, CB; Campbell, JE; Lobell, DB. 2007. Biomass energy: the scale of the potential resource. Trends in Ecology and Evolution. s.p. Vol. 23: p. 65-72.

Fonte, S.J; Barrios, E; Six, J. 2010. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. Geoderma (155) 320–328.

Francis, JK. 2000. Estimación de biomasa y contenido de carbono de árboles jóvenes en bosques secundarios de Puerto Rico. Caribbean Journal of Science. Vol. 36: p. 346-350.

Gallardo, JF; Merino, A. 2007. El ciclo del carbono y la dinámica en los sistemas forestales. España. CSIC. 22 p.

Gentry AH. 1993. Riqueza de especies y composición florística de la comunidad de plantas de la región del Choco. Bogotá. Colombia. Colombia Pacifico. p 201-209

Gonzales, C.2009. Estimación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales. Nicaragua. UCATSE. p 3-5.

Hairiah, K; Dewi, S; Agus F, van Noordwijk, M; Rahayu,S; Velarde, SJ. 2010. Measuring Carbon Stocks Across Land Use Systems: A Manual. Bogor, Indonesia. Centro Mundial para la Agroforestación (ICRAF), Oficina Regional de SEA, Universidad de Brawijaya y ICALRRD (Centro Indonesio para el Estudio y Desarrollo de los Recursos de los Suelos Agrícolas) (en línea). Indonesia. Consultado en: www.worldagroforestrycentre.or/sea.

Harvey, CA. 2001. Agroforestería y biodiversidad. In Jiménez, F; Muschler, R; Höpsell, E. (ed). Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 95-136.

Hernández, JE; Tirado, D; Beltrán, RI. 2014. Captura de carbono en los suelos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (en línea) México. Consultado 01 abr 2016. Disponible en: <http://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>

Holdridge, LR; Poveda, L; Jiménez, M. 1997. Árboles de Costa Rica. Palmas y otras monocotiledóneas y árboles con hojas compuestas o lobuladas. 2ed. San José, Costa Rica. Centro Científico Tropical. 544p.

Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas. Vol 45: p. 27–36.

IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). 2000. Land Use, Land-Use Change and Forestry. A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra. 377 p.

Jobbágy, E y Jackson, R. 2000. La distribución vertical del carbono orgánico en suelos y su relación con el clima y la vegetación. Aplicaciones ecológicas. Vol. 1: 423–36.

Kattan, GH. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. In Guariguata, MR; Kattan, GH. (ed.). s.p. p 562-590.

Kearney, SP; Fonte, SJ; Barillas, R; Siles, P; García, E; Walji, K; Smukler, SM. 2012. Reservas de Carbono en suelo y biomasa arbórea en la Mancomunidad La Montañona. Chalatenango, El Salvador. USAID. 5 p.

Kearney, SP; Fonte, SJ; García E; Chan, KM; Siles, P; Smukler, SM. 2017?. The effects of adaptable agroforestry on multiple ecosystem services: Assessing statistical significance, synergies and tradeoffs. Chalatenango, El Salvador. 29 p.

Lal, R. 1998. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science. vol. 304:1623-1627.

Lapeyre, T; Alegre, J; Arévalo L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. INRENA. Ecología Aplicada, Vol 3 (1.2): 36-44.

Laurance, WF. 2001. Fragmentation and plant communities: synthesis and implications for landscape management. In Bierregaard Jr. B; Gascón, C; Lovejoy, TE; Mesquita, RCG. 2001. Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest. Yale University Press. United States of America. 478 p.

Lerma, MA; Orjuela, EL. 2014. Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia. Tesis Ing. Universidad de Tolima. 79 p.

Locatelli, B. 2007. Reservorios de carbono. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 15 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2010. Almanaque salvadoreño. Estación meteorológica Nueva Concepción, Chalatenango. Editado por el SNET. 17 p.

MAP (Ministerio de Ambiente de Perú). 2009. Muestreo de fincas: muestreo de necromasa. 20 p.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. 2° comunicación Nacional sobre Cambio Climático. PNUD. p. 69-71.

MARNa. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012. Ley Forestal. San Salvador, El Salvador. p 1-3.

