

FIJACION Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITERA EN EL EJE DE LA CARRETERA NESHUYA- CURIMANÁ, PROVINCIA DE PADRE ABAD, REGIÓN UCAYALI

SETTING AND CARBON STORAGE IN OIL PALM PLANTATION IN
THE AXIS OF THE ROAD NESHUYA CURIMANÁ, PROVINCE OF
FATHER ABAD, REGIONAL UCAYALI

Armando André Cañari Espinosa¹
Grober Panduro Pisco²

Fecha de recepción: 31 enero 2014
Fecha de aceptación: 23 septiembre 2014

Resumen

El objetivo de la investigación fue cuantificar el potencial de fijación y almacenamiento de carbono en plantaciones de palma aceitera de 10 años de edad, situados en el eje de la Carretera Neshuya-Curimaná, sectores Monte de los Olivos, Villa Mercedes y Maronal; en los distritos de Curimaná e Irazola, Provincia de Padre Abad, Región Ucayali. La zona de vida del estudio es de un Bosque Húmedo Tropical con una altitud de 200 msnm. Las características meteorológicas para la zona registran una temperatura media anual de 25,5 °C; precipitación promedio

1 Bachiller en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Ucayali, email: andre_ar16@hotmail.com

2 Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Ucayali, email: ecologrober@hotmail.2012

anual de 2087,3 mm, y humedad relativa promedio de 80.6 %. Se evaluó la biomasa viva a través de muestreo no destructivo de 60 plantas de palma aceitera (estípite + hojas). Para medir la biomasa muerta y herbácea se establecieron cuadrantes (0.5m x 0.5m). Para determinar el carbono orgánico en el suelo, se coleccionaron muestras a dos profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm. Las plantaciones de palma aceitera de 10 años, almacenaron un contenido de carbono total de 74.19 tC/ha, siendo el suelo el componente que mayor carbono almacenó con 43.66 tC/ha que representa el 55.85% del total, seguido de la biomasa viva (hojas + estípite) que alcanzó un promedio de 22.30 tC/ha (30.06%); el resto quedó almacenado en la biomasa muerta con un valor de 7.47 tC/ha (10.07%) y herbácea con 0.76 tC/ha (1.02%). El flujo del carbono obtuvo un valor de 3.05 tC/ha/año, y en consecuencia capturó un promedio por año de dióxido de carbono de 11.20 tCO₂/ha/año.

Palabras clave: almacenamiento carbono, captura de CO₂, fijación de carbono, muestreo no destructivo, pagos por servicios ambientales.

Abstract

The objective of the research was to quantify the potential for carbon fixation and storage in 10 years old oil palm plantation, located on the axis of Neshuya-Curimaná Road, Monte de los Olivos, , Villa Mercedes and Maronal sectors; in Irazola and Curimaná districts, Padre Abad Province, Ucayali. The living area is the study of a tropical rainforest with an altitude of 200 meters. Weather patterns for the area have an annual temperature average of 25.5 ° C; an annual precipitation average is 2087.3 mm, and a relative humidity average of 80.6%. The living biomass was evaluated through a non-destructive sampling of 60 oil palm plants (stipe + leaves). To measure the dead biomass and herbaceous quadrats (0.5mx 0.5m) were established. To determine the organic carbon in the soil samples at two depths of 0-15 cm and 15-30 cm were collected. The 10 years oil palm plantation, stored a total carbon content of 74.19 tC / ha, being the soil the the one that stored the highest levels of carbon component with 43.66 tC / ha representing the 55.85% of the total, followed by the living biomass (leaves + stipe) that averaged 22.30 tC / ha (30.06%); the rest remained stored in no- living biomass with a value of 7.47 tC / ha (10.07%) and herbaceous with 0.76 tC / ha (1.02%). The carbon flow obtained a value of 3.05 tC / ha / year, and thus captured an average of dioxide carbon from 11.20 tCO₂ / ha per year

Keywords: carbonfixation, carbon storage, non-destructive sampling, CO2 capture.

1. Introducción

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta la humanidad, este se define como el aumento de la temperatura media global, de la atmósfera terrestre y de los océanos. Este fenómeno es causado por gases provenientes de actividades industriales, el uso de combustibles fósiles y la deforestación. Entre los principales gases responsables del calentamiento global, se puede mencionar al dióxido de carbono (CO_2). Este gas tiene un menor potencial de calentamiento global, en relación a otros gases como el metano y los óxidos de nitrógeno. Sin embargo, debido a las altas emisiones de CO_2 , se ha convertido en el principal responsable del calentamiento global.

El mayor acuerdo internacional respecto al calentamiento global ha sido el Protocolo de Kyoto, el cual tiene como objetivo reducir la concentración de gases de efecto invernadero a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012 (Naciones Unidas, 1998)

Una forma natural de mitigar el exceso de dióxido de carbono es almacenarlo en la biomasa (mediante la fotosíntesis) y en el suelo (a través de la acumulación de materia orgánica). Las plantaciones de palma aceitera, ocupan más de 12 millones de hectáreas en tres continentes (África, Asia y América), por consiguiente parecieran ser candidatas de elección para capturar carbono en los países tropicales (citado por Leblanc et al., 2006), por lo que es importante y necesario conocer el potencial de fijación de carbono de dichas plantaciones para poder darle un valor agregado y acceder a pagos por servicios ambientales. Aunque existe mucha información sobre el manejo agronómico de este cultivo, no se tiene la suficiente información sobre su potencial como fijadora de carbono. Bajo este contexto, el objetivo del presente estudio es determinar la cantidad de carbono fijado y almacenado en plantaciones de palma aceitera de 10 años de edad en el eje de la carretera Neshuya-Curimana, Provincia de Padre Abad, Región Ucayali.

2. Material y método

La zona de estudio está ubicada en la Carretera Neshuya-Curimana (CNC) a la altura del Km 60 de la Carretera Federico Basadre desde el Centro Poblado Monte de los Olivos, hasta el centro poblado de El Maronal en el km. 25.800; políticamente, pertenece a los Distritos de Curimaná (Provincia de Padre Abad) e Irazola (Provincia de Padre Abad), Departamento de Ucayali. Las plantaciones escogidas para la evaluación fueron establecidas hace 10

años con una densidad de siembra de 143 plantas/ha. Los propietarios de las 03 parcelas muestreadas fueron: María Retis de Arévalo (sector Monte de los Olivos Km 6), Aurelio Nuñez Sosa (sector Villa Mercedes Km 15), Juan Gastelu Gonzales (sector Maronal Km 25.800), quienes contaban con 5 has de plantaciones de palma aceitera de 10 años de edad.

