

# Almacenamiento de carbono en sistemas con diferentes usos de suelos en el municipio de Comalapa, Chalatenango, El Salvador

Melgar-Ramírez, KI

Estudiante tesista

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de El Salvador

Nieto-Marroquín, MJ

Estudiante tesista

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de El Salvador

Castaneda-Romero, LF

Docente Director

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de El Salvador

García-Inestroza, ED

Docente Director

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Honduras

Siles-Gutiérrez, P

Docente Director

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Nicaragua

## Resumen

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Comalapa, Chalatenango, El Salvador, entre mayo y octubre de 2016, en el marco del proyecto ABES (Agro biodiversidad para Servicios Eco sistémicos). El objetivo principal fue cuantificar las reservas de carbono (C) en diferentes usos de la tierra en un paisaje fragmentado. Se estimó el C almacenado en la biomasa aérea y suelos en tres sistemas: Bosque, Cultivo y Pastura, los cuales se categorizaron en ocho diferentes usos de la tierra. En cada sistema se estableció un área de muestreo de 1,000 m<sup>2</sup>, con 50 m de largo y 20 m de ancho. En cada parcela se evaluó la riqueza de especies con Diámetro a la Altura de Pecho (DAP) mayores de 2.5 cm, la biomasa aérea (hojarasca, necromasa y biomasa arbórea) y la materia orgánica en suelos. 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), el C almacenado, se calculó por medio de la extrapolación utilizando el factor 0.5, ya que según la literatura la mitad del peso seco de la biomasa es C. En promedio se almacenan entre 4.39 a 81.14 Mg de C ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea y de 24.77 a 39.65 Mg de C ha<sup>-1</sup> en suelos. Se determinó además que la biomasa arbórea y los suelos son los componentes 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<sup>-1</sup>), seguido de cultivo (48.54 Mg ha<sup>-1</sup>). Por tanto, las especies arbóreas dentro de las parcelas de los productores, permiten incrementar el almacenamiento de C en el sistema, además de brindar otros servicios ecosistémicos que son de beneficio no solo para los productores sino también para el planeta.

**Palabras clave:** Almacenamiento, Carbono, paisaje, fragmentado, bosque, cultivo, pasturas, Comalapa, Chalatenango.

## Abstract

The research was carried out in the municipality of Comalapa, Chalatenango, El Salvador, between May and October 2016, within the framework of the ABES project (Agro biodiversity for Eco-systemic Services). The main objective was to quantify carbon stocks (C) in different land uses in a fragmented landscape. It was estimated the C stored in the aerial biomass and soils in three systems: Forest, Cultivation and Pasture, which were categorized in eight different uses of the land. In each system a sampling area of 1,000 m<sup>2</sup>, 50 m long and 20 m wide, was established. In each plot the richness of species with diameter at chest height (DAP) greater than 2.5 cm, aerial biomass (leaf litter, necromass and tree biomass) and organic matter in soils were evaluated. The tree biomass was estimated using allometric models that were adapted to the species found (*Cordia alliodora*, tropical dry forest trees and *Musa* spp), the stored C was calculated by means of extrapolation using the factor 0.5, since according to Literature half the dry weight of the biomass is C. On average, between 4.39 and 81.14 Mg of ha<sup>-1</sup> C are stored in aerial biomass and 24.77 to 39.65 Mg of ha<sup>-1</sup> C in soils. It was also determined that tree biomass and soils are the components that store the largest amount of C. In relation to the systems, the forest is the one that stores the largest amount of C (104.50 Mg ha<sup>-1</sup>), followed by cultivation (48.54 Mg ha<sup>-1</sup>). Therefore, the tree species within the plots of the producers, allow to increase the storage of C in the system, in addition to providing other ecosystem services that are of benefit not only for the producers but also for the planet.

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

## Introducción

El CO<sub>2</sub> 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 (INGEI) de El Salvador del año 2005, el total de emisiones de GEI fue de 14,453.40 Gg de CO<sub>2</sub>; el sector agricultura en general emite 3,115.40 GgCO<sub>2</sub> 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 contribuir a mitigar los efectos del cambio climático.

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 fija unos 7,000 millones de toneladas anuales de C, 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).

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).

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, como parte de las acciones que debe realizar la academia y el país en general, en el contexto 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, El Salvador, lo que permitirá establecer las bases para futuros proyectos de compensación o pago por servicios ecosistémicos, para beneficiar a los productores y contribuir a la mitigación del cambio climático en el país.