MARNb (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012. Estrategia nacional de medio ambiente. (En línea). El Salvador. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en http://www.marn.gob.sv/descarga/documentos/estrategia_ENRH.pdf

MARNc (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012. Estrategia Nacional de Saneamiento ambiental. (En línea). El Salvador. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en <http://www.marn.gob.sv/index.php/c10-temas/c24-saneamiento-ambiental/estrategia-nacional-de-saneamiento-ambiental/>

MARNd (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. Estrategia Nacional de Biodiversidad. (En línea). El Salvador. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/world/sv/sv-nbsap-v2-es.pdf>

MARNe (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. (En línea). El Salvador. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/index.php/c177-estrategia-nacional-del-medio-ambiente/estrategia-nacional-de-recursos-hidricos-2/>

MARNf (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. Estrategia Nacional del cambio climático. (En línea). El Salvador. Consultado lunes 11 de abr. 2016. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/index.php/c10-temas/estrategia-nacional-de-cambio-climatico/>

MARNg (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012. Readiness Preparation Proposal. (En línea.). El Salvador. Consultado 15 mayo. 2017. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/descarga/propuesta-de-preparacion-para-redd-rpp-30-de-agosto-de-2013/?wpdmdl=16125&ind=cBGorit8qqd7hEGSjry23GkN8BkYVXzkuGJYc5M3GnK65azqqnb1eR8WV11MFzHclxU78vQdf3kkHXZdPbgMg>

Messa, HF. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería de doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. Tesis Ms.C. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p 34.

Montagnini, F; Nair, PK. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.

Murakami, AA; Parada, AG; Téran, J; Baker, TR; Feldpausch, TR; Phillips, OL; Brienen, RJ. 2011. Necromasa de los bosques de madre de Dios, Perú; una comparación entre los bosques de tierra firme y de bajo. *Revista Perú biología*. Vol 18: 113-118.

Nair, PK. 2004. Agroforestería: árboles en apoyo de agricultura sostenible. Eds. Hillel H; Rosenzweig C; Powlson D; Scow K; Singer M; Sparks D. *Enciclopedia de suelos en el medio ambiente*. Elsevier, UK. p. 35-44.

Navar, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *EDP sciences*. Vol 66: 208-216.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Rio de Janeiro. Brasil. p 3.

Ordoñez, JB; Masera O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Xalapa. México . Instituto de Ecología AC. *Revista maderas y bosques*. vol 7: 3-12.

Ordoñez J. 2016. Agroforestería para la reforestación de paisajes. Taller de IUFRO sobre restauración de paisajes. CIIA. (Diapositivas).Costa Rica. 35 diapositivas color.

OTCA (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica). 2007. Bosques secundarios: origen, definición, extensión y potencial. Perú. 15 p.

Oviedo, J. 2010. Informe del cambio climático en El Salvador. (En línea). FIAES. Consultado 03 mar. 2016. Disponible en: <http://www.fiaes.org.sv/boletin/250604.php>

Paustian, K; Antle, JM; Sheehan, J; Paul, EA. 2006. Agriculture's Role in Greenhouse Gas Mitigation. United States of America. CGCC. p 3.

Ramírez, M y Montalvo, S. 2006. Manual de monitoreo de carbono en sistemas agroforestales. Chiapas, México. AMBIO. 43 p.

Rapidel, B; DeClerck F; Lecoq, JF; Beer, J. 2011. Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry. United States or America. Earthscan. p 25.

Razz R; Clavero T. 2006. Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. Revista de la Facultad de Agronomía LUZ. vol. 23: 326–331.

Rodríguez, J y Pratt, L. 1998. Potencial de Carbono y Fijación de Dióxido de Carbono de la Biomasa en Pie por Encima del Suelo en los Bosques de El Salvador. INCAE. 54 p.

Rojas, J. 2005. Secuestro y uso de agua en Sistemas Silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis MSc. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2005. p. 6.

Sánchez, PA. 1995. Agroforestería en ciencia. Sistemas de Agroforestería. Vol. 30: p. 5–55.