El clima de la zona se caracteriza por ser cálido y húmedo, según la estación meteorológica "Las Palmeras de Ucayali" presenta una temperatura media anual de 25,5 °C, con una media máxima de 34,2 °C y media mínima de 18,4 °C. Tiene una precipitación total anual promedio de 2 087,3 mm, y la humedad relativa promedio es de 80.6%.

En el estudio se empleó el método no experimental-descriptivo, el cual consistió en observar y medir parámetros biométricos y a partir de ellos determinar el carbono almacenado en las plantaciones de palma aceitera, es decir, el investigador no manipuló las variables en estudio.

Población: Este estuvo constituida por un total de 2145 plantas de palma aceitera dentro de 15 Has ubicadas en las tres zonas de estudio antes descritas, que pertenecen a la edad de 10 años.

Muestra: Se seleccionaron 20 plantas por parcela, haciendo un total de 60 plantas de palma aceitera, en tres sitios evaluados.

El método de muestreo utilizado es el no probabilístico de tipo de muestra intencionada. Este tipo de muestra exige un cierto conocimiento del universo, su técnica consiste en que el investigador escoge intencionalmente sus unidades de estudio.

Materiales, Equipos y Herramientas: Tablero de campo, libreta de campo, plumón Indeleble, sobre de manila costales, GPS, cámara Digital, balanza, estufa, cinta métrica, wincha, pala recta, machete, tijera de Podar, barreno, cilindro pequeño de volumen conocido.

Análisis Estadístico: Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de un factor (ANOVA) usando el programa estadístico SPSS 19. Las medias fueron separadas por la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

**Procesamiento de Recolección de Datos:
Evaluación del Carbono en la Biomasa Viva**

Para la determinación del carbono en la biomasa se consideró solo las hojas y el estípote. Se utilizó el método no destructivo, por lo que se determinó

la biomasa seca de los órganos antes mencionados por ecuaciones desarrolladas por Corley et al. (1971), para obtener los datos de medición se utilizaron procedimientos establecidos por el diplomado "Manejo Integrado del Cultivo de la Palma Aceitera, con Énfasis en la Prescripción Técnica de Programas Nutricionales.

Evaluación del Carbono en la biomasa de las hojas

Se localizó e identificó la hoja número 17. Luego se cortó la hoja 17 lo más cerca que sea posible a su base, sin cortar racimos o inflorescencias. Ya en el suelo, se realizó un corte transversal del raquis en su punto de inserción con el peciolo, tal como se muestra en la figura 18. Luego con la ayuda de un escalímetro de vernier, se midió las dimensiones del ancho y su altura como se muestran en la figura 18. Se expresó las dimensiones en cm, con fracción decimal.

Paso 1: Cálculo de la biomasa seca de las hojas de palma aceitera utilizando la siguiente ecuación (Corley et al., 1971):

$$BS_{HU} = (0.1023P + 0.2062) \times NH$$

Donde:

BS_{HU} = Biomasa seca de las hojas por unidad de planta. (Kg/planta)

NH = Número de Hojas. Se tomó el valor de 38 hojas según Bulgarelli et al. 2002 para plantaciones de palma aceitera de 10 años de edad.

P = Medición del ancho por la altura del corte transversal del peciolo, según valores obtenidos en el paso d, del procedimiento anterior.

Los valores de 0,1023 y 0,2062, son constantes de tipo estadístico para convertir los valores de la ecuación a kilogramos.

Paso 2: Cálculo de la biomasa de las hojas en toneladas por hectárea

$$BS_H = \frac{BS_{HU} \times NPPA}{1000}$$

Donde:

BS_{HU} = Biomasa seca de las hojas (t/ha)

NPPA = Número de plantas de palma aceitera por hectárea. El valor es de 143 plantas/ha

1000 = Factor de conversión de kilogramos a Toneladas

Paso 3: Cálculo del carbono de la biomasa seca de las hojas en toneladas de carbono por hectárea

$$C_{Hojas} = BS_H \times FC$$

Donde:

C_{Hojas} = Cantidad de carbono almacenado en hojas de palma aceitera (tC/ha)

FC= Fracción de carbono. El valor estándar del IPCC para FC = 0.5

Evaluación del Carbono en la biomasa del estípite

A. Diámetro del estípite

Se midió la longitud de la circunferencia del estípite a una altura de 1,5 metros del suelo, luego se calculó el diámetro partir de la siguiente fórmula:

$$D = \text{Longitud de la circunferencia} / \pi$$

Donde:

D= Diámetro del estípite

B. Altura del estípite

La medición de la altura del estípite se realizó midiendo desde la hoja 41 hasta la base del suelo de la palma.

Paso 1: Cálculo de la biomasa seca del estípite de palma aceitera utilizando la siguiente ecuación (Corley et al., 1971):

$$BS_{EU} = V \times S$$

$$\Rightarrow V = \pi \times r^2 \times h \quad \text{y} \quad S = 0.0076t + 0.083$$

Reemplazando:

$$BS_{EU} = (\pi \times r^2 \times h) (0.0076t + 0.083)$$

Donde:

BS_{EU} = Biomasa seca del estípite (Kg/planta)

V = Volumen del estípite (litros)

S = Densidad del tronco seco (Kg/litro)

r = Radio del estípite

h = Altura

t = Edad de la palma en años

Paso 2: Cálculo de la biomasa del estípite en toneladas por hectárea

$$BS_E = \frac{BS_{EU} \times NPPA}{1000}$$

Donde:

BS_E= Biomasa seca del estípite (t/ha)

NPPA= Número de plantas de palma aceitera por hectárea. El valor es de 143 plantas/ha

1000= Factor de conversión de kilogramos a Toneladas

Paso 3: Cálculo del carbono de la biomasa seca de las hojas en toneladas de carbono por hectárea.

$$C_{Estípite} = BS_E \times FC$$

Donde:

C_{Estípite}=Cantidad de carbono almacenado en estípite de palma aceitera (tC/ha)

FC= Fracción de carbono. El valor estándar del IPCC para FC = 0.5

Evaluación del Carbono en la Biomasa Muerta

Para el muestreo de la biomasa muerta se utilizó un marco cuadrado de 0.25 m² (50cm x 50cm). El proceso consiste en coleccionar el material localizado dentro del marco. De cada muestra se obtuvo una sub-muestra de 100 gr que fue guardado en bolsas plásticas, debidamente codificadas, para luego ser enviada al laboratorio para ser secada en horno o una estufa de aire forzado a 60°C, hasta obtenerse peso constante. Se determina así la relación entre cantidad de humedad y la cantidad de carbono. Con los valores obtenidos se calculó el total de biomasa seca por hectárea (t/ha) y posteriormente se calculó la cantidad de carbono por hectárea (tc/ha). Para la evaluación de la biomasa muerta se determinó empleando la metodología del ICRAF (Rügnitz et al. 2009), esta metodología fue innovada por el autor para ser aplicada en un cultivo de palma aceitera.