## Materiales y Métodos

### Ubicación, Duración, Unidades experimentales

La investigación se desarrolló de mayo a octubre de 2016, en el municipio de Comalapa, Chalatenango. Se encuentra a 490 msnm, entre los 14°08'00" latitud Norte y 88°57'00" longitud Oeste; con una temperatura promedio de 31°C y humedad relativa de 71% (MAG 2010). En cuanto al relieve, predominan terrenos escarpados, en su mayoría con pendientes mayores al 12%. La extensión territorial del municipio es de 28.22 km<sup>2</sup>. En 2005 su población era de 4,516 habitantes. Administrativamente se divide en 4 cantones y 20 caseríos.

Se seleccionaron 40 fincas tomando de base los siguientes criterios: área de la finca (una manzana (0.7 ha) como mínimo, que tuvieran al menos dos de los tres sistemas para evaluar (granos básicos, pasturas y bosques secundarios) y disponibilidad del propietario o propietaria para colaborar en la investigación. Se seleccionaron ocho usos de la tierra, tomando de referencia las densidades de árboles presentes en los sistemas agroforestales que tradicionalmente se manejan en la zona, los cuales se describen a continuación:

### 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:

Cultivo con baja densidad de árboles (CBD): menos de 50 árboles por hectárea.

Cultivo con alta densidad de árboles (CAD): más de 50 árboles por hectárea.

## 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:

Pastura tradicional o sin árboles (PT): cero árboles por hectárea.

Pastura con baja densidad de árboles (PBD): menos de 100 árboles por hectárea.

Pastura con alta densidad de árboles (PAD): más de 100 árboles por hectárea.

## Bosque

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

Bosque secundario (BS): área dentro de la finca abandonada o en descanso con un tiempo mayor a 5 años a partir de su último uso

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.

Cultivos perennes abandonados (CPA): 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

## Caracterización socioeconómica

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

## Muestreo de campo

### Muestreo de vegetación

En cada finca y uso de la tierra seleccionado, 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. La identificación de las especies arbóreas se realizó en el campo con la ayuda de personas locales que conocían los nombres comunes y luego con el uso de guías dendrológicas se determinó el nombre científico (Acevedo 2005, Gentry 1993, Holdridge *et al.* 1997).

## 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) donde se colectó todo el material muerto y verde en un área de 0.25 m<sup>2</sup> y colocado en bolsas de polietileno para posteriormente ser pesado en basculas electrónicas. Debido a la época en que se realizó el muestreo no se encontró cultivos establecidos, sin embargo, los rastrojos presentes y pasto se incluyeron en este componente.

## 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. El material leñoso con diámetro < 0.5 cm no se tomó en cuenta debido a que está incluido en el muestreo de hojarasca.

## Muestreo de suelos

En el transepto delimitado para el muestreo de necromasa, se tomaron muestras de suelo a 3 m, 25 m y 47 m, desde 0 a 20 cm de profundidad, ya que ésta se considera de mayor representatividad para estimar materia orgánica en el suelo (Aguilar *et al.* 2012). Las sub muestras se extrajeron con ayuda de un barreno, se mezcló y homogeneizó 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.

## Metodología de laboratorio

### 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, se pesaron utilizando una balanza electrónica.

### 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.

## Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI) y carbono almacenado.

### 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, respectivamente.

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

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

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

### 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 lo descrito en cuadro 1.

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).

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arbórea.

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

Fuente: Adaptado de González, 2009.

### Carbono en hojarasca

Los pesos obtenidos de los muestreos de hojarasca de los cuadrantes medidos (0.25 m<sup>2</sup>), fueron extrapoladas 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.

### Carbono en la necromasa

El volumen (V m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de la necromasa para un transecto individual, se determinó usando la ecuación propuesta por van Wagner (1998)

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

Dónde d<sub>n</sub> 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.

### 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:

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

Dónde:

CS: carbono del suelo (Mg ha<sup>-1</sup>)

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 m<sup>2</sup> x 0.2 m de profundidad).

Da: densidad aparente (se asumirá un valor de 1 t/m<sup>3</sup>)

## Resultados y Discusión

### Caracterización de las fincas

#### Tenencia de la tierra y tamaño de las fincas

La mayoría de productores (57.14%) son arrendatarios, 40% son dueños de la tierra y 2.86% es tierra prestada. En relación al tamaño de la finca, el 42.50% son medianos (área 1 – 3 Mz), y el 57.50% son grandes (área > 3 mZ).

## Fuentes de ingreso

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.