Saunders, DA; Hobbs, R; Margules, CR. 1991. Biological consequences of ecosystems fragmentation: A review. Conservation Biology Vol 5(1):18-32.

Schroth, G; Lehmann J; Rodríguez, MR; Barros, E; Macedo, JL. 2001. Plant soil interactions in multistate agroforestry in the humid tropics. Agroforestry Systems. Vol. 53: 85–102.

SEAE (Sociedad Española de Agricultura Ecológica). 2010. Carbono en el Suelo y Agricultura Ecológica (en línea). Consultado 4 mar. 2016. Disponible en: <http://www.agroecologia.net/resumen-del-informe-del-carbono-en-el-suelo-y-agricultura-ecologica/html>.

Segura, M. 1999. Valoración de los servicios de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE. Costa Rica. 119 p.

Somarriba, E. 1994. Sistemas agroforestales con cacao-plátano-laurel. En: Agroforestería en las Américas. (4):22-24.

Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; Haan, C. 2009. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y Opciones. Roma, Italia. FAO. p 2-5.

Suarez, D; Stonian, D; Segura,M. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistema agroforestales de café en Yassica Sur, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical. CATIE.

Valbuena D. 2014. Diversidad de agricultura territorio de Comalapa. (Diapositiva). CIAT. Chalatenango, El Salvador. 16 diapositivas, color.

van Wagner C.E. 1998. The line intersect method in forest fuel sampling. For. Sci. 14: 20-26.

White, D; Minang ,P. 2001. Estimación de los costos de oportunidad de REDD+, capítulo 5: medición de carbono de los usos de la tierra. Washington US. IDB traductor. 30 p.

Wodzicki, KG. 2001. El ciclo del carbono: Fotosíntesis y Respiración, El Ciclo Rápido. CO. SCIELO

8. ANEXOS

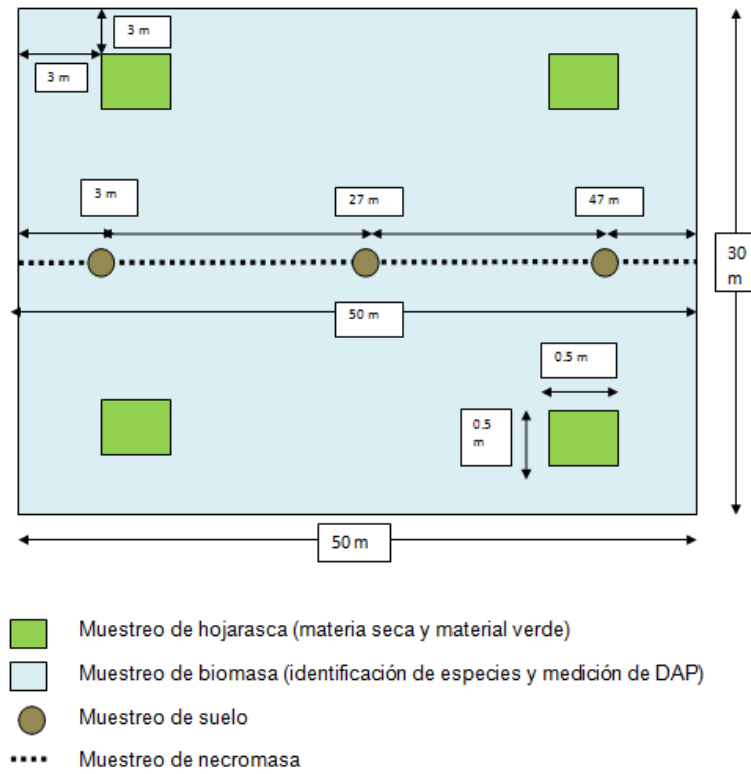


Figura A-1: Esquema general del método de muestreo utilizado



Figura A-2: Clúster de fotografías durante la investigación.

1: Delimitación del área a muestrear; 2: Toma de muestra de suelo; 3 y 4: recolección de materia verde y materia seca (hojarasca); 5 y 6: Identificación de especies arbóreas y medición del DAP; 7: Muestreo de los componentes en estudio.