Paso 1: Cálculo de la biomasa seca de la muestra.

$$BS_M = \left(\frac{PS_{submuestra}}{PF_{submuestra}} \right) \times PF_{muestra}$$

Donde:

BS_M = Biomasa seca de la materia muerta (Kg/0.25 m²).

$PS_{\text{submuestra}}$ = Peso seco de la submuestra (g).

$PF_{\text{submuestra}}$ = Peso fresco de la submuestra (g).

PF_{muestra} = Peso fresco de la muestra (Kg/0.25 m²).

Paso 2: Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra.

$$C_{BSM} = BS_M \times FC$$

Donde:

C_{BSM} = Cantidad de Carbono en la muestra de biomasa muerta. (Kg C/0.25 m²)

FC = Fracción de carbono. El valor estándar del IPCC para $FC = 0.5$

Paso 3: Cálculo de la cantidad de carbono de la biomasa muerta en toneladas de carbono por hectárea.

$$C_{\text{BiomasaMuerta}} = \left[\frac{\text{AreaBM}}{(0.25 \text{ m}^2)} \right] \times \left[C_{BSM} \times \frac{1t}{1000 \text{ kg}} \right]$$

Donde:

$C_{\text{BiomasaMuerta}}$ = Cantidad de carbono en la biomasa muerta en tC/ha

ÁreaBM = Área que ocupa la biomasa muerta en las plantaciones de palma aceitera en una hectárea.

1000 = Factor de conversión de kilogramos a Toneladas

Nota: Para encontrar el área que ocupa la biomasa muerta, se realizó un arreglo de 143 plantas que representan una hectárea, de acuerdo a la vista en campo se colocaron en el arreglo los montículos de biomasa muerta, habitualmente se encuentran entre plantas, y luego fueron contabilizados, previamente se tomaron las medidas en campo del largo y ancho que ocupa un montículo de biomasa muerta. Para hallar el área se realizó lo siguiente se multiplicó el largo por el ancho del montículo de biomasa muerta (puesto que estos tienen forma rectangular), para luego ser multiplicado por la cantidad de montículos contabilizados en una hectárea.

Evaluación del Carbono en el Componente Herbáceo

Para el muestreo del componente herbáceo se utilizó un marco cuadrado de 0.25 m² (50cm x 50cm). El proceso consistió en cortar al ras del suelo todo el material localizado dentro del marco, para luego recolectarlo

y pesarlo. De cada muestra fresca se obtuvo una sub-muestra de 50 gr que fue guardado en bolsas plásticas, debidamente identificadas, luego se envió al laboratorio para ser secada en horno o una estufa de aire forzado a 60°C, hasta obtenerse peso constante. Se determina así la relación entre peso seco y húmedo y cantidad de carbono. Con los valores obtenidos se calculó el total de biomasa seca por hectárea (t/ha) y posteriormente se calculó la cantidad de carbono por hectárea (tc/ha). Para la evaluación del componente herbáceo se determinó empleando la metodología del ICRAF (Rügnitz et al. 2009), esta metodología fue innovada por el autor para ser aplicada en un cultivo de palma aceitera.

Paso 1: Cálculo de la biomasa seca de la muestra.

$$BS_H = \left(\frac{PS_{submuestra}}{PF_{submuestra}} \right) \times PF_{muestra}$$

Donde:

BS_M = Biomasa seca del componente herbáceo (Kg/0.25 m²).

$PS_{submuestra}$ = Peso seco de la submuestra (g).

$PF_{submuestra}$ = Peso fresco de la submuestra (g).

$PF_{muestra}$ = Peso fresco de la muestra (Kg/0.25 m²).

Paso 2: Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra.

$$C_{BSH} = BS_H \times FC$$

Donde:

C_{BSH} = Cantidad de Carbono en la muestra de la herbácea. (Kg C/0.25 m²)

FC = Fracción de carbono. El valor estándar del IPCC para $FC = 0.5$

Paso 3: Cálculo de la cantidad de carbono en el componente herbáceo en toneladas de carbono por hectárea.

$$C_{BiomasaMuerta} = \left[\frac{AreaCH}{(0.25 m^2)} \right] \times \left[C_{BSM} \times \frac{1t}{1000 kg} \right]$$

Donde:

$C_{Herbácea}$ = Cantidad de carbono en el componente herbáceo en tC/ha

$ÁreaCH$ = Área que ocupa el componente herbáceo en las plantaciones de palma aceitera en una hectárea.

1000 = Factor de conversión de kilogramos a Toneladas

Nota: Para encontrar el área que ocupa el componente herbáceo, se descontó la zona que ocupa el estípite y la zona para fertilización.

Estimación del Carbono Total

Para el cálculo del carbono total del área definida, se sumó el carbono calculado parcialmente de cada uno de los componentes evaluados.

$$C_{Total} = C_{Hojas} + C_{Estípite} + C_{BiomasaMuerta} + C_{Herbácea}$$

Donde:

C_{Total} = Cantidad de carbono total (tC/ha)

C_{Hojas} = Cantidad de carbono almacenado en hojas de palma aceitera (tC/ha)

$C_{Estípite}$ = Cantidad de carbono almacenado en estípite de palma aceitera (tC/ha)

$C_{BiomasaMuerta}$ = Cantidad de carbono en la biomasa muerta en tC/ha

$C_{Herbácea}$ = Cantidad de carbono en el componente herbáceo en tC/ha

Fijación Anual de Carbono

Para la estimación de la fijación anual de carbono se determinó por la división del carbono almacenado en la biomasa entre la edad de la plantación de palma aceitera.

$$FAC = C_{Total} / E$$

Donde:

FAC = Fijación anual de carbono (tC/ha/año)

C_{Total} = Cantidad de carbono total (tC/ha)

E = edad de la plantación de palma aceitera (años)

Cálculo del Carbono Equivalente

Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂e (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12). Para saber la cantidad de CO₂e emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar esta por 3,67.

$$CE = FAC \times 3.67$$

Donde:

CE = Cantidad de carbono equivalente (tCO₂/ha/año)