## Agricultura y ganadería

El 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 con machete. La primera fertilización la realizan con fórmula 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. 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.

## Especies arbóreas encontradas

En el muestreo se encontró un total de 2330 árboles, de 93 especies y 46 familias. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies arbóreas encontradas y su respectivo almacenamiento de C.

Nombre científico	Familia	Número de Individuos	C en Mg <sup>ha-1</sup>	Σ DAP (m)	DAP medio (m)
<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	176	60.37	20.36	0.12
<i>Eugenia salamensis</i>	Myrtaceae	179	15.46	26.54	0.15
<i>Gliricidia sepium</i>	Papilionoideae	272	14.23	32.84	0.12
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	146	9.69	19.28	0.13
<i>Curatella americana</i>	Dilleniaceae	127	7.84	15.70	0.12
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	52	7.74	10.53	0.20
<i>Bauhinia unguolata</i>	Caesalpiniaceae	79	7.55	13.34	0.17
<i>Roupala glaberrima</i>	Proteaceae	97	6.52	14.66	0.15
<i>Musa sp</i>	Musaceae	41	5.91	18.51	0.45
<i>Conostegia icosandra</i>	Melastomataceae	104	4.97	11.34	0.11
<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	57	4.69	8.70	0.15
<i>Cordia dentata</i>	Boraginaceae	33	3.55	5.94	0.18
Otras especies (80)		967	49.81	115.78	0.12
<b>Total</b>		<b>2,330</b>	<b>198.33</b>	<b>313.52</b>	<b>0.13</b>

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<sup>-1</sup> 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 arboles 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 arboles grandes tienen implicaciones significativas en cuanto a la biomasa arbórea y consecuentemente en el almacenamiento de C.

### 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 3).

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.

Cuadro 3. 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
Caesalpiniaceae	4	4.30
Meliaceae	4	4.30
Myrtaceae	4	4.30
Anacardiaceae	3	3.23
Otras (35)	37	51.62

Al realizar una comparación 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 los individuos de una especie, es decir existe una predominancia de familias con menos de tres especies.

### Especies de mayor importancia por sistema (según Índice de Valor de Importancia )

#### Bosque

En el sistema bosque se encontraron 58 especies en total, de las cuales en el cuadro 4 se detallan las principales especies de mayor IVI en cada uso de suelos.

Cuadro 4. Especies de mayor IVI en el sistema bosque.

Área en Descanso		Bosque Secundario		Cultivo Perenne Abandonado	
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 salamensis</i>	11.58
<i>Eugenia salamensis</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

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.

### Cultivo

En el cuadro 5 se muestran las especies encontradas en las parcelas del sistema cultivo detalladas por cada uso de suelo.

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 (*Gliricidia 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. Es 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.

### Pasturas

El sistema pasturas está constituido por tres usos de suelos, sin embargo, PT no registra árboles, por eso se describen únicamente dos usos de suelos (cuadro 6).

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

Cultivo con Alta Densidad (CAD)		Cultivo con Baja Densidad (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 salamensis</i>	18.57
<i>Eugenia salamensis</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

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

Pastura con Alta Densidad (PAD)		Pastura con Baja Densidad (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 salamanensis</i>	16.02
<i>Eugenia salamanensis</i>	23.42	<i>Gliricidia sepium</i>	15.83
<i>Andira inermis</i>	14.10	<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>	12.60	<i>Byrsonima crassifolia</i>	12.86
<i>Hymenaea courbaril</i>	10.20	<i>Swietenia humilis</i>	12.62
<i>Anacardium occidentale</i>	7.90	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	6.22
Otros (20 sp)	46.10	Otros (11 sp)	34.87

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 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*.

### Reserva de carbono de la biomasa aérea y suelos en los sistemas

El carbono de la biomasa aérea está compuesto por biomasa arbórea, hojarasca y necromasa; mientras que en suelos está constituido por el carbono orgánico del suelo.

#### Biomasa aérea

Las reservas de C en la biomasa aérea tuvieron un rango de 81.14 a 4.38 Mg ha<sup>-1</sup>, con un promedio de 27.22 Mg ha<sup>-1</sup>.

Como se aprecia en la figura 1; el mayor valor (81.14 Mg ha<sup>-1</sup>) se encontró en el Cultivo Perenne Abandonado (CPA); mientras que el menor (4.38 Mg ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> (Suarez *et al.* 2002 citado por Kearney *et al.* 2012).