--	--	--	--	--	--	--	--	--

¹0 = no; 1 = 10 árboles/mz; 2 = 50 árboles/mz; 3 = 200 árboles/mz; 4= > 200 árboles/mz

5. Semillas para sembrar granos básicos

Cultivo	Cantidad total anual	Unidad (lb, kg, qq)	Semilla propia (%)	Semilla mejorada (%)	Nombre variedad mejorada
Maíz					
Frijol					

6. Producción anual de los principales cultivos

	Cultivo	Área cultivada (manzanas)	Producción anual	Unidad	Uso fertilizante (quintal)		Cuánto se come [%]	Cuánto vende [%]	Precio por unidad
					orgánico	químico			
	Cultivo alimentario 1								
	Cultivo alimentario 2								
	Cultivo alimentario 3								
	Cultivo alimentario 4								
	Cultivo comercial 1								
	Cultivo comercial 2								
	Cultivo comercial 3								

7. Principales especies de ganado

Ganado		Número total	Número comprado 2013	Precio unidad/ animal	Número vendido 2013	Precio por animal/moneda	Número crías que sobrevivieron	% alimento comprado
Vacas lactantes	Local							
Vacas lactantes	Mejorada							
Vacas otra	Local							
Vacas otra	Mejorada							
Novillos/jóvenes	Local							
Novillos/jóvenes	Mejorada							
Toros	Local							
Toros	Mejorada							
Buey								
Cabras/Ovejas								
Cerdos								
Gallinas/aves								

8. Productos animales (producción promedio día)

Animales(producción promedio día)	Producción	Unidad	Consumo (%)	Venta (%)	Precio unidad	Diferencia año anterior (%)
Leche						
Cuajada/Queso						
Huevos						

	No. sacrificados	Consumo [%]	Venta [%]	Precio moneda/unidad
Gallina/pollos (al año)				
Cerdos (al año)				
Ganado (al año)				

7. Status alimentario mensual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Condición seguridad alimentaria ¹												
Promedio número comidas al día familia												
¿Recibió ayuda alimentaria? (1=si, 0=no)												
Condición seguridad alimentaria 2014 ¹												

¹: 1= no suficiente comida para toda la familia, 2= suficiente comida pero no suficiente variedad, 3= suficiente comida y variedad

8. Ingreso anual del hogar fuera de la finca

Labor	ingreso/moneda	otras fuentes	ingreso/ moneda
En otras fincas		Remesas dentro del país	
En empresa comercial		Remesas desde el extranjero	
En la ciudad		Otros (ayudas ONG, gob, etc.)	

9. Qué porcentaje cree que ha cambiado en los últimos 5 años (escala de -100 a 100 %)

Cambios en:	Nivel	Cambios en:	Nivel
Seg. alimentaria: producción finca para consumo		Ingresos totales del hogar	
Gasto en insumos (fertilizante, semilla, labor)		Meses de sequías (incluyendo canícula)	
Gasto en actividades hogar (comida, salud, etc.)		Lluvias fuertes(eventos/frecuencia)	

11. ¿Qué porcentaje de producción se afectó/va a afectar por la sequía en 2014 (escala de 0 a 100%)?

Tipo de cultivo	Primera	Postrera	en general para todo el año
cultivos anuales			
cultivos perennes			

Pastos			
--------	--	--	--

12. ¿Cuáles fueron sus principales estrategias en la sequía de 2014 (una respuesta en cada celda)¹?

Uso otros ñcultivos/variedades		Irrigación		Uso de ahorros/crédito	
Venta de animales		Alquiler de tierra		Venta mano de obra	
Compra comida animales		Ayudas (familia, etc)		Otros (especificar)	

¹0= no usada; 1=poco importante; 2= importante; 3=fundamental

13. ¿Cuáles serán sus principales estrategias en el futuro (incluir una respuesta en cada celda)¹?

Invertir en pasturas y pastos		Usar nuevos cultivos		Colectar agua	
Usar más insumos		Plantar más árboles		Vender más mano de obra	
Vender tierra		Migrar		Otros (especificar)	

¹0= no lo va a usar; 1= va a ser poco importante; 2=va a ser importante; 3=va a ser fundamental

Fuente: Valbuena 2014.