FAC = Fijación anual de carbono (tC/ha/año)

3.67 = Factor de conversión a carbono equivalente (CO₂)

Determinación de carbono en el suelo

Para el muestreo del carbono en el suelo consistió en tomar tres muestras de suelo de profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm. Para determinar el contenido de C, las muestras fueron secadas a una temperatura ambiente durante tres días, posteriormente se molió, homogenizó y tamizó para finalmente ser analizadas en un laboratorio de suelos determinar el contenido de carbono (%) por el método de Walkley Black.

$$CS = \% CS \times DA \times P$$

Donde:

CS= Carbono en el suelo (tC/ha)

%CS= Contenido de carbono en el suelo(%)

DA= Densidad Aparente

P= Profundidad de muestreo (cm)

Las muestras de suelo para determinar la densidad aparente (DA) se realizaron en un laboratorio de suelos. Se utilizó el método del cilindro de volumen conocido, las muestras fueron secadas a una temperatura de 105°C, hasta alcanzar peso constante.

$$DA = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{volumen del cilindro}}$$

El volumen del cilindro fue calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde, r equivale al radio (en cm) y h a la altura (en cm)

3. Resultados y discusión

Estimación del Carbono en la Biomasa Viva (hojas + estípite)

En el Tabla 1 se muestran los valores de la cantidad de carbono almacenado en las hojas y estípite, así mismo en las Figuras 1, 2 y 3 se puede visualizar gráficamente la distribución en barras y cajas de dichos contenidos evaluados en el eje de la carretera Neshuya-Curimaná en los sectores Monte de los Olivos, Villa Mercedes y Maronal.

De acuerdo a los resultados observados sobre contenido de carbono en la biomasa de las hojas y el estípite, no hay diferencia estadística según prueba de Tukey ($p < 0.05$), esto se explica porque las plantaciones evaluadas tienen

la misma edad y además se encuentran en la misma zona de vida por lo que las condiciones climáticas de temperatura, precipitación, humedad relativa, etc., son similares.

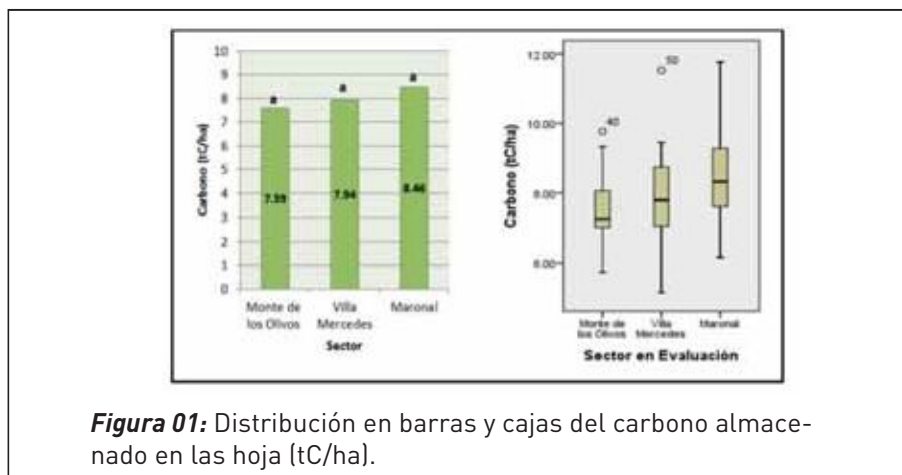
Los valores obtenidos de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa viva total (hojas + estípites), en el sector Monte de los Olivos fue de 23.42 tC/ha siendo el de mayor almacenamiento, seguido de Villa Mercedes con 22.29 tC/ha, y el que almacenó menor cantidad de carbono fue el sector el Maronal. El promedio de almacenamiento total de carbono fue de 22,30 tC/ha.

Tabla 1
Carbono almacenado en las hojas (tC/ha)

Zona	Sector	Carbono en las Hojas (tC/ha)	Carbono en el Estípites (tC/ha)	Carbono Total (tC/ha)
Carretera Neshuya-Curimana	Monte de los Olivos	7.59 a	15.83 a	23.42 a
	Villa Mercedes	7.94 a	14.48 a	22.42 a
	Maronal	8.46 a	12.61 a	21.07 a
Promedio				22.30

Nota: Medias seguidas de las mismas letras no son estadísticamente diferentes, por Tukey a $p < 0.05$.

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

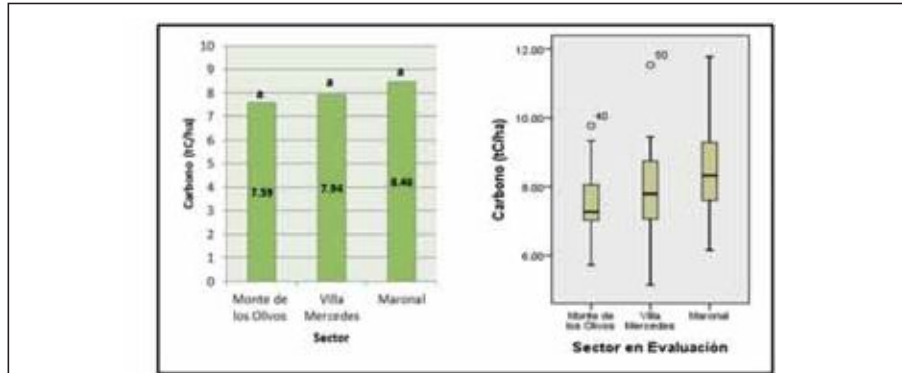


Figura 02: Distribución en barras y cajas del Carbono almacenado en el estípite (tonC/he.).

Fuente: Elaboración propia.

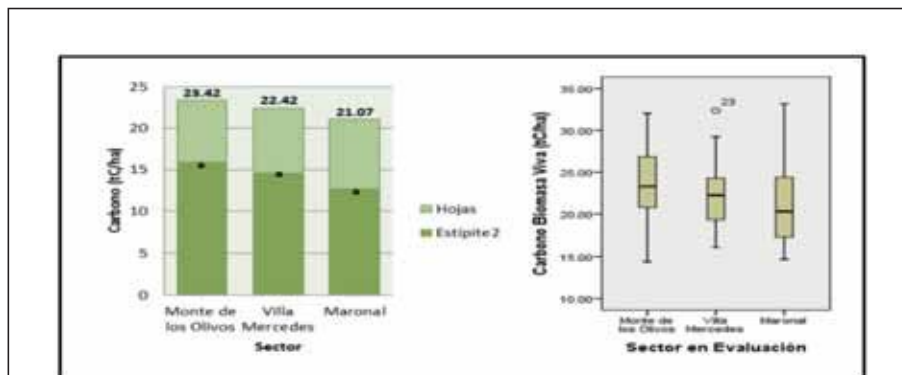


Figura 03: Distribución en barras y cajas del Carbono almacenado la biomasa viva total (tC/ha).

Fuente: Elaboración propia.

En un estudio realizado por Leblanc, H., Russo, R., Cueva, J. y Subía, E. (2006), en Costa Rica, bajo condiciones climáticas y edáficas similares (excepto la precipitación que fue 3464 mm); se estimó el carbono en la biomasa aérea total en palma africana de 7 años de edad, teniendo como resultado 22.68 tC/ha (hojas 10.88 tC/ha y 11.8 tC/ha en el tallo), similar a lo encontrado en el estudio, (22.30 tC/ha). La diferencia radica en la menor edad, este resul-

tado se puede explicar por la precipitación puesto que es mayor a la zona de investigación, según promedio reportados por la Estación Meteorológica Las Palmeras de Ucayali fue de 2083,7 mm anuales, donde la precipitación afecta los procesos fisiológicos como la fotosíntesis, el crecimiento y la producción (Cayon 2002, citado por Melado 2008). Además estos valores obtenidos por Leblanc, *et al.*, también puede atribuirse al método que utilizaron, que fue el método destructivo, teniendo muestras pequeñas y obteniendo un error muestral mayor.

Thenkabail *et al.* (2004) estimaron carbono por unidad de área en plantaciones de palma aceitera de 1 a 5 años en África Occidental, usando datos del satélite IKONOS y técnicas de análisis multiespectral de sensores remotos, validados en campo por muestreos destructivos. Encontraron valores entre 14.75 y 14.94 tC/ha en dos áreas piloto, estos valores son menores a los encontrados en nuestra investigación, atribuyendo estos a la menor edad de la plantación, con menor tamaño del estípite y hojas; teniendo como resultado menor cantidad de biomasa seca y consecuentemente, menor almacenamiento de carbono.

Estudios realizados por Alegre *et al.* (2002) y Callo-Concha *et al.* (2001), en bosque primario registró en árboles en pie 160,1 tC/ha y 196.1 tC/ha, respectivamente siendo 7 y 8 veces mayor a lo reportado en la presente investigación, de los mismos autores en bosque secundario registraron 121 tC/ha y 67.9 tC/ha, siendo 5 y 3 veces mayor a lo registrado, estos resultados son debido a la mayor variabilidad de especies que presentan los bosques primarios y secundarios, además de la dinámica forestal de estos sistemas, por lo que esta dinámica consiste en la renovación del área por el incremento de poblaciones jóvenes, mediante la gestión de luz por los aclareos naturales (Lapeyre *et al.*, 2004).

Estimación del carbono en la biomasa muerta

En el Tabla 2 se observan los valores de carbono almacenado en la biomasa muerta, en los sectores Monte de los Olivos, Villa Mercedes, Maronal. Al evaluar el contenido de carbono en la biomasa muerta de los tres sectores evaluados en el eje de la carretera Neshuya-Curimaná, no se encontró diferencias estadísticas significativas (Prueba Tukey $p < 0.05$).

Tabla 2:
Carbono almacenado en la biomasa muerta (tC/ha)

Zona	Sector	Carbono (tC/ha)
Carretera Neshuya- Curimaná	Monte de los Olivos	7.78 a
	Villa Mercedes	6.81 a
	Maronal	7.80 a
Promedio		7.47

Nota: Medias seguidas de las mismas letras no son estadísticamente diferentes, por Tukey a $p < 0.05$.

Fuente: *Elaboración propia.*

El promedio de carbono en la biomasa muerta en la zona de estudio fue de 7.47 tC/ha, mayor a lo reportado por Alegre *et al* (2002), quien indica una cantidad de contenido de carbono de 4.14 tC/ha. Esta diferencia probablemente se debe a que en el estudio en comparación, no se menciona la edad de la plantación de palma asumiendo entonces que son de menor edad por la cantidad de carbono en biomasa muerta encontrada. Otro factor a la que se puede atribuir esta diferencia es debido a que estas se encuentran en condiciones de uso comercial por lo que el número de hojas en la palma es menor, debido a que son podadas durante la cosecha o actividades de mantenimiento, aumentando de esta manera la cantidad de biomasa en el suelo.

Comparando la biomasa muerta (hojarasca) de la palma aceitera con otros ecosistemas y cultivos, tenemos que en bolinales (Lino, 2009) y bosques secundarios (Callo-Concha *et al.*, 2001) registraron 4.35 tC/ha y 2.35 tC/ha, respectivamente siendo estos resultados, menores a lo obtenido en el experimento, atribuyendo a que las hojas que son el componente principal de la biomasa muerta en el suelo de las plantaciones de palma aceitera, por lo que el peso que estas representan en su estado fresco varía entre 5-8 kg por hoja (Ortiz y Fernández, 1994), siendo mucho mayor al peso de los componentes de la hojarasca de bolinales y bosques secundarios que son un peso que varía en gramos.

Estimación del carbono en el componente herbáceo

En el Tabla 3 se muestran los contenidos de carbono en el componente herbáceo

Era predecible que en las tres zonas evaluadas el contenido de carbono en la herbácea no representará diferencias estadísticas significativas según

prueba de Tukey ($p < 0.05$), debido a que en las zonas de estudio este componente es controlado por los productores. El componente herbáceo predominante en las áreas de estudio fue el Kudzu Tropical.

Tabla 3
Carbono almacenado en la herbácea (tC/ha)

Zona	Sector	Carbono (tC/ha)
Carretera Neshuya- Curimaná	Monte de los Olivos	0.70 a
	Villa Mercedes	0.79 a
	Maronal	0.78 a
Promedio		0.76

Nota: Medias seguidas de las mismas letras no son estadísticamente diferentes, por Tukey a $p < 0.05$.

Fuente: *Elaboración propia.*

Para la variable contenido de carbono en el estrato herbáceo, se ha obtenido resultados promedios de 0.76 tC/ha, similar a lo reportado en bosque primario y secundario por Callo-Concha *et al.*, 2001, cuyos valores registrados fueron los siguientes 0.78 y 0.75 tC/ha, respectivamente.

Estimación de la Fijación Anual de Carbono (FAC)

El carbono fijado anualmente por las plantas de palma aceitera, en los Sectores evaluados se determinó dividiendo el Carbono aéreo total por la edad de la plantación (10 años). La tasa de fijación anual fue similar para los tres Sectores del eje de la carretera Neshuya-Curimaná, promediando un valor de 3.05 tC/ha/año. Ver Tabla 4.

Tabla 4
Fijación Anual de Carbono (tC/ha/año)

Sector	Carbono (tC/ha)			Carbono Aéreo Total (tC/ha)	FAC (tC/ha/año)
	Biomasa Viva	Biomasa Muerta	Herbácea		
Monte de los Olivos	23.42	7.78	0.70	31.9	3.19
Villa Mercedes	22.42	6.81	0.79	30.02	3.00

Maronal	21.07	7.80	0.78	29.65	2.97
Promedio	22.30	7.47	0.76	30.53	3.05

Fuente: elaboración propia.

Asimismo la tasa anual de fijación de carbono en la biomasa aérea de la palma aceitera al décimo año es similar al promedio reportado por Leblanc, *et al*, 2006 en igual tipo de plantación, de una edad de 7 años, cuyo valor alcanzó 3.24 tC/ha/año.

Por su parte, Álvarez *et al.*, 2005, realizaron un estudio con ocho especies forestales (*Vochysia guatemalensis*, *Hyeronima alchorneoides*, *Calophyllum brasiliense*, *Jacaranda copaia*, *Virola koschnyi*, *Strhyponodendrum excelsum*, *Zanthoxylum mayanum* y *Dipteryx panamensis*), en Costa Rica, a edad 14 años, tuvo como resultado 3.32 tC/ha/año (incluye fuste, ramas, hojas) que es comparable al promedio obtenido en la presente investigación.

Igualmente, Chacon *et al.*, 2007, realizó estudios en bosques secundarios de 15 años de edad en la región tropical húmeda de Costa Rica, encontrando fijación de 46.4 tC/ha con una tasa de fijación de 3.1 tC/ha/año; resultados similares a los obtenidos en el presente estudio.

Estimación del Carbono Equivalente

El carbono equivalente se ha calculado multiplicando la tasa de fijación anual de carbono por 3.67, donde una 1tC=3.67 tCO₂, obtenido en razón a los pesos moleculares 44/12.

En la Tabla 5 y la Figura 4 y se muestran valores y gráficos de la cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂), capturado por año por parte de las plantaciones de palma aceitera en los tres sectores evaluados, no habiendo diferencia significativa entre estas zonas de estudio.

Tabla 5
Carbono Equivalente (tCO₂/ha/año)

Sector	FAC (tC/ha/año)	Carbono Equivalente (tCO ₂ /ha/año)
Monte de los Olivos	3.19	11.71
Villa Mercedes	3.00	11.02
Maronal	2.97	10.88
Promedio	3.05	11.20

Fuente: Elaboración propia.

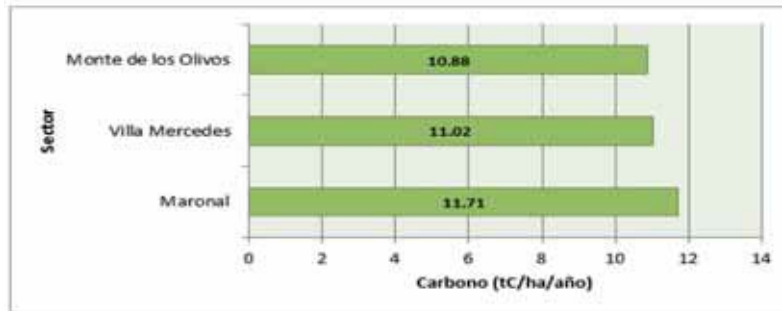


Figura 4: Distribución en barras del Carbono Equivalente (tCO₂/ha/año).

El promedio de captación de carbono encontrado fue de 11.20 tCO₂/ha/año siendo mayor a lo reportado en sistemas agroforestales de cacao de 3 años: asociado con capirona y guaba; 6 años: cacao 3 años-guaba y guanábana 6 años con valores de 8.86 tCO₂/ha/año, 6.99 tCO₂/ha/año (Larella, 2007). En otro estudio por el contrario en un sistema agroforestal cacao-carambola-cítrico-guaba de 20 años de edad reporto una cantidad de 15.8 tCO₂/ha/año (Ramírez, 2012), que es mayor a lo registrado en el presente estudio.

Estimación del carbono en el suelo

En la Tabla 6 y la figura 5 se muestran la cantidad de reserva de carbono en el suelo a dos profundidades de 0-15cm y 15-30cm. Estos valores encontrados fueron sometidos a la Prueba de Tukey ($p < 0.05$), donde no se encontró diferencias estadísticas significativas en las dos profundidades evaluadas. El carbono fijado en el suelo tuvo un promedio a una profundidad de 0-15 cm de 28.13 tC/ha y a profundidad de 15-30 cm se obtuvo un valor de 15.53 tC/ha. Esto significa que a medida que se profundiza el muestreo en el perfil del suelo, el contenido de carbono va disminuyendo, esto es debido a que el material vegetal proveniente de las hojas, residuos del cultivo y otro material cae sobre la superficie del suelo, descomponiéndose y enriqueciendo las primeras capas con carbono orgánico.

Tabla 6
Carbono almacenado en el suelo (tC/ha)

Zona	Sector	Carbono en el Suelo (0-15cm) (tC/ha)	Carbono en el suelo (15-30cm) (tC/ha)	Carbono en el suelo (tC/ha)
Carretera Neshuya- Curimana	Monte de los Olivos	29.49 a	16.50 a	45.99 a
	Villa Mercedes	26.51 a	17.44 a	43.95 a
	Maronal	28.40 a	12.64 a	41.04 a
Promedio		28.13	15.53	43.66

Nota: Medias seguidas de las mismas letras no son estadísticamente diferentes, por Tukey a $p < 0.05$.

Fuente: Elaboración propia.

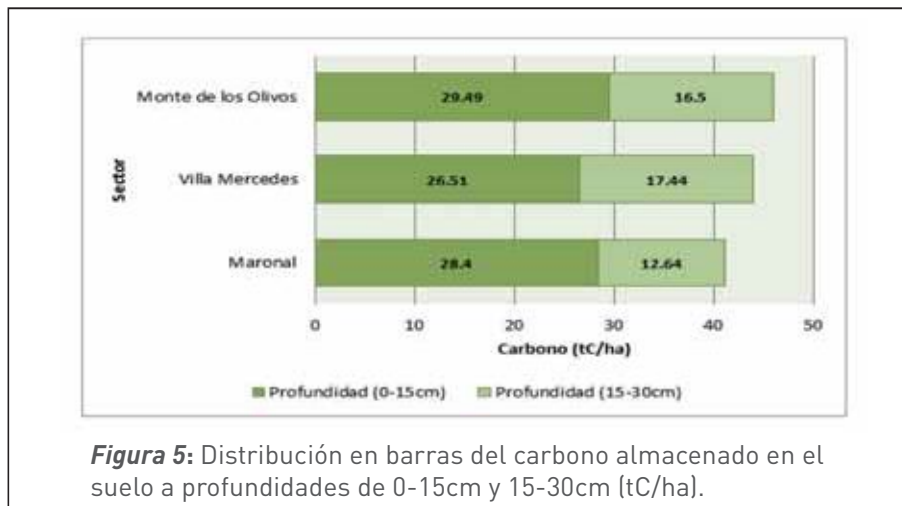


Figura 5: Distribución en barras del carbono almacenado en el suelo a profundidades de 0-15cm y 15-30cm (tC/ha).

Elaboración propia.

En cuanto al carbono fijado en el suelo a profundidad de 0 a 30 cm, en los sectores evaluados, no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Sometidas a la prueba de Tukey ($p < 0.05$), el valor promedio encontrado fue de 43.66 tC/ha, siendo menor a lo reportado por Alegre *et al.* (2002), en un estudio similar, obteniendo un valor de 57.15 en un perfil de suelo de 0-40 cm, asumiéndose esta diferencia en los 10 cm de profundidad restantes, que en nuestro estudio, no se realizó.

Estudios realizados en bosque secundario y primario por Yquise *et al.*, 2006, se encontraron valores de 100.14 y 108.05 tC/ha respectivamente siendo estos mayores a lo encontrado en nuestro estudio. Esta diferencia se puede explicar debido a que las áreas en estudio anteriormente eran zonas degradadas donde en algún momento estuvieron poblados por bosques y luego pastizales. En esta transición de bosque-pastos-plantación, ocurre un proceso denominado mineralización que genera pérdidas de contenido de carbono orgánico, este proceso se genera por erosión hídrica, erosión eólica, degradación química y degradación física (FAO, 2002).

Otro de los factores a la que se le puede atribuir es la lenta descomposición de la materia orgánica de los residuos generados por las plantaciones de palma aceitera, debido a que estos componentes aportan carbono orgánico al suelo.

Carbono Total

En la Tabla 7 y en la Figura 6 se observan los valores del carbono en el sistema que comprende el carbono en la biomasa aérea + carbono en el suelo. En los valores encontrados no se nota una diferencia significativa. El valor promedio de la Zona del eje de la carretera Neshuya-Curimaná alcanzó un valor de 74.19 tC/ha.

Tabla 7

Carbono almacenado y fijado total (Carbono aéreo total + carbono en el suelo) tC/ha

Sector	Carbono (tC/ha)			Carbono Aéreo Total (tC/ha)	Carbono Suelo** (tC/ha)	Carbono Total (tC/ha)
	Biomasa Viva	Biomasa Muerta	Herbácea			
MO*	23.42	7.78	0.70	31.9	45.99	77.89
VM**	22.42	6.81	0.79	30.02	43.95	73.97
M***	21.07	7.80	0.78	29.65	41.04	70.69
Promedio	22.30	7.47	0.76	30.53	43.66	74.19

Nota: MO= Monte de los Olivos, VM= Villa Mercedes, M= Maronal ** **Profundidad (0-30 cm).**

Fuente: *Elaboración propia.*

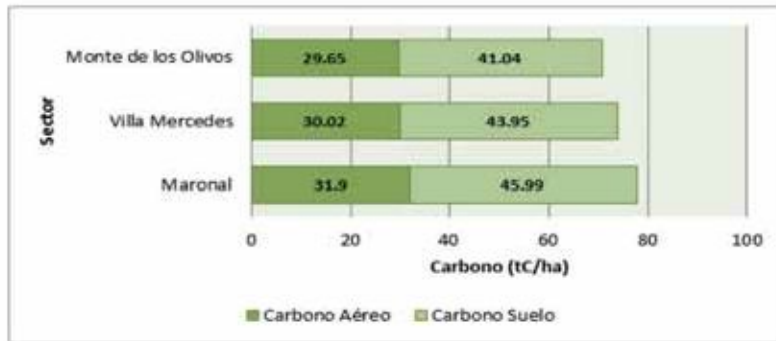


Figura 6: Distribución en barras del Carbono Total (tC/ha).

Elaboración propia.

En la figura 7 se muestra el aporte porcentual de carbono por cada componente. El suelo es el elemento que mayor cantidad de carbono a fijado con porcentaje de 58.85%, seguido de la biomasa Viva (Hojas + estípites) con un valor porcentual de 37.34%, en la biomasa muerta con 10.07%, y el componente herbáceo con un valor de 1.02% de carbono almacenado. Los porcentajes encontrados son los esperados, coincidiendo con lo manifestado por la FAO, 2002, que el componente suelo es el que mayor cantidad de carbono acumula con respecto a la vegetación.

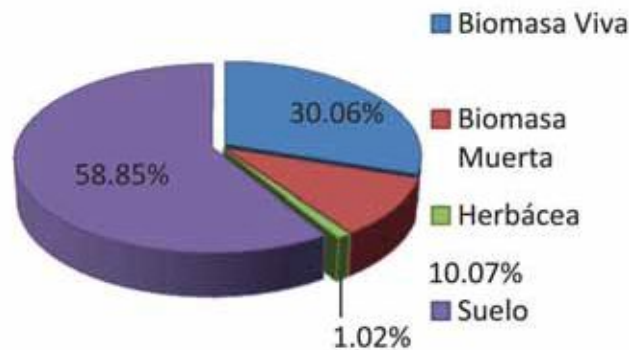


Figura 7: Distribución Porcentual del carbono evaluado de los componentes de estudio (%)

Elaboración propia.

4. Conclusiones

- Las Plantaciones de Palma Aceitera de diez años de edad en los sectores estudiados, acumularon 74.19 tC/ha, distribuidos de la siguiente manera: suelo 43.66 tC/ha, (55.85% del total); biomasa viva (hojas + estípites): 22.30 tC/ha (30.06%); el resto quedó almacenado en la biomasa muerta con 7.47 tC/ha (10.07%) y herbácea con 0.76 tC/ha (1.02%).
- El flujo del carbono obtenido en el estudio tuvo un valor de 3.05 tC/ha/año, y en consecuencia capturó un promedio por año de dióxido de carbono 11.20 tCO₂/ha/año, en un periodo de 10 años.
- No se encontraron diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey (p<0.05), en los componentes evaluados: estípites, hojas, herbácea, biomasa muerta y suelo en los sectores Monte de los Olivos, Villa Mercedes y Maronal, debido a que se encuentran en la misma zona de vida Bosque Húmedo Tropical y además presentan características similares de suelo.
- Los resultados muestran que las plantaciones de palma aceitera tienen menor potencial de almacenamiento de carbono, entre 7 a 8 veces con respecto a especies de bosques primarios y 3 a 5 veces con respecto a especies de bosques secundarios, esto debido a la menor variabilidad de especies y a la dinámica forestal de los bosques.

5. Referencias

- Agus, F., Runtunuwu, E., June, T., Susanti, E., Komara, H., Van Noordwijk, M. (2009). Carbon budget in land use transitions to plantation. *Indonesian Journal of Agricultural Research and Development*.
- Alegre, J., Arévalo, Y. y Ricse A. (2002). *Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia peruana*.
- Álvarez, N. (2005). *Fijación de carbono en la biomasa y en el suelo de especies forestales nativas del trópico húmedo*. (Tesis de Ingeniero Agrónomo). Universidad EARTH. Guácimo. Costa Rica.
- Araujo, T., Higuchi N. y Carvalho, J. (1999). Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Par. Brazil. *Forest Ecology and Management (117)* 43-52.

- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. Roma, Italia. FAO.
- Brown, P., Cabarle, B. y Livernash, R. (1997). *Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects*. Estados Unidos: World Resources Institute.
- Bulgarelli, J et al. (2002). Curvas de crecimiento vegetativo en un cruce comercial de Deli x AVROS". *ASD Oil Palm Papers*, (24) 30-31.
- Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L. y Alegre, J. (2001). *Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF'S y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú*.
- Cayon, D.G. (2000); *Ecofisiología de la palma de aceite. II Curso Internacional sobre Manejo de palma aceitera*. Maracaibo: Colegio de Ingenieros del estado Zulia.
- Ciesla, W. (1996). *Cambio climático, Bosques y Ordenación Forestal: una visión en conjunto*. Roma: Estudios FAO.
- Dixon, R. (1995). Sistemas agroforestales y gases invernadero. En: *Agroforestería en las Américas*. Turrialba. (2) 7, 22-26.
- Eamus, K., Mcguinness, W. y Burrows. (2000). *Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and western Australia*. Australia: National Carbon accounting system.
- Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. y Tanabe, K. (eds.) IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Preparado por el Programa de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, Japón: IGES.
- Eguren, L. (2004). *El mercado de Carbono en América Latina y el caribe: Balance y perspectivas*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Erickson, J. (1992). *El efecto invernadero: el desastre del mañana, hoy*. Madrid: McGraw-Hill I/ Interamericana.
- FAO. (2005). *Informe Nacional Complementario Argentina: Proyectos Fijación de Carbono*. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/J2053S/j2053s09.htm

- Fernald, E., Anderson, J. y Kraf, P. (1994). *Atlas Agropecuario de Costa Rica*. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Francis, J. (2000). Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. *Caribbean Journal of Science* 36(3-4), 346-350.
- Gibbs, H.K., Brown, S., Niles J.O. y Foley, J.A. (2007). *Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD+ a reality*. Environ. Res. Lett.
- Hartley, C. (1988). *The oil palm*. New York: Longman Scientific and Technical.
- Holdridge, L. R. (1976). *Mapa Ecológico del Perú*. ONERN
- IIAP. (2003). *Propuesta de zonificación ecológica y económica de la Cuenca del río Aguaytía*. Pucallpa, Perú.
- IPCC. (1995). *The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Inglaterra: Cambridge University Press.
- IPCC. (1997). *Guidance for Green House Gas Inventories – Cuadernillo de Trabajo (Volumen 2)* Disponible: <http://www.ipcc.ch>
- IPCC. (2006). Glosario del IPCC para el Cambio Climático. Consultado 20 Dic. 2012. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico/toolboxes/glossary.htm>
- Jaquemard, J. (1979). Contribution to the study of the heigh growth of the stems of *Elaeis guineensis* Jacq. Study of the L2T × D10D cross. *Oleagineux*, (34), 492-497
- Klinge, H., y Herrera, R. (1983). Phytomass structure of natural plant communities on spodosolsin Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetatio* (53) 65-64.
- Lapeyre, T., Alegre, J. y 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*.

- Leblanc, H., Russo, R., Cueva, J. y Subía, E. (2006). Fijación de carbono en palma aceitera en la región tropical húmeda de Costa Rica. *Revista de la Universidad EARTH*. 197-202
- Márquez, L. (1997). *Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales*. Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala.
- Melado, A. (2008). *Modelo de Cultivo de Palma Aceitera*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Naciones Unidas (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.
- Ortiz, R. y Fernández, O. (1994). *El Cultivo de la Palma Aceitera*. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Parresol, B. (1999). Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4), 573-593.
- PNUMA (1998). *La lucha contra el cambio climático: El compromiso del Parlamento Latinoamericano*. Buenos Aires.
- Pound, B. (1998). *Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América*. Reino Unido: Natural Resources Institute, Chatham, Kent.
- Quesada, G. (1997). *Cultivo e Industria de la Palma de Aceite (Elais guineensis)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. INTA.
- Ramírez, C. (2012). *Captura de carbono en una parcela agroforestal con Theobroma cacao en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali*. Pucallpa, Perú.
- Raygada, R. (2005). *Manual Técnico para el cultivo de la palma aceitera*. Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA). Proyecto de Desarrollo Alternativo Tocache - Uchiza (PRODATU).
- Rojas, F. (1983). *Cultivo de la palma de aceite*. San José, Costa Rica: Editorial UNED.

- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L. y Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. (1era. ed.). Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Sanchez, D. (1995). Integration of livestock with perennial crops. *World Animal Review* 82(1), 50-57
- Segura, M. (1997). *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costarricensis, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca*. (Tesis de Licenciatura) Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- Surre, C. y Ziller, R. (1969). *La Palmera de Aceite. Técnicas Agrícolas y Producciones Tropicales*. (1era edición). Barcelona: Ed. Blume.
- Thenkabail, P.S. et al (2004). Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. *International Journal of Remote Sensing* (25). 1-27.
- Yquise, A., Pocomucha, V. y Vargas Y. (2006). *Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo Y Castillo*. Huánuco, Perú.