### C almacenado en la Biomasa aérea

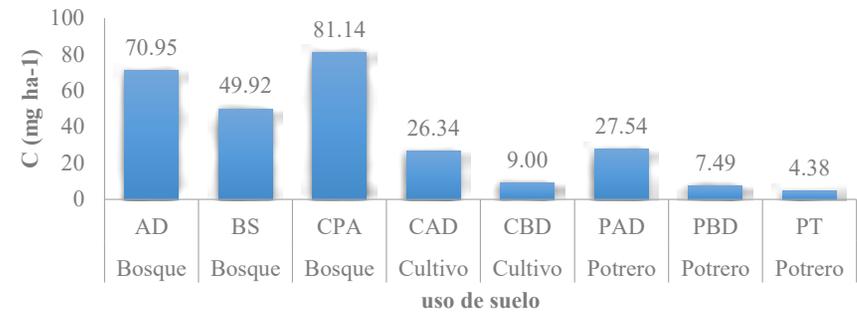


Figura 1. Reserva de C en la biomasa aérea.

#### Suelo

Las reservas de Carbono en el suelo variaron de 39.65 a 24.77 Mg ha<sup>-1</sup> con un promedio de 32.13 Mg ha<sup>-1</sup>.

Según la figura 2, BS registró el mayor valor de Carbono en el suelo (39.65 Mg ha<sup>-1</sup>) y el CBD, el menor (24.77 Mg ha<sup>-1</sup>). Estos valores son similares a los reportados en la zona de la Mancomunidad La Montañona por Kearney *et al.* (2012) en donde las reservas de Carbono en el suelo superficial variaron de 2.9 a 54.4 Mg ha<sup>-1</sup>, con un promedio de 11.8 Mg ha<sup>-1</sup>.

### C almacenado en el suelo



Figura 2. Reservas de Carbono en el suelo.

Comparando con otro estudio realizado en Perú, en el cual las reservas de Carbono en el suelo fueron de 68,33 y 19,63 Mg ha<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup> con un promedio de 38.61 Mg ha<sup>-1</sup>, considerando que hay parcelas que tienen más de 40 años de estar en descanso; 22.36 Mg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> con un rango de 24.77 a 31.05 Mg ha<sup>-1</sup>; para pasturas degradadas estos autores reportan 35.74 Mg ha<sup>-1</sup>, al compararlos con los valores reportados para pasturas en esta investigación (30.77 a 33.36 Mg ha<sup>-1</sup>) son similares.

### Valores promedio de C

En el cuadro 7 se detallan los valores promedio para C en suelo y biomasa aérea por cada sistema y su respectivo uso de suelo.

Cuadro 7. Promedio de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) en la biomasa aérea y suelos en diferentes usos de suelos.

Sistema	Uso de suelo	C suelo	C biomasa aérea	Total
		Mg ha <sup>-1</sup>		
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

Al analizar los datos promedio se determinó que en los sistemas Cultivo y Pasturas el componente suelo almacena la mayor cantidad de C (28.69 y 32.12 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) comparado con lo que se almacena en la biomasa aérea (19.84 y 14.03 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) en el sistema bosque, en la biomasa aérea se almacena la mayor cantidad de C (65.89 Mg ha<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> de C y un 24.6 Mg ha<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup> las reservas de carbono 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<sup>-1</sup> reportados en esta investigación. Lo que significa una diferencia de 70.06 Mg de C ha<sup>-1</sup>.

### 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 8.

En cinco de los ocho usos de suelo (CAD, CBA, PAD, PBD y PT), el componente que aporta la mayor cantidad de carbono es el suelo, con valores de 54.10, 73.34, 53.90, 81.67 y 87.53 %, respectivamente. Esto se debe principalmente a que los árboles que existen en estos usos de suelo (a excepción de PT) son jóvenes y no llegan a representar una cantidad significativa de almacenamiento de C.

Cuadro 8. Carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) por componente en cada uso de suelo

Sistema	Uso de suelo	C en Mg ha <sup>-1</sup>				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

\*= S: suelo; H: hojarasca; N: necromasa; B: biomasa arbórea

Lo contrario se reporta en AD, BS y CPA, en donde la Biomasa arbórea representa el mayor almacén de C con valores de 56.47, 46.09, 60.25 %, 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, en donde el que presentó mayor contenido de C fue el de pino-oyamel (Po), con 300.9 Mg ha<sup>-1</sup>; de este total 212 Mg ha<sup>-1</sup>, que representa poco más del 70%, se encontró en el suelo de 0 a 40 cm de profundidad.

Cuadro 9. Carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) en la biomasa aérea y suelos por productor.

Productor	Promedio de C suelo	Promedio de C biomasa aérea	C total
	Mg ha <sup>-1</sup>		
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
RG	32.86	26.91	59.77
MG	30.49	26.34	56.83
JAL	34.02	20.53	54.55
JFC	27.28	3.60	30.88
CB	17.73	7.42	25.15
EDB	16.55	5.15	21.71

Etchevers *et al.* (2001), reportan que en un sistema de regeneración natural (Acahual), cerca de un 85% (equivalente a 169 Mg ha<sup>-1</sup> del C) está contenido en el suelo. Los resultados son similares para los usos de suelo CAD, CBA, PAD, PBD y PT, en donde el suelo fue el que aportó la mayor cantidad de C; sin embargo, en 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 de 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<sup>-1</sup>. Hairiah *et al.* 2017, determinaron que la necromasa constituye aproximadamente el 10% del total de la reserva de carbono 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 de Bosque secundario (BS) con un 8.87%.

### Reservas de carbono por productor

De los 40 productores en estudio en el cuadro 9 se muestran únicamente 10 los cuales alcanzaron los valores máximos, medios y mínimos en cuanto al C total almacenado en sus fincas. Se utilizan las iniciales del nombre y apellido de los productores, con la finalidad de proteger la identidad de cada uno.

Los valores encontrados en el C total (suelos y biomasa aérea) van desde 21.71 a 117.61 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondientes al productor EDB y FL1, respectivamente. El mayor valor encontrado en productores que poseen los tres sistemas en estudio fue el de JO, 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, además el uso de suelo, Cultivo perenne abandonado (CPA), en donde predomina el café, tiene más de 40 años de establecido.

El productor RG se encuentra entre los valores intermedios de almacenamiento de C, 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, realiza podas frecuentes 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 carbono en su finca, esto se debe principalmente a que maneja bajas densidades de árboles en las parcelas, clasificadas como Cultivo y Potrero con baja densidad de árboles, posee pasto natural y mejorado. Realiza una poda por año, dejando los residuos como cobertura de suelo. Tienen 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; además, la cantidad de en cada parcela, influye en la cantidad de materia orgánica (biomasa, hojarasca y necromasa). Esto demuestra que la reforestación de los paisajes fragmentados es beneficiosa 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.

## 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<sup>-1</sup> respectivamente); mientras que Cultivo, es el sistema en donde se almacena la menor cantidad de C (28.69 y 19.84 Mg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> y el de menor fue Cultivo con baja densidad (24.77 Mg ha<sup>-1</sup>). Cultivo perenne abandonado registro el mayor almacenamiento de C en biomasa aérea (81.14 Mg ha<sup>-1</sup>), y PT el menor valor (4.38 Mg ha<sup>-1</sup>), 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<sup>-1</sup>). Además, existen 14 especies que almacenan 0.1 Mg de C ha<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup>.

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<sup>-1</sup>), con un potencial de mitigación al cambio climático.

## 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.

Promover 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, incorporando especies frutales diversas 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 ecosistémicos que generan sus fincas.

## Bibliografía

- 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.
- 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.
- 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>
- 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.
- Campo, MA; Duval V. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de vegetación natural. Parque Nacional Iliú Cael. Argentina. Revista Anales de Geografía. Vol. 34. (2): 25-45.
- Chavé, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, MA; Chambers, JQ; Eamus, D; Fölster, 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.
- 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.
- 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.
- 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) consultado en: [www.worldagroforestrycentre.or/sea](http://www.worldagroforestrycentre.or/sea).
- 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>
- Herrera, MA; del Valle, JI; Orrego, SA. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. Medellín, Colombia. UNALMED. 18 p.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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. Perú. 20 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. 2° comunicación Nacional sobre Cambio Climático. PNUD. p. 69-71.
- 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, Inglaterra. p. 35-44.
- Navar, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. EDP sciences. Vol 66: 208-216.
- Ordoñez J. 2016. Agroforestería para la reforestación de paisajes. Taller de IUFRO sobre restauración de paisajes. CIIA. (Diapositivas).Costa Rica. 35 diapositivas color.
- 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>
- Ramírez, M y Montalvo, S. 2006. Manual de monitoreo de carbono en sistemas agroforestales. Chiapas, México. AMBIO. 43 p.
- Rapidel, B; de Clerck F; Lecoq, JF; Beer, J. 2011. Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry. United States or America. Earthscan. p 25.
- Schleger, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Chile. Universidad Austral de Chile. 13 p.
- 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.
- 